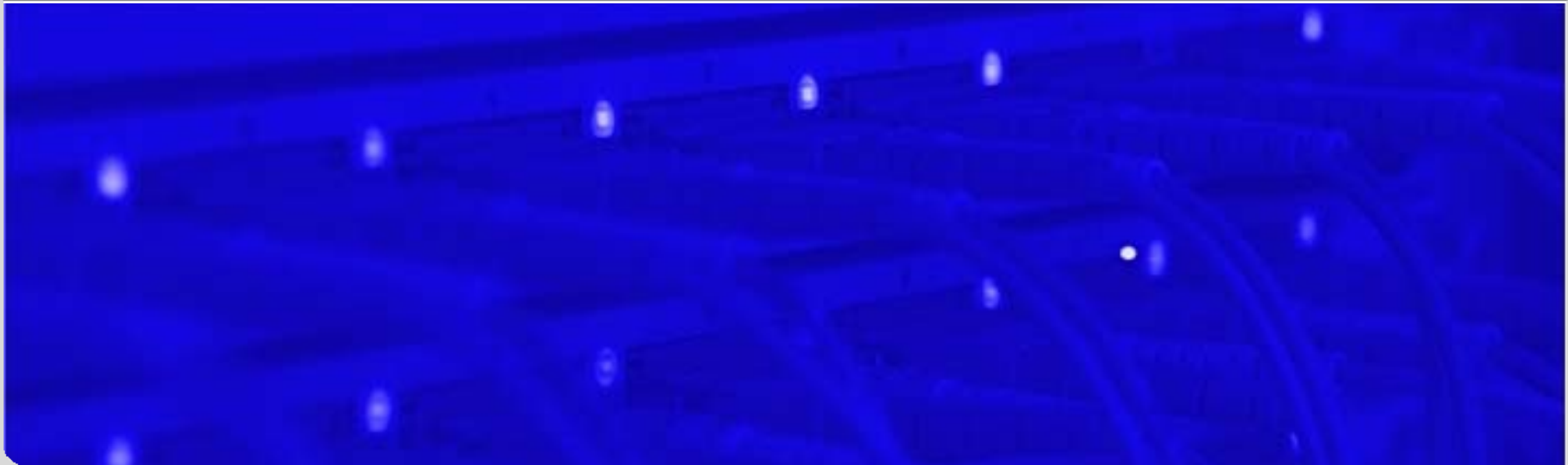


Next Generation Internet

6. Multicast-Routing

INSTITUT FÜR TELEMATIK



Überblick Kapitel 6

I. Einführung

1. Einführung

II. Internet-Architektur

2. Internet-Architektur
3. NAT & IPv6
4. Dienstgüte

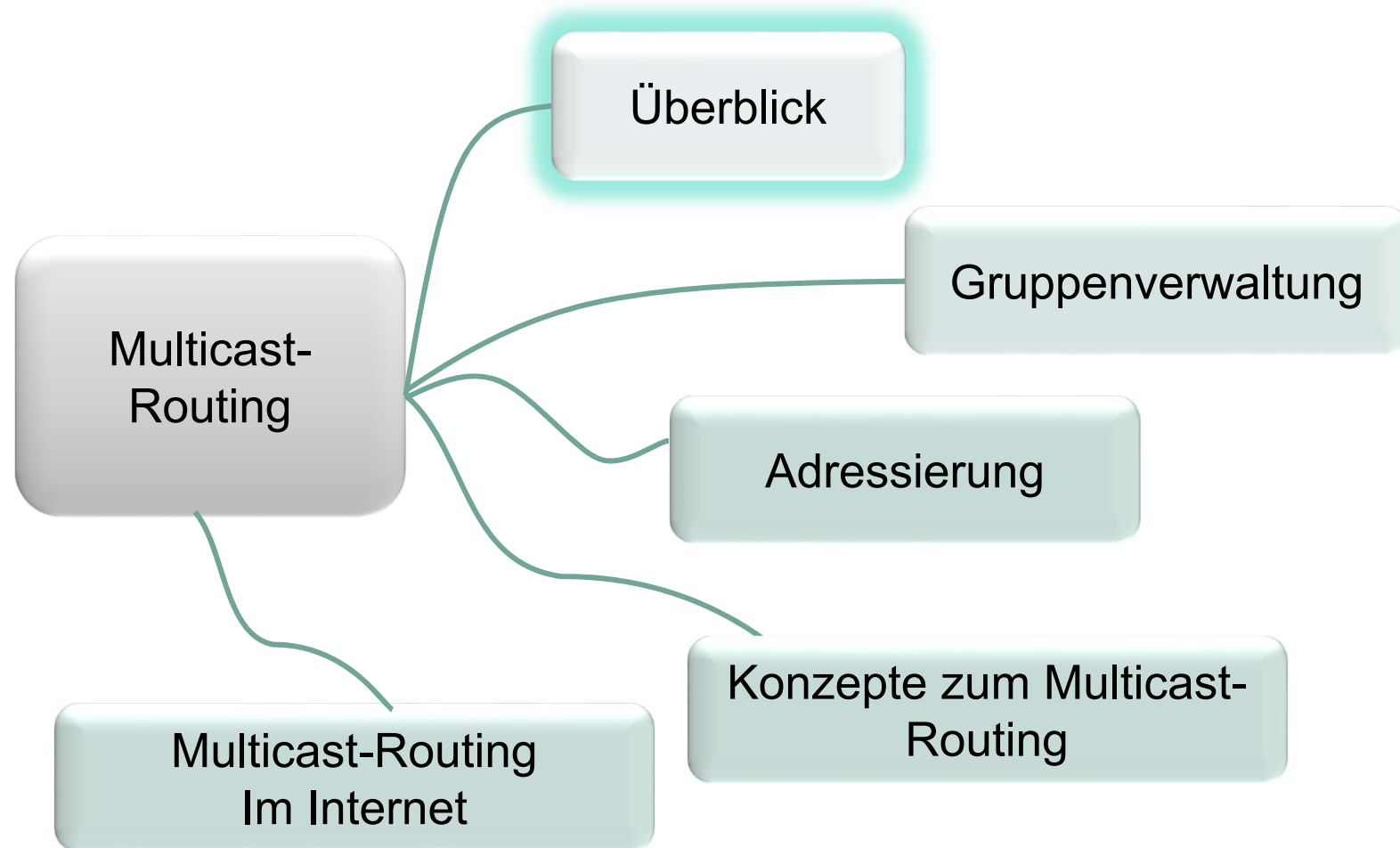
III. Multicast

5. Grundlagen
6. Multicast Routing
7. Multicast Transport

IV. Flexible Dienste und Selbstorganisation

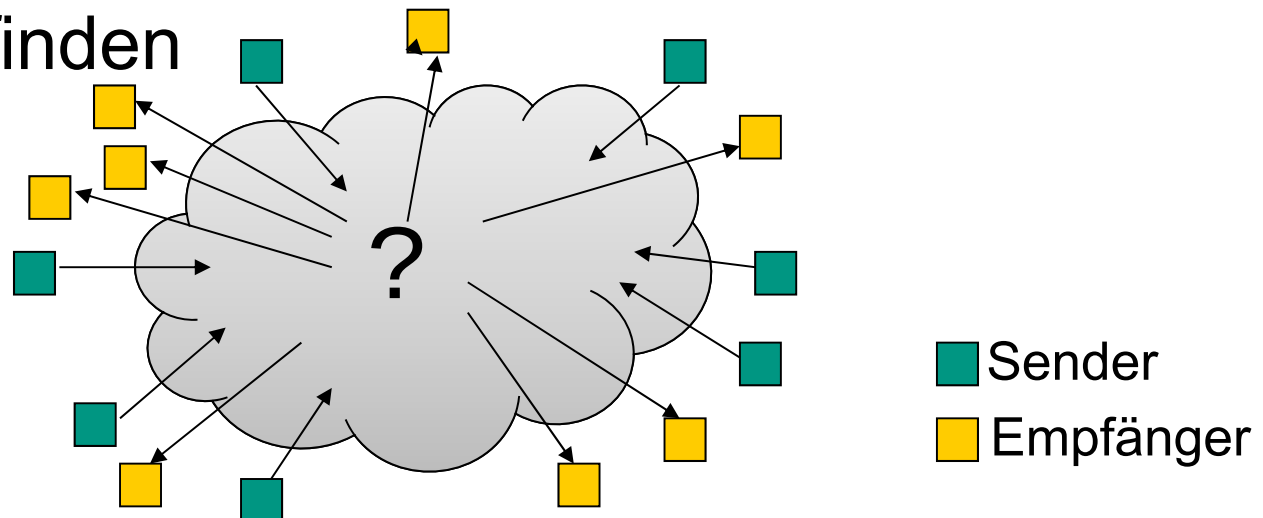
8. Neuere Transportprotokolle
9. Flexible Netze
10. Peer-to-Peer

Übersicht



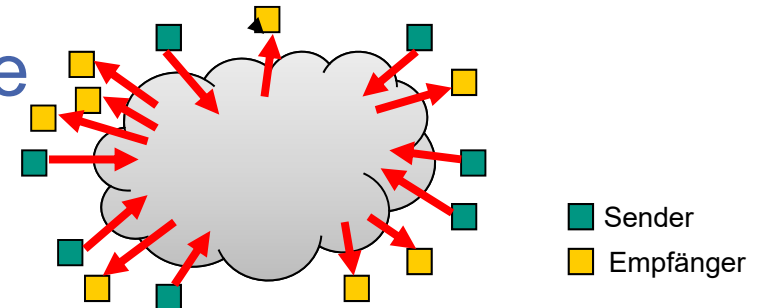
Zielsetzung Multicast-Routing

- Multicast-Pakete müssen effizient zugestellt werden
 - Replikation so spät wie möglich anhand Gruppenzugehörigkeit
 - Gruppenadresse im Paket
- Paket muss Weg von den Sendern zu den Empfängern finden

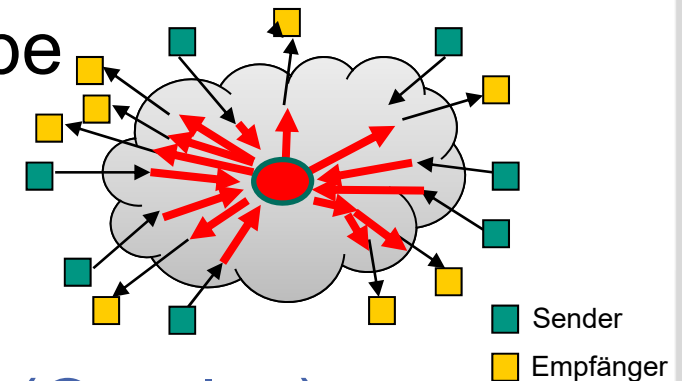


Zweigeteilter Mechanismus

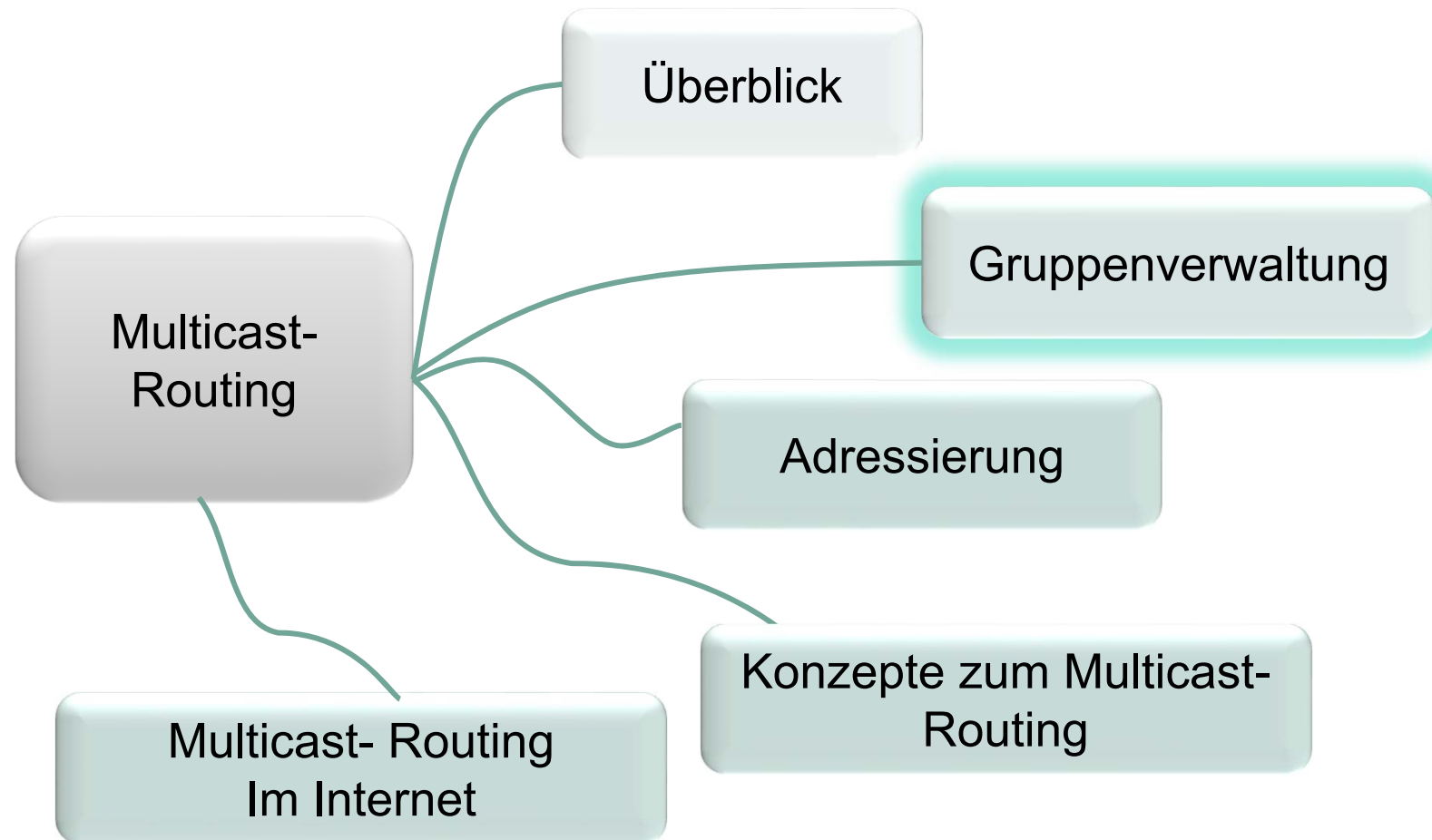
- Router im Subnetz kennen Zugehörigkeit der **Endsysteme** zur Multicastgruppe
→ **Protokolle zur Gruppenverwaltung**



- Router koordinieren sich untereinander, um Pakete für eine bestimmte Gruppe von einem oder mehreren Sendern zu erhalten
→ **Multicast-Routingprotokolle zum Aufbau einer Verteilstruktur (Overlay)**



Übersicht



Gruppenverwaltung

■ Problem

- Woher weiß ein Router, dass er Multicast-Dateneinheiten an die angeschlossenen Subnetze bzw. die darin lokalisierten Systeme weiterleiten muss?

■ Lösung

- Multicast-Empfänger informieren „ihren“ Multicast-Router über ihre Gruppenmitgliedschaft(en). Im Internet werden hierzu eingesetzt:
 - Für IPv4: **IGMP** (Internet Group Management Protocol, aktuell: **IGMPv3**)
 - Für IPv6: **Multicast Listener Discovery (MLD)** for IPv6 (integriert in ICMPv6, aktuell: **MLDv2**)

Gruppenverwaltung: Allg. Ablauf

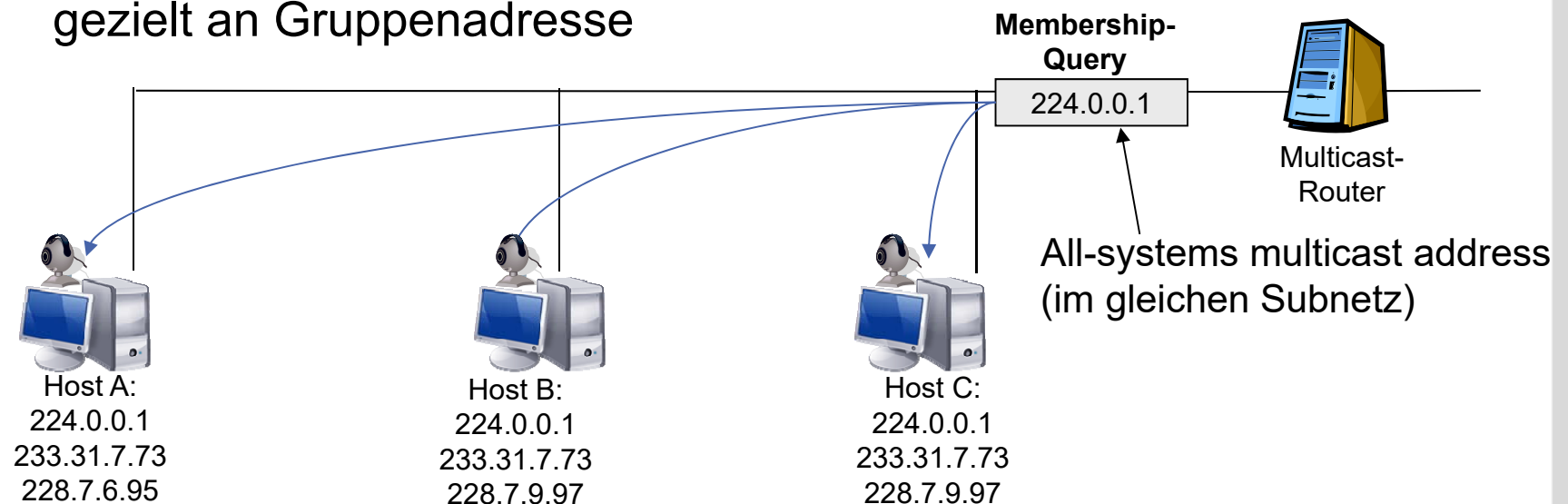
■ Genereller Ablauf (IPv6)

- Ändert sich die Gruppenmitgliedschaft eines Systems, wird eine „**Membership-Report**“-Nachricht mit der entsprechenden Zustandsänderung geschickt
- Multicast-Router senden außerdem periodisch so genannte „**Membership-Query**“-Dateneinheiten an die Multicast-Adresse „**all nodes**“ (ff02::1)
- Jeder Multicast-Empfänger im Subnetz sendet, nach einer zufälligen Wartezeit, als Antwort eine oder mehrere „**Membership-Report**“-Dateneinheiten an „**all MLDv2-capable routers**“ (ff02::16), in welchen die Adressen der gewünschten Multicast-Gruppen enthalten sind

IGMP: Ablauf (1)

■ Multicast-Router

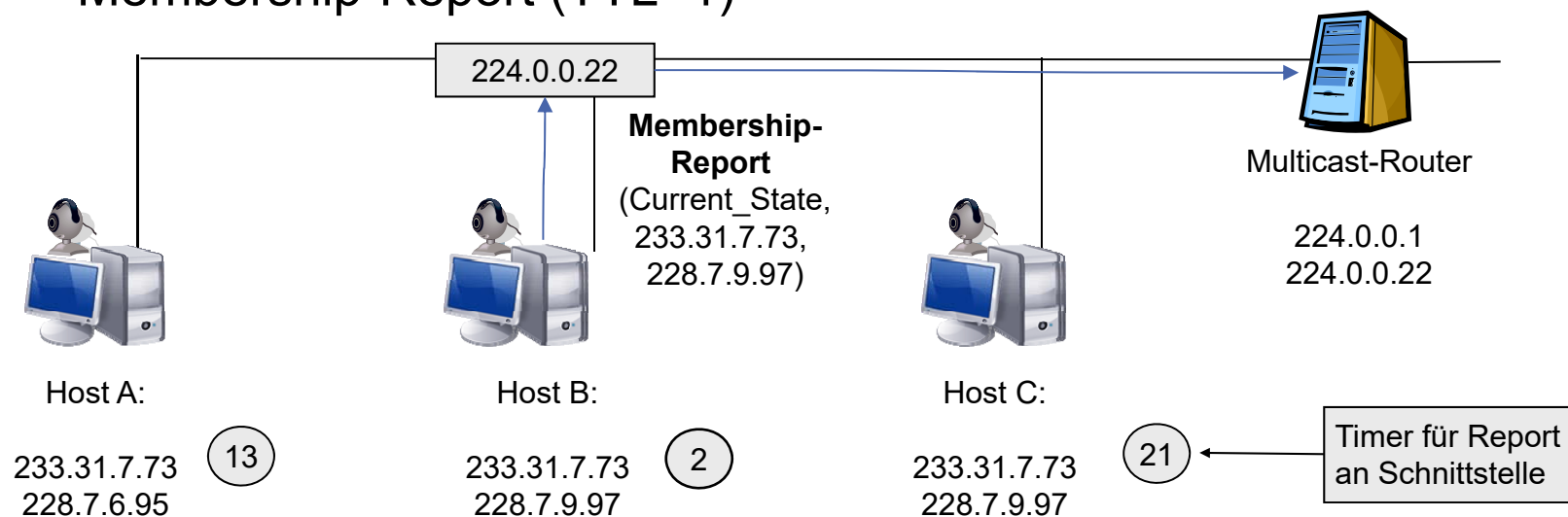
- tritt Multicast-Adresse 224.0.0.22 bei, um Membership Report zu empfangen
- Periodische Anfrage (Variante: „General-Query“) an „all-systems“ (224.0.0.1)
 - Auffrischen der Zustandsinformation
- Sendet Group-Specific- und Group-and-Source-Specific-Queries gezielt an Gruppenadresse



IGMP: Ablauf (2)

■ Multicast-Hosts

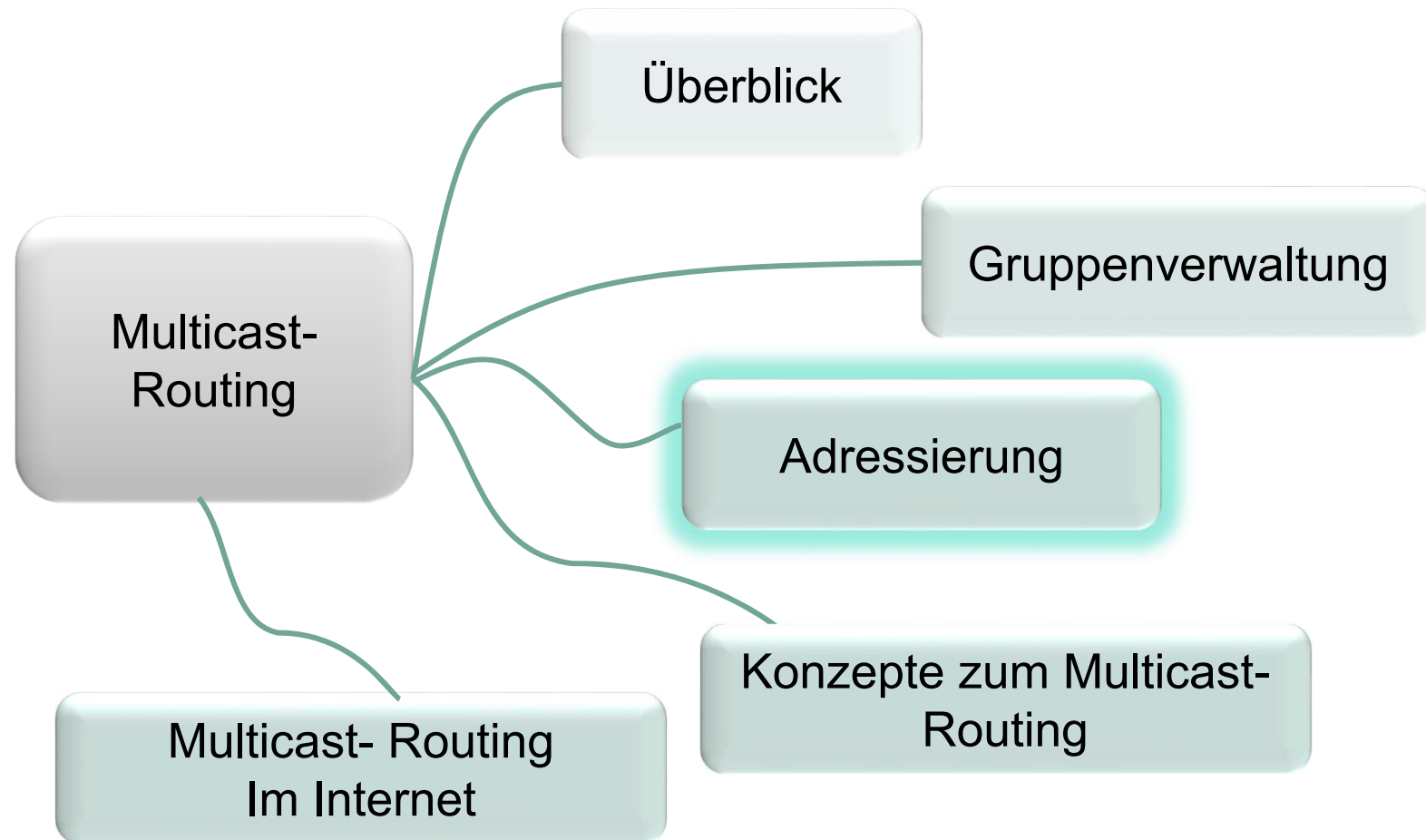
- Beitritt zu/Austritt aus einer Multicast-Gruppe: sofortiges Senden eines Membership-Reports
- Jedes System startet nach Empfang eines Membership-Queries einen Timer (bei General-Query je Schnittstelle, bei den anderen Varianten zusätzlich je Gruppe bzw. Quelladresse)
- Läuft einer der Timer ab, so antwortet dieser Rechner mit einem Membership-Report (TTL=1)



IGMPv3

- Unterstützung für Source-Specific Multicast (SSM): Erweiterung um „Source Filtering“
- Einige Änderungen gegenüber IGMPv2:
 - Zustand wird für Gruppe und Liste von Quellen gehalten (nicht nur für Gruppe)
 - Programmierschnittstelle erlaubt nun die Angabe von Quellen-Listen
 - Hosts unterdrücken Membership-Reports nicht mehr (vereinfachte Implementierung und explizites Verfolgen der Gruppen-Mitgliedschaft)
 - Reports können mehrere Gruppeneinträge enthalten
 - Reports werden an 224.0.0.22 geschickt (erlaubt einfacheres „Snooping“ durch Schicht-2-Switches)

Übersicht



Reichweite und Multicast-Adressen

■ Reichweite

- Definiert den Bereich, in dem die Multicast-Dateneinheit weitergereicht wird

■ Vorteil einer begrenzten Reichweite

- Begrenzung von gefluteten Netzbereichen
 - z.B. beim Routingprotokoll DVMRP
- Mehrfachnutzung von Multicast-Adressen in verschiedenen Netzbereichen
- Privatsphäre

■ TTL-Scoping: Begrenzung anhand der TTL-Werte

- Verwendung von Schwellenwerten
- Bereiche: Subnetz (1), Domäne, Region, Kontinent usw.

Reichweite von Multicast-Gruppen

■ Administrative Bereiche für IPv4

- Die Multicast-Adresse gibt die Reichweite an und muss deshalb entsprechend gewählt werden



Adressenbereich	Bereichsbezeichnung
224.0.0.0–224.0.0.255	Link Local
224.0.1.0–238.255.255.255	Global
239.0.0.0–239.255.255.255	Administratively Scoped: Organization-Local Site-Local
239.192.0.0–239.251.255.255	
239.255.0.0–239.255.255.255	

■ Für IPv6 in Multicast-Adressstruktur mit definiert:

- 4 Scope-Bits: 16 mögliche Gültigkeitsbereiche/Reichweite



Allokation von Multicast-Adressen

- Bisher kein Zuteilungsverfahren für Multicast-Adressen im Internet
 - für Source-Specific-Multicast auch nicht notwendig
 - für traditionelles Any-Source-Multicast: Kollisionen möglich
 - Wahrscheinlichkeit einer Kollision nimmt mit steigender Nutzung zu
 - Wie wird bisher vorgegangen?
- **Multicast Address Allocation Architecture:**
Vorschlag zur Zuteilung von Multicast-Adressen
(MALLOC Working Group der IETF)
- Ansatz zu komplex → keine Umsetzung i.d. Praxis
 - Client/Server Architektur, hierarchisch

Wdh.: IPv6 Multicast-Adressen

■ Struktur [RFC4291]

11111111	Flags	Scope	Group ID
8	4	4	112 Bits

■ Flags



■ Transient-Bit

- 0 = permanente, „wohlbekannte“ (von der IANA vergebene) Gruppenadresse
- 1 = dynamisch vergebene, „transiente“ Gruppenadresse

■ P-Flag für **Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast** [RFC3306]

■ R-Flag für eingebettete **Rendezvous-Point-Adressen**

■ Scope

 [RFC3956]

- 6 verschiedene Bereiche

IPv6 Unicast Prefix-based Addresses

■ Unicast Prefix-based IPv6 Multicast Addresses [RFC3306]

11111111	Flags	Scope	Reserved	Plen	Network Prefix	Group ID
8	4	4	8	8	64	32 Bits

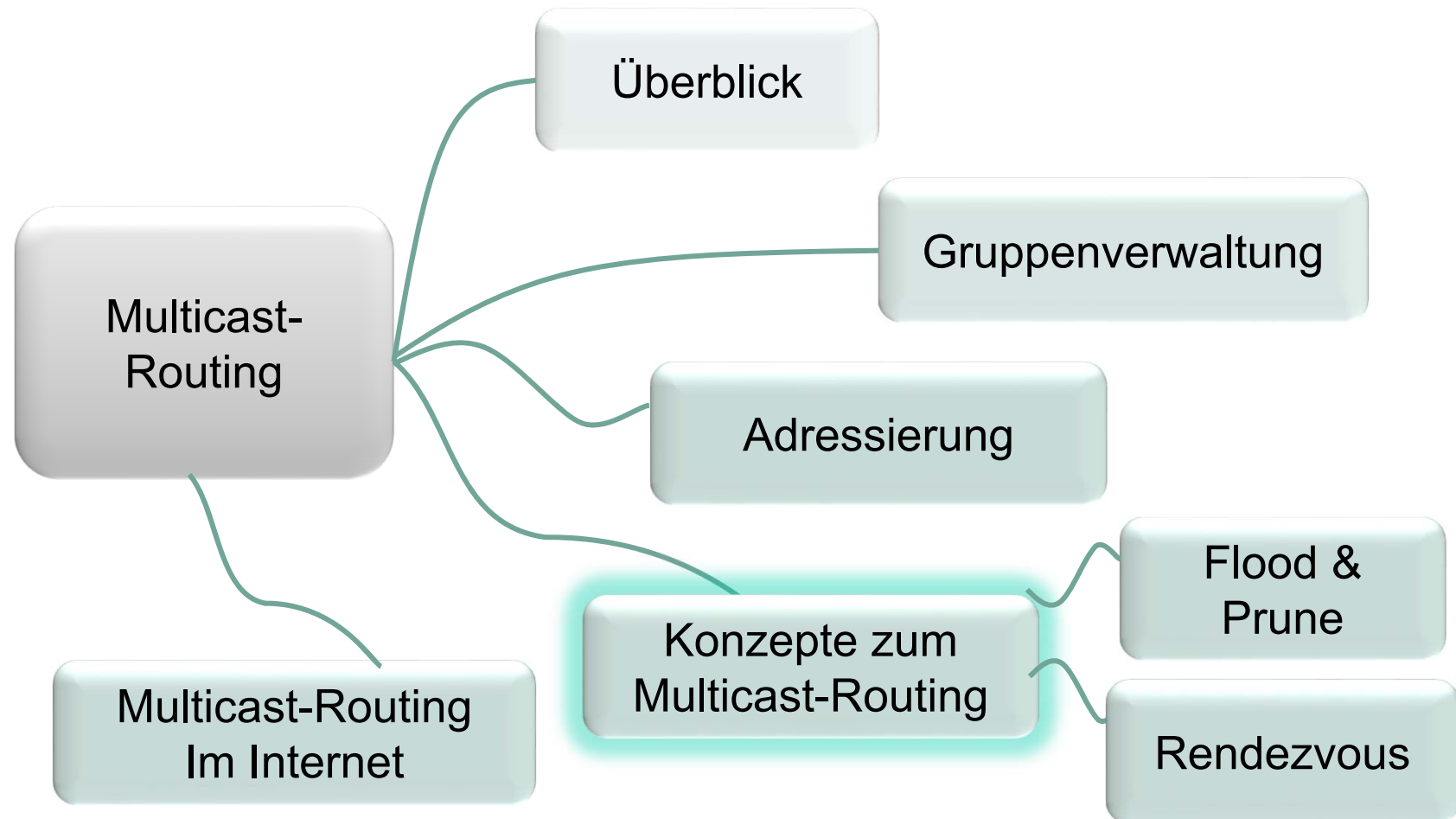
0	0	P	T
---	---	---	---

- **P=1**: Multicast-Adresse basierend auf Netzpräfix
- **Plen**: Präfixlänge des Subnetzes (in Bit)
- **Network Prefix**: Unicast-Subnetz der ausgehenden Domäne

 Vorteil

- keine Adressenkollisionen mehr möglich
- Vereinfachung: Multicast-Adressenallokationsprotokolle können wegfallen

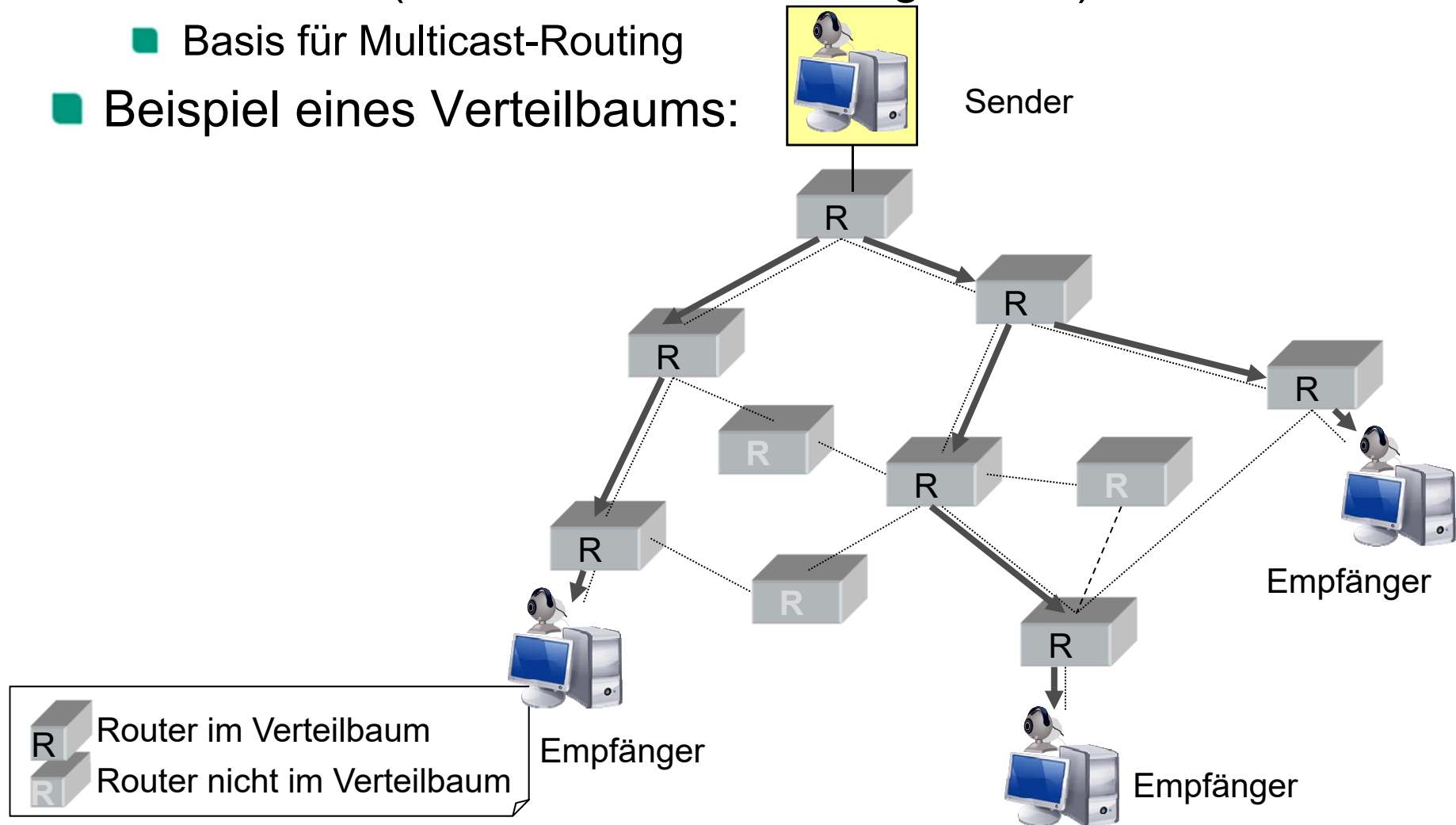
Übersicht



Konzepte zum Multicast-Routing

■ Verteilbaum (auch Multicast-Baum genannt)

- Basis für Multicast-Routing
- Beispiel eines Verteilbaums:

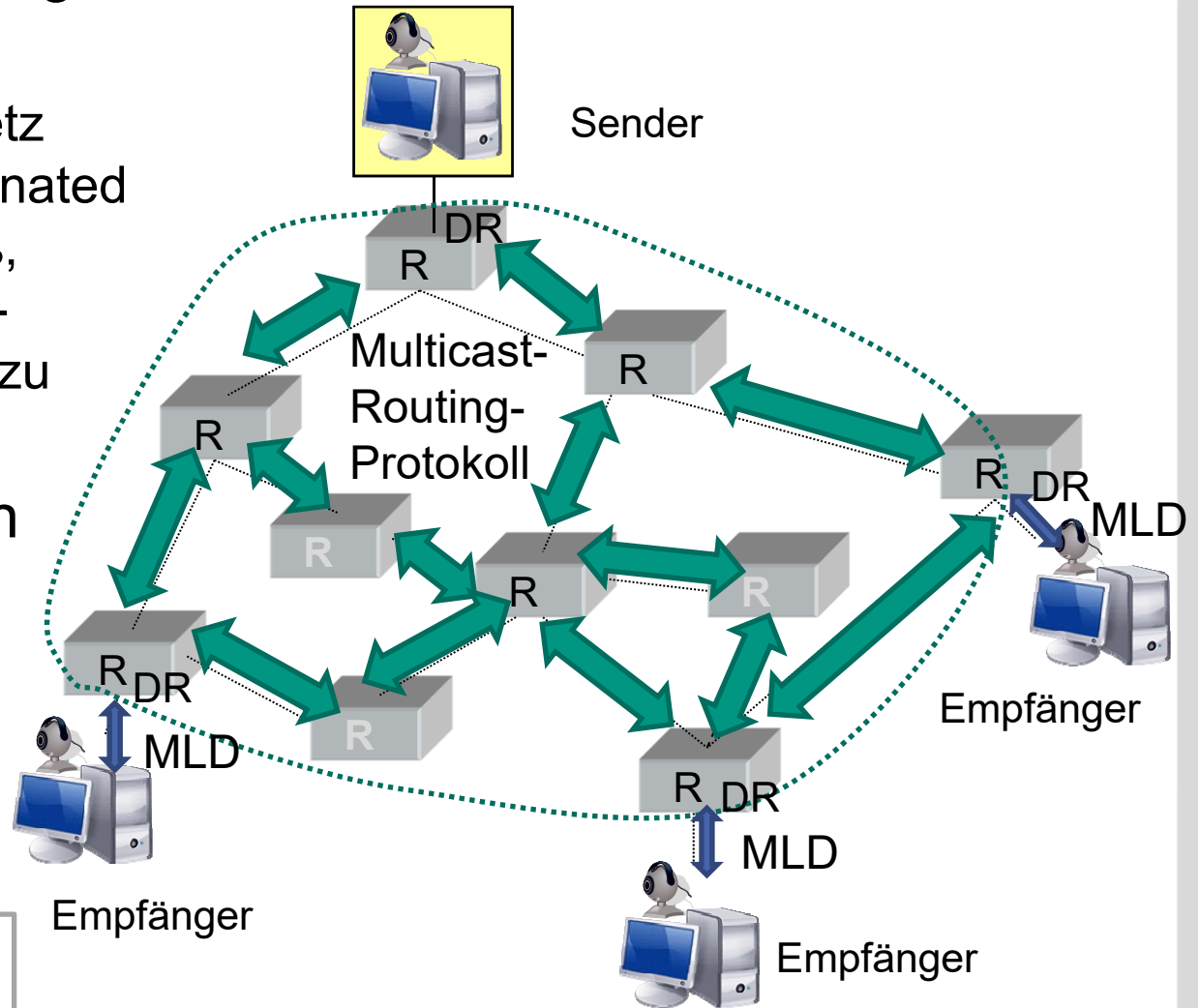


Gruppenverwaltung und Multicast-Routing

- Sender und Empfänger nehmen selbst nicht am Multicast-Routing teil!

- Der für das Subnetz zuständige „Designated Router“ (DR) weiß, welches Multicast-Routing-Protokoll zu nutzen ist

- Teilnehmer melden Mitgliedschaft bei DR an (mit IGMP oder MLD)



Multicast Routing-Problem

■ Problem

- Paket von Sender muss zu den Empfängern finden
→ Ziel: Aufbau eines effizienten Verteilbaums
- Empfänger müssen Weg zum Sender bzw. zum Verteilbaum finden

■ Zwei grundlegende Ansätze

- **Fluten und Zurückschneiden (Flood & Prune)**
 - Fluten notwendig, weil nicht bekannt ist, wo potentielle Empfänger zu finden sind
 - Zurückschneiden: Dort wo keine Empfänger vorhanden sind, wird der Verteilbaum „beschnitten“
- **Bäume mit Rendezvous-Stellen**
 - Rendezvousstellen dienen dazu, dass
 - Sender zu den Empfängern bzw. zum Verteilbaum finden
 - Empfänger zu den Sendern bzw. zum Verteilbaum finden

Fluten und verbesserte Techniken

■ Fluten

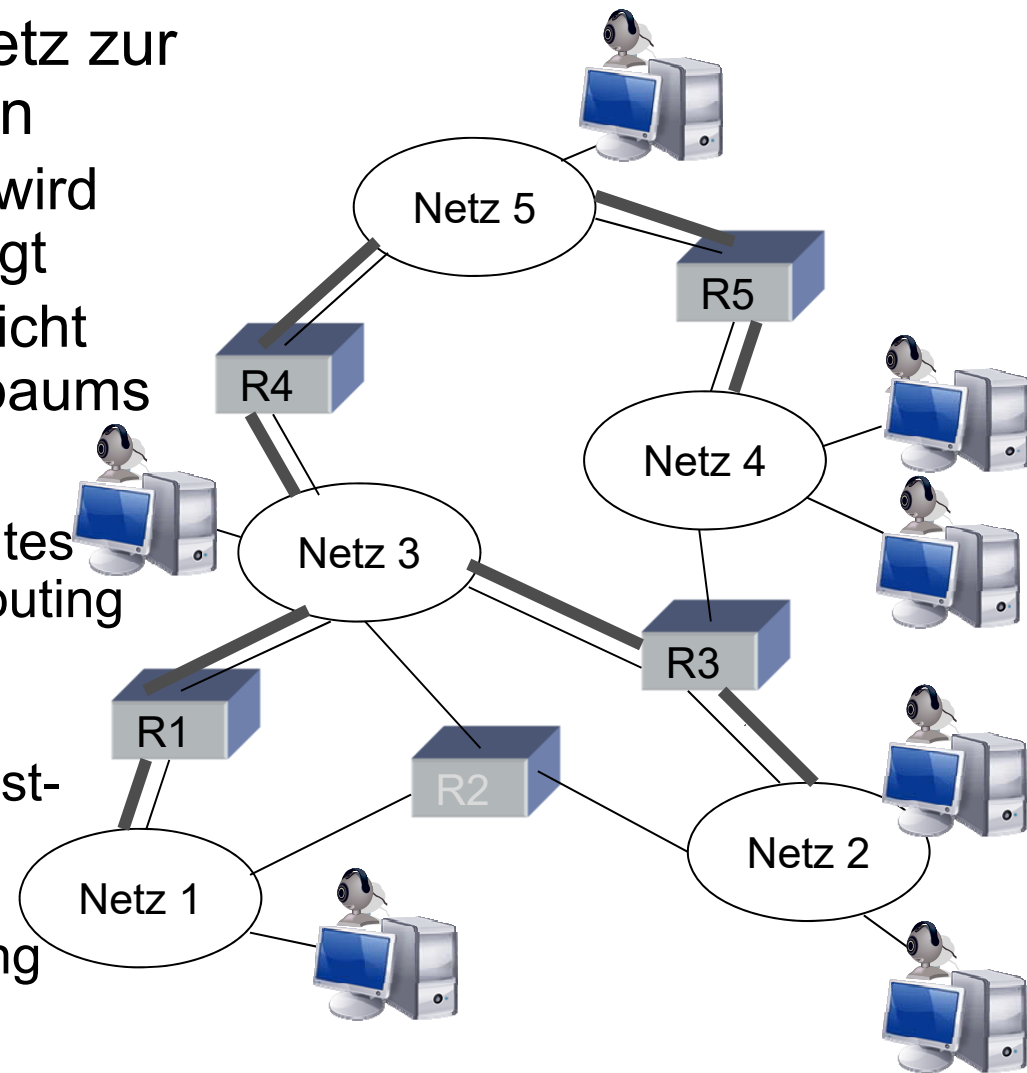
- Daten werden über alle Anschlüsse eines Routers geflutet, um alle Gruppenmitglieder zu erreichen
- Vorteile:
 - einfache Realisierbarkeit
 - Erreichbarkeit aller Gruppenmitglieder garantiert
- Nachteile:
 - hohe Netzlast
 - Keine Unterstützung geschlossener Gruppen möglich
 - Duplikate von Dateneinheiten möglich

■ Verbessertes Fluten

- Keine Weiterleitung, falls Duplikat einer Dateneinheit bereits empfangen wurde
- Vorteil:
 - Vermeidung von Schleifen
- Nachteile:
 - Information über empfangene Daten muss gespeichert werden
 - Löschen dieser Information muss kontrolliert werden

Spannbäume

- Etablieren ein Overlay-Netz zur Vermeidung von Schleifen
 - Gruppenmitgliedschaft wird dabei nicht berücksichtigt
 - Beispiel: Router R2 ist nicht Bestandteil des Spannbaums
- Beurteilung
 - Fluten stellt sehr ineffizientes Verfahren für Multicast-Routing dar
 - Es handelt sich dabei eigentlich um ein Broadcast-Verfahren, weil keinerlei Information über die Gruppenzusammensetzung ausgenutzt wird



Zielsetzung

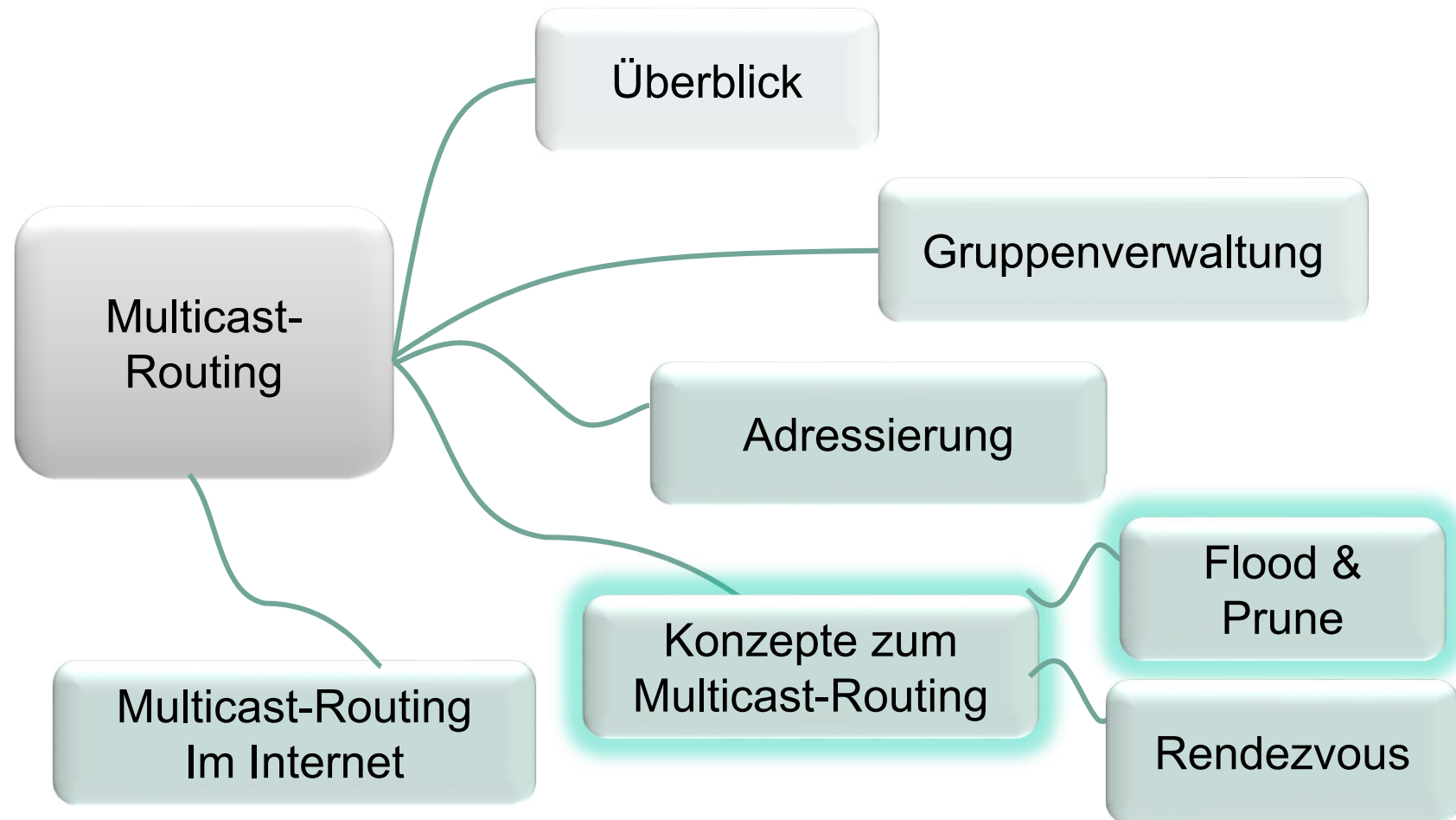
■ Ziel

- Aufbau eines Verteilbaums unter Berücksichtigung der Gruppenmitgliedschaft
- Multicast-Pakete werden nur an die Empfänger aus der entsprechenden Gruppe weitergeleitet

■ Varianten

- Flood & Prune
 - Spannbäume
- Bäume mit Rendezvous-Stellen

Übersicht



Flood & Prune

■ Vorgehen

- Für jeden Empfänger wird ein Spannbaum etabliert. Optimierungskriterium sind die Verzögerungszeiten.

■ RPF-Verfahren (Reverse Path Forwarding)

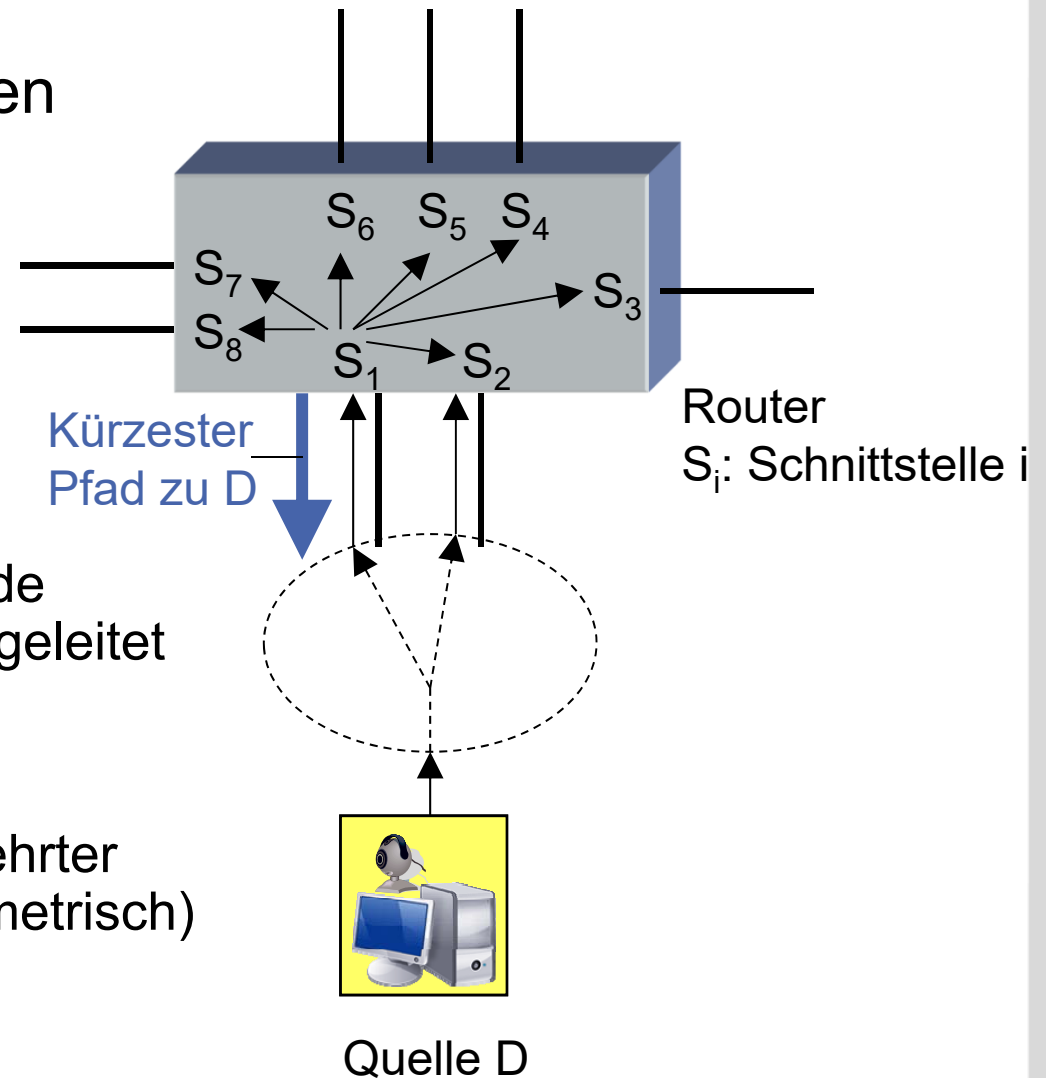
- RPF-Router merkt sich Datenquelle und Schnittstelle S_i , über welche die Multicast-Dateneinheit empfangen wurde
- Gehört die Schnittstelle **zum kürzesten Pfad zur Quelle**, so wird die Dateneinheit an alle anderen Schnittstellen weitergeleitet (andernfalls nicht)

■ Eigenschaften

- Keine Schleifen möglich
- Mehrfache Routen möglich
- Vorteil
 - Keine gesonderten Multicast-Routingtabellen erforderlich
 - Reduzierter Overhead im Vergleich zu Fluten
- Nachteil
 - Weiterleiten der Daten erfolgt nicht zielorientiert
 - Empfänger kann Daten mehrfach erhalten

Beispiel zu Reverse Path Forwarding

- Endsystem D sendet Daten
 - Schnittstelle S_1 liegt auf dem kürzesten Pfad zu D, d.h., Daten werden an alle anderen Schnittstellen weitergeleitet
 - Schnittstelle S_2 liegt nicht auf dem kürzesten Pfad, von D über S_2 ankommende Daten werden nicht weitergeleitet
- Problem
 - Entscheidung basiert auf kürzestem Pfad in umgekehrter Richtung (Pfade oft asymmetrisch)
 - Gruppenstruktur wird nicht berücksichtigt



Verbesserung: kürzester Pfad

■ Vorgehen

- Zusätzlich zu RPF wird der kürzeste Pfad auch für das Weiterleiten der Daten ausgewertet
- Weiterleitung erfolgt nur noch an solche Router, die in umgekehrter Richtung auf dem kürzesten Pfad liegen

■ Beispiel

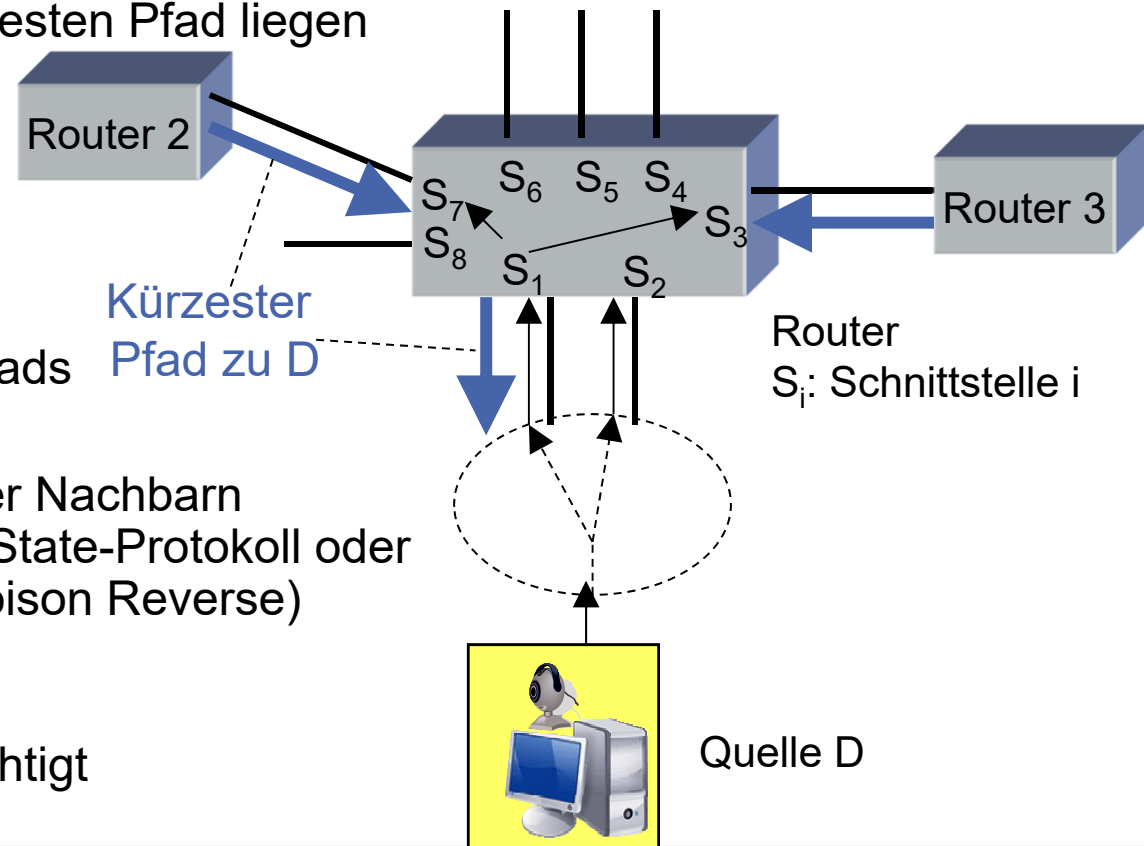
- Weiterleitung an S_3 und S_7

■ Vorteil

- Reduktion des Overheads

■ Nachteil

- Routing-Information der Nachbarn erforderlich (z.B. Link-State-Protokoll oder Distance Vector mit Poison Reverse)
- Struktur der Gruppe wird beim Aufbau des Baums nicht berücksichtigt



Verbesserung: Teilnetze mit Gruppenmitgliedern

■ Ziel

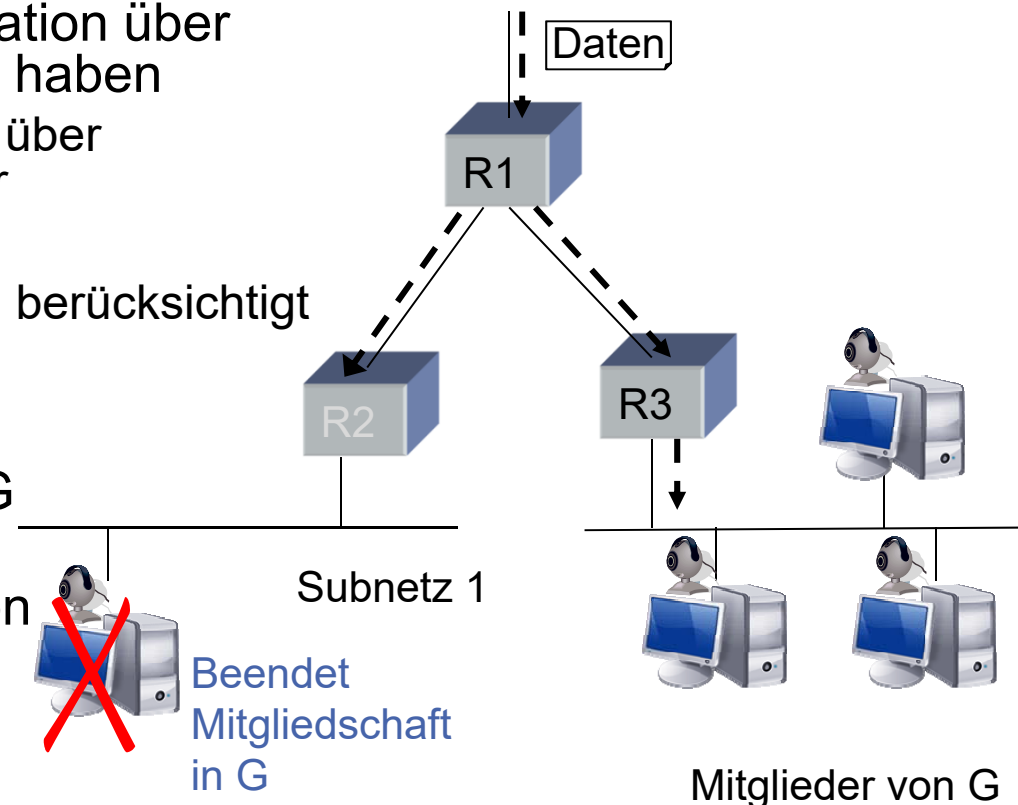
- Daten sollen nicht an Schnittstelle (Teilnetz) weitergeleitet werden, in dem sich kein Gruppenmitglied befindet

■ Voraussetzung

- Router müssen Information über Gruppenmitgliedschaft haben
 - Diese Information ist über IGMP/MLD verfügbar
- Vorteil
 - Gruppenstruktur wird berücksichtigt

■ Beispiel

- Router R2 besitzt kein Gruppenmitglied von G in Subnetz 1
- Daten für G werden von R2 nicht in Subnetz 1 weitergeleitet



Verbesserung: Netzbereiche mit Gruppenmitgliedern

■ Ziel

- Daten sollen nicht zu Routern gelangen, hinter denen sich keine Gruppenmitglieder mehr befinden

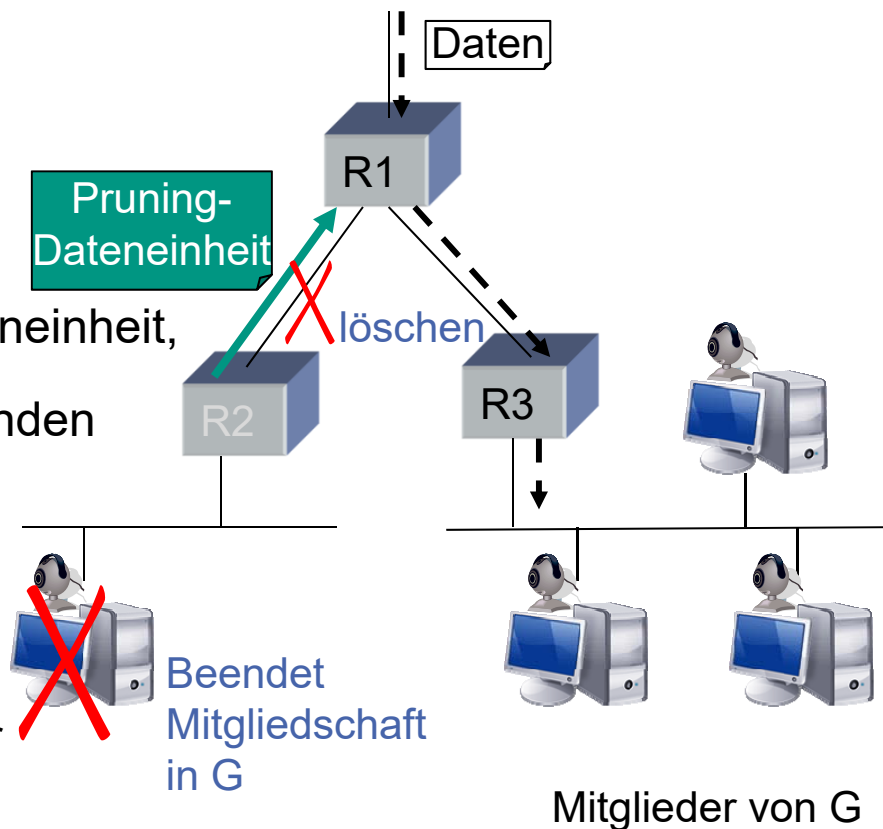
■ Vorgehen

■ Flood & Prune

- Daten werden periodisch im Netz geflutet
- Downstream-Router reagieren mit Senden einer **Pruning**-Dateneinheit, falls sie keine aktuellen Gruppenmitglieder zur betreffenden Gruppe kennen (vgl. R2)

■ Expliziter Beitritt (Join)

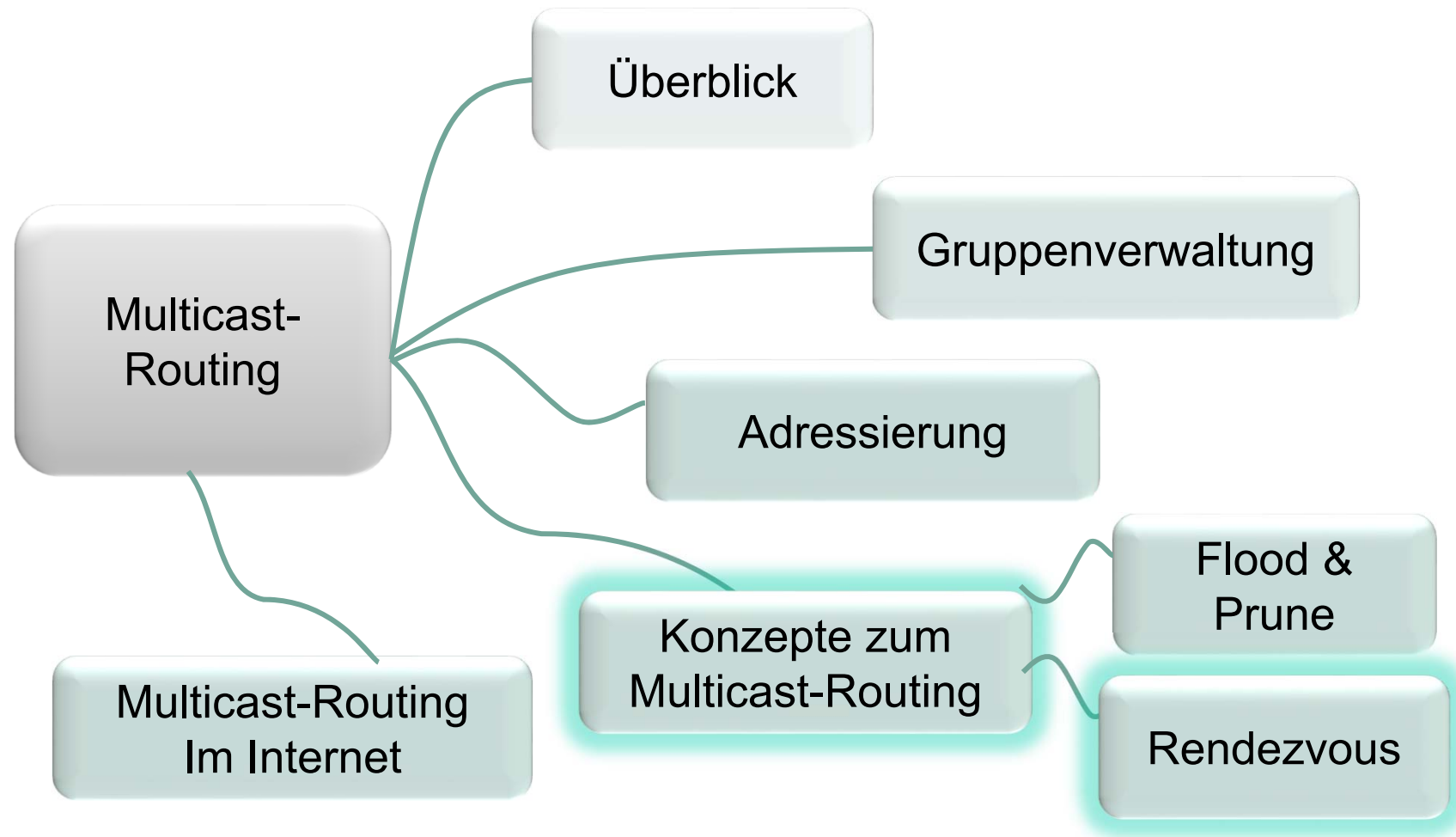
- Downstream-Router signalisiert Interesse mit Join-Nachricht
- Erfordert Kenntnis über Sender
 - Rendezvous-Stelle
 - Source-Specific Multicast



Verfahren mit Fluten

Verfahren	Broad- /Multicast	Weiterleiten	Dateneinheiten	Netzbereich
Fluten	Broadcast	alle Schnittstellen	alle Dateneinheiten	komplettes Netz
RPF	Broadcast	alle Schnittstellen	Dateneinheiten vom kürzesten Pfad	komplettes Netz
Verbesserung: kürzester Pfad	Broadcast	Schnittstellen auf dem kürzesten Pfad	Dateneinheiten vom kürzesten Pfad	komplettes Netz
Verbesserung: Teilnetze	Multicast	Schnittstellen auf dem kürzesten Pfad	Dateneinheiten vom kürzesten Pfad	nicht in Teilnetze ohne Mitglieder
Verbesserung: Netzbereiche	Multicast	Schnittstellen auf dem kürzesten Pfad	Dateneinheiten vom kürzesten Pfad	nur in Netzbereiche mit Mitgliedern

Übersicht



Bäume mit Rendezvous-Stellen

■ Ziel

- Vermeiden des anfänglichen flächendeckenden Flutens

■ Vorgehensweise

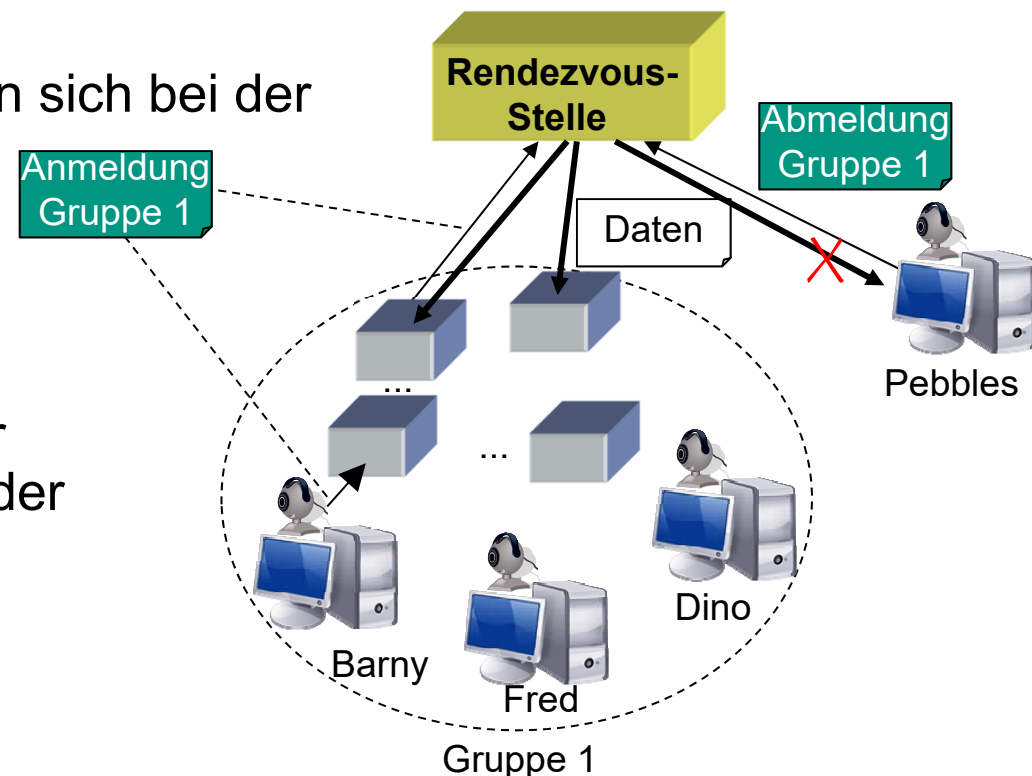
- Für eine Gruppe werden ein oder mehrere **Rendezvous-Stellen** selektiert
- Gruppenmitglieder melden sich bei der Rendezvous-Stelle an
- Etablierung eines Spannbaums pro Gruppe

■ Vorteil

- Gezieltes Weiterleiten der Daten an Gruppenmitglieder

■ Nachteil

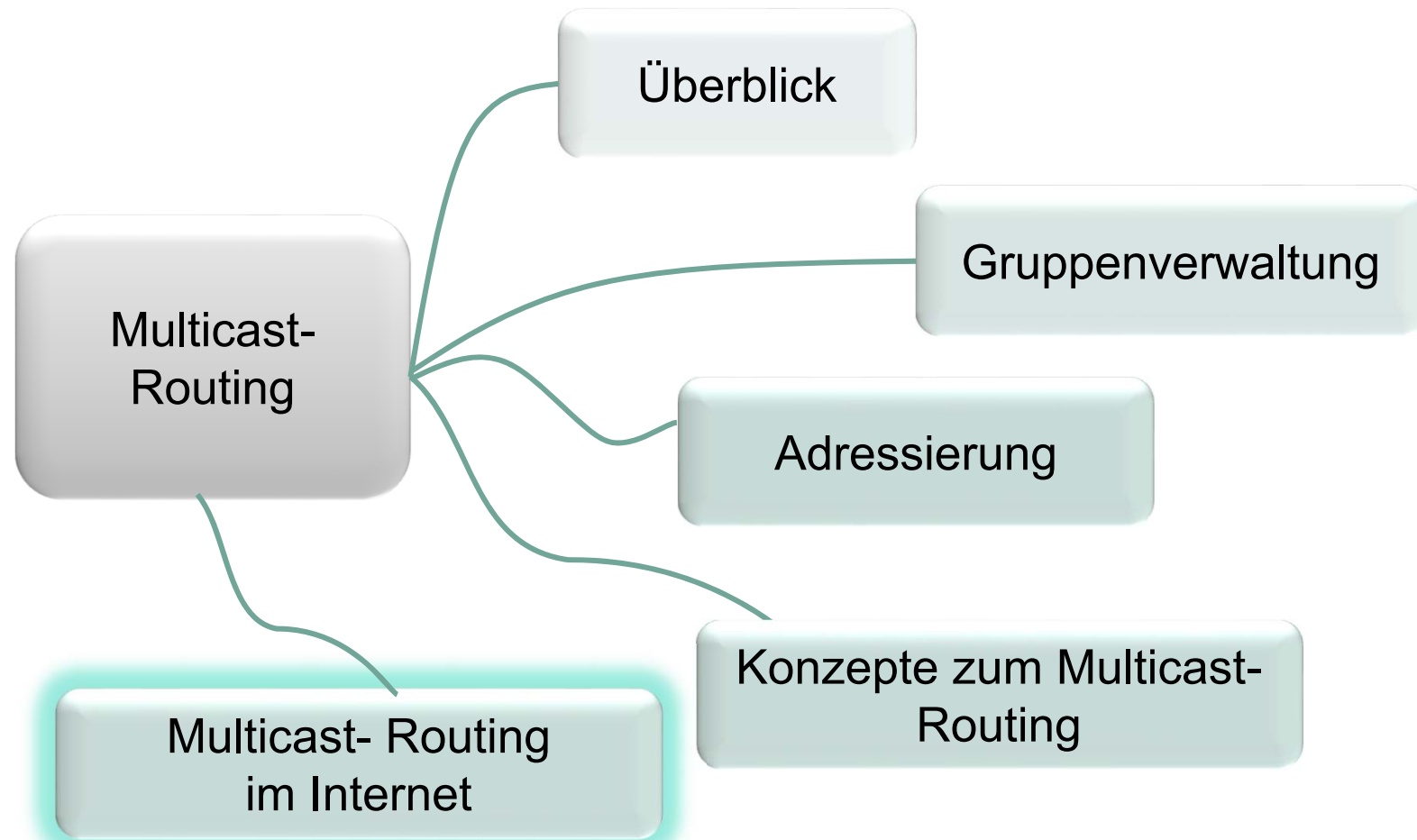
- Verkehrskonzentration an den Rendezvous-Stellen



Gegenüberstellung der Basisverfahren

Kriterium	Flood & Prune	Rendezvous-Stellen
Ansatz	inkrementell	inkrementell
Fluten	ja, teilweise eingeschränkt	nein
Zentral/verteilt	verteilt	verteilt
Single-Point-of-Failure	nein	ja
Gruppendichte	hoch	gering
Verkehrskonzentration	nein	ja
Praxis	ja	ja
Aufwand	gering	mittel

Übersicht



Multicast-Routingprotokolle im Internet

■ Ziel

- Vorstellung standardisierter Multicast-Routingprotokolle, die im Internet bzw. in Teilbereichen eingesetzt werden
- Präsentation neuer Ansätze, die sich noch in der Standardisierung befinden

■ Grundlage

- Alle vorgestellten Protokolle bauen auf IGMP/MLD für die **Gruppenverwaltung** auf
- Bei gemeinsamem Medium wird vorausgesetzt, dass ein so genannter **Designated-Router (DR)** über die Mitgliedschaft informiert
- Nur der **Designated-Router** leitet Multicast-Pakete an Empfänger innerhalb eines gemeinsamen Subnetzes weiter

IP Multicast – ASM contra SSM (1)

■ Any-Source Multicast (ASM)

- ursprüngliches IP-Multicast-Konzept nach RFC 1112 basiert auf offenen Gruppen (auch Nicht-Gruppenmitglieder dürfen an Gruppe senden)
- Jedes Endsystem kann Pakete an eine Multicast-Gruppe G (Host Group) schicken, Sender muss nicht gleichzeitig Empfänger sein
- Multipeer (m:n-Kommunikation, aber als Multicast im Internet bezeichnet)
 - Unterstützt 1:n-Kommunikation (Multicast) als Spezialfall

■ Probleme:

- Adressen-Allokation erforderlich (komplex)
- Fehlende Zugriffskontrolle
 - Empfänger kann Empfang nicht auf bestimmte Quellen einschränken
 - Aktive Quelle kann andere Sender nicht am Senden hindern
- Ineffiziente Behandlung bei wohlbekannten Quellen: Gemeinsam genutzter Verteilbaum unnötig

IP Multicast – ASM contra SSM (2)

■ Source-Specific Multicast (SSM)

- Echtes Multicast (1:n-Kommunikation)
- Kanalkonzept:
 - „Kanal“ (S,G) umfasst jetzt die **Quelladresse S des Senders** sowie die **Gruppenadresse G** (IP-Zieladresse) und identifiziert damit eine SSM-Gruppe eindeutig
 - damit $(S1,G) \neq (S2,G)$
- Ermöglicht zahlreiche Vereinfachungen, u.a.
 - Adressallokation
 - Zugriffskontrolle
 - Vermeidung gemeinsam genutzter Verteilbäume
 - Routing, da Sender einfach gefunden werden kann (s. nächste Folie)

SSM vereinfacht Routing

- Da Sender bekannt, können die Empfänger zum Sender finden
- Aufbau des **senderspezifischen Verteilbaums**
 - DR des Empfängers schickt „Join“ in Richtung Sender mittels „normalem“ (Unicast-)Routingprotokoll
 - Dort wo Router bereits im Verteilbaum eingegliedert ist, hört das „Join“ auf
- Vorteil
 - Kein Fluten notwendig
- Nachteil
 - Routing-Information wird für Weiterleitung in umgekehrter Richtung verwendet, daher ggf. suboptimale Routen

Beispiele für Multicast-Routingprotokolle

■ Intra-Domain-Routingprotokolle

- **DVMRP** (Distance Vector Multicast Routing Protocol)
- **MOSPF** (Multicast Open Shortest Path First)
- **PIM** (Protocol Independent Multicast)
 - Sparse-Mode (**PIM-SM**)
 - Dense-Mode (**PIM-DM**)
 - Bidirectional PIM (**BIDIR-PIM**)
- **CBT** (Core-Based-Trees) [RFC2201,RFC2189]
 - Nicht weiter behandelt, da praktisch kaum von Bedeutung
 - Stellt bidirektionale gemeinsame Verteilbäume bereit
 - Probleme
 - Abbildung der Gruppenadresse auf Core (Wurzel des Verteilbaums)
 - gute Lokation des Cores

■ Inter-Domain-Routingprotokolle

- **BGMP** (Border Gateway Multicast Protocol)
- **Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)**

Designated-Router

■ Problem

- In einem Teilnetz befinden sich mehrere multicastfähige Router. Multicast-Daten können so mehrfach in ein Teilnetz gelangen.

■ Verfahren

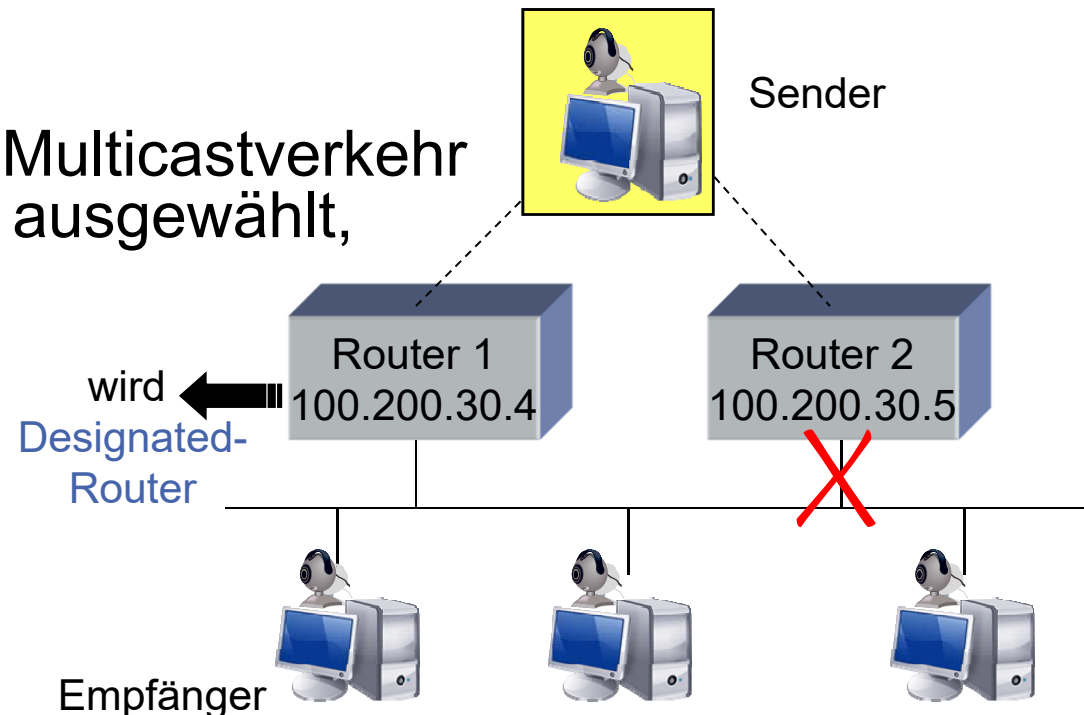
- Es wird ein für den Multicastverkehr zuständiger Router ausgewählt, der so genannte

Designated-Router

- Auswahlkriterium: niedrigste IP-Adresse

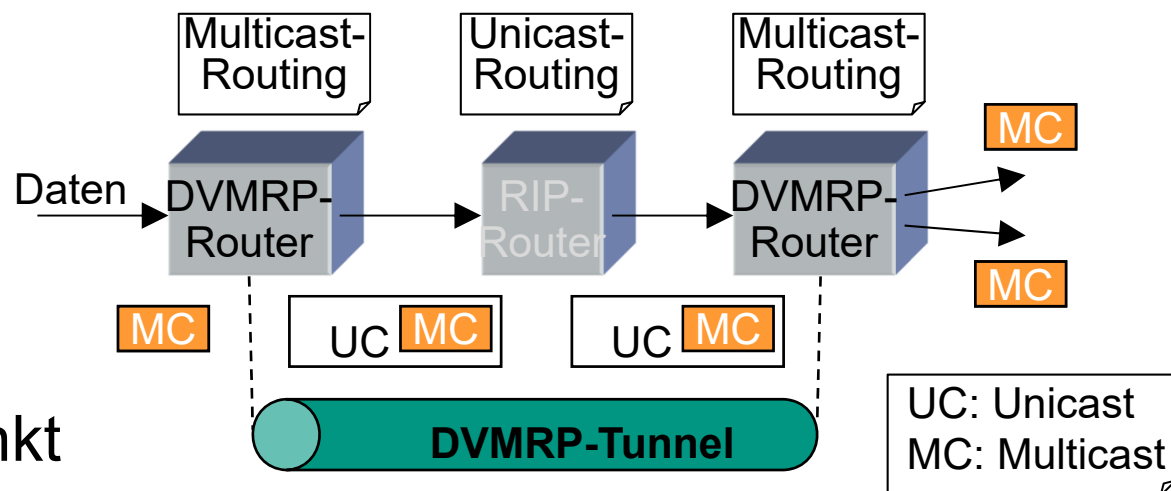
■ Beispiel

- Router R1 wird Designated-Router



DVMRP

- Erweiterung der Konzepte von RIP für Multicast-Routing
 - Empfängerbasiertes Verfahren
 - Berechnet vorangegangenen Übertragungsabschnitt zurück zur Quelle. RIP berechnet Weg hin zur Quelle.
- DVMRP-Router nutzt zwei unabhängige Routingprotokolle
 - Protokoll für Unicast-Routing (z.B. RIP, OSPF)
 - DVMRP für Multicast-Routing
- Tunneltechnik für den praktischen Einsatz im Internet (ohne Multicast-Unterstützung)
- Beispiel
 - Tunnel zwischen DVMRP-Routern
- Konzept „virtuelle Schnittstelle“: physikalische Schnittstelle oder Tunnelendpunkt



Nachbarschaft

■ Basis

- DVMRP-Router müssen ihre Nachbarn kennen lernen
- Periodisches Versenden von „Neighbor Probe“-Dateneinheiten
 - TTL ist auf Eins gesetzt
 - Was bewirkt dies?
 - Liste mit allen Nachbarn des Routers

■ Routing von Multicast-Daten

- Basiert auf RPF mit Verbesserung: Netzbereiche
- Aufbau der Routingtabelle durch den Austausch von Distanzvektoren zwischen Routern
 - Spezielle Multicast-Distanzvektoren
 - Weg einer Dateneinheit für Unicast und Multicast kann unterschiedlich sein

Dynamische Kontrolle des Multicast-Baums (1)

Poison-Reverse

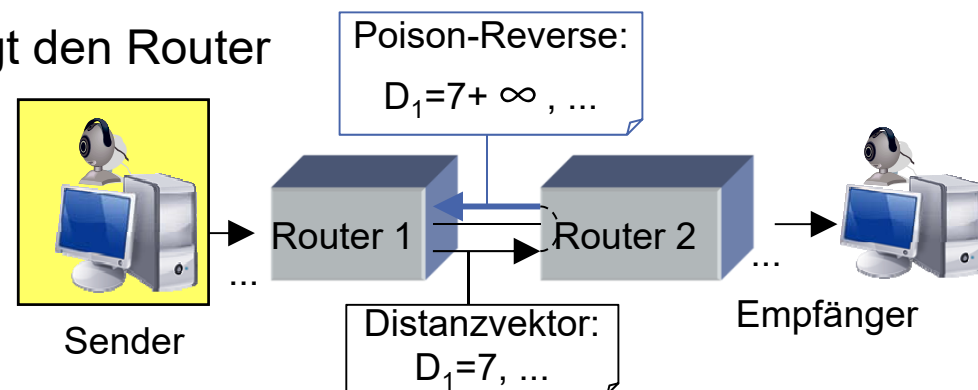
Ziele

- Dem vorangehenden Router im Baum wird mitgeteilt, dass sich stromabwärts abhängige Router (für eine bestimmte Quelle) befinden
- Der Router kann eine Liste mit abhängigen, stromabwärts gelegenen Routern je Schnittstelle erstellen

Ablauf

- Router bestimmt beste Route bzw. besten Router stromaufwärts in Richtung einer bestimmten Quelle
- Kennzeichnung der besten Route stromaufwärts durch Erhöhen der Distanz um ∞
- Reflektieren des Distanzvektors, d.h. er wird an den Router stromaufwärts geschickt
- Router stromaufwärts trägt den Router stromabwärts in Liste der abhängigen Router ein

Schema



Dynamische Kontrolle des Multicast-Baums (2)

■ Pruning

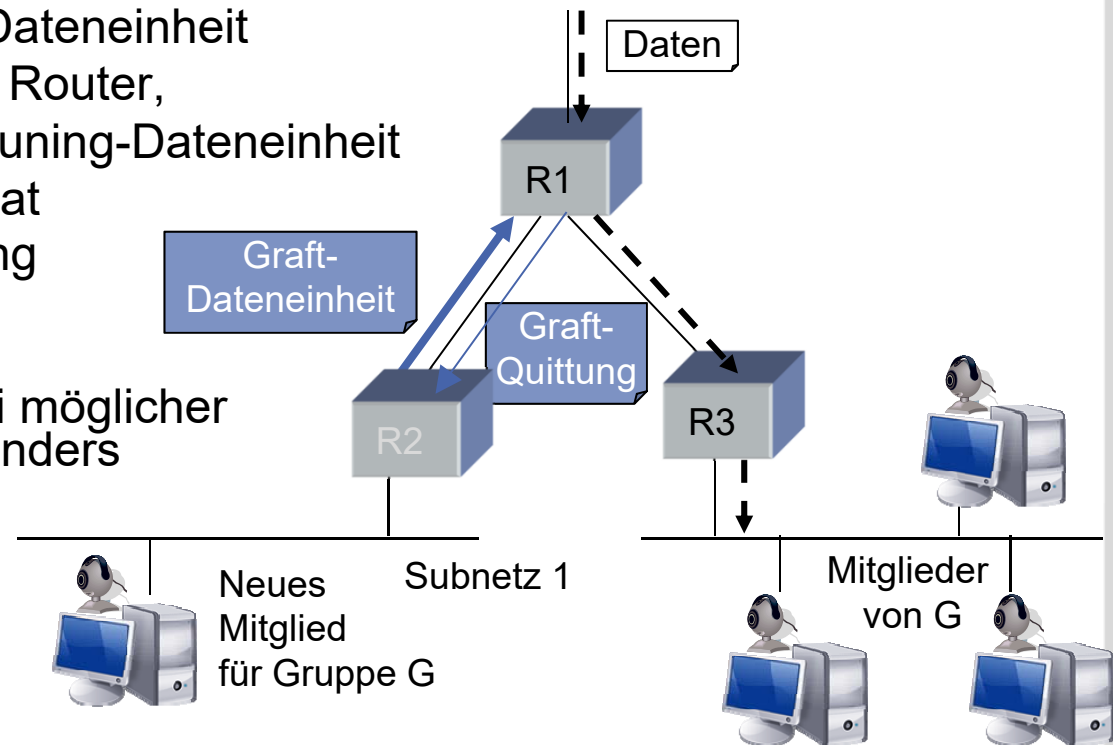
- Ziel: Multicast-Baum wird um nicht benötigte Zweige zurückgeschnitten
- Vorgehen
 - Router verwaltet Liste mit abhängigen Routern und Schnittstellen
 - Sind keine Gruppenmitglieder und keine abhängigen Router an einer Schnittstelle mehr vorhanden, kann er dem Router stromaufwärts eine Pruning-Nachricht schicken
 - Empfängt ein Router eine Prune-Nachricht, trägt er den stromabwärts gelegenen Router aus der Liste der abhängigen Router aus
 - Sind alle Einträge auf diese Weise aus der Liste entfernt worden, schickt der Router ebenfalls eine Prune-Nachricht an den Router stromaufwärts
 - Pruning gilt nur für eine bestimmte Zeit, danach wird wieder geflutet

Dynamische Kontrolle des Multicast-Baums (3)

■ Grafting

- Ziel: Wiedereingliederung eines Routers in den Multicast-Baum
- Ablauf
 - Tatsache, dass ein neues Gruppenmitglied in einem abgekoppelten Teilnetz vorhanden ist, wird über IGMP/MLD bekannt
 - Router sendet Graft-Dateneinheit an vorangegangenen Router, falls er vorher eine Pruning-Dateneinheit an diesen gesendet hat
 - Router sendet Quittung
 - Erkennen von Datenverlusten
 - Rückmeldung bei möglicher Inaktivität des Senders

■ Schema



MOSPF

- Multicast-Erweiterung von OSPF (Open Shortest Path First)
 - empfängerorientiertes Verfahren
 - basiert wie auch OSPF auf dem Link-State-Algorithmus
- Multicast-Erweiterungen von OSPF sind rückwärtskompatibel
 - MOSPF-Router sind interoperabel mit OSPF-Routern (Unicast-Verkehr)
 - RIP und DVMRP sind dagegen nicht interoperabel
 - Beim gemeinsamen Betrieb von OSPF- und MOSPF-Routern in einem Netz muss ein MOSPF-Router zum Designated-Router gewählt werden, damit Multicast-Verkehr in das entsprechende Subnetz weitergeleitet wird
- Erweiterungen
 - lokale Gruppenzugehörigkeit muss in den Routern bekannt sein
 - für jedes Paar aus Sender S und Gruppe G muss ein eigener Multicast-Baum berechnet werden

PIM: Protocol Independent Multicast

- PIM unterstützt verschiedene Einsatzszenarien
 - Räumlich verstreute Gruppen mit geringer Dichte an Mitgliedern (**Sparse**)
 - Räumlich wenig verstreute Gruppe mit hoher Dichte an Mitgliedern (**Dense**)
- PIM
 - verwendet existierendes Unicast-Routingprotokoll zur Topologieerkennung
 - ist unabhängig vom konkreten Typ des Unicast-Routingprotokolls (deshalb „**Protocol Independent**“)
- Ziele
 - Minimierung der Zustandshaltung in den Routern
 - Minimierung des Verarbeitungsaufwands von Kontroll- und Nutzdaten
 - Minimierung der beanspruchten Bandbreite im Netz

PIM-Varianten

■ PIM steht als Oberbegriff für unterschiedliche Protokolle

■ PIM-Dense Mode (PIM-DM) [RFC3973]

- Für Gruppen mit hoher Dichte
- Basiert auf Fluten und Pruning

■ PIM-Sparse Mode (PIM-SM) [RFC4601]

- Für Gruppen mit niedriger Dichte
- Basiert auf Rendezvous-Stellen (bildet Wurzel des Multicastbaums)

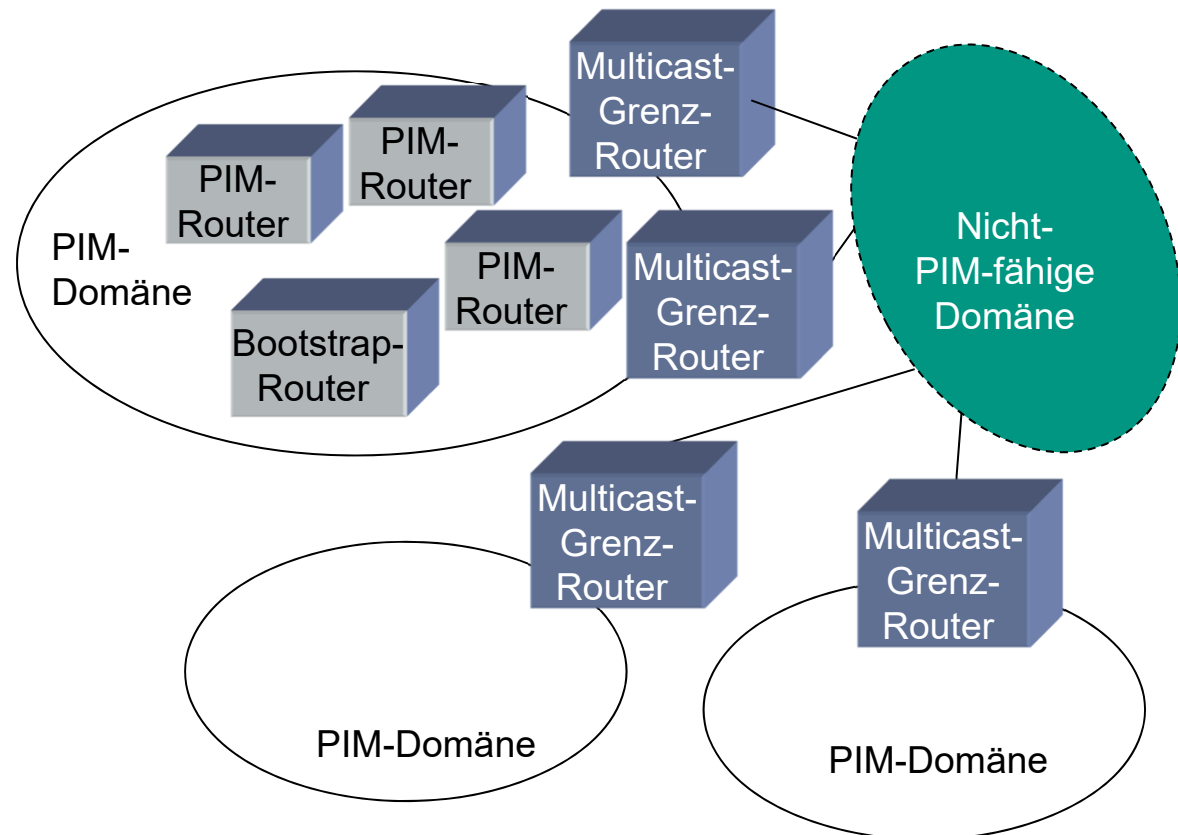
■ Bidirectional PIM (BIDIR-PIM) [RFC5015]

- Für Multipeer-Kommunikation am Besten geeignet
- Bidirektionaler Baum mit Rendezvous-Stellen-Link als Wurzel des Baums
- Sender befinden sich ebenfalls in diesem Baum: nur ein Baum für alle Sender einer Gruppe

PIM-Architektur

Aufbau

- PIM-fähige Domänen
 - Mit **Bootstrap-Router**, der Information über Rendezvous-Stellen verbreitet
- Nicht PIM-fähige Domänen
- Verbindung von Domänen über Multicast-Grenz-Router



PIM Sparse-Mode

■ Annahmen

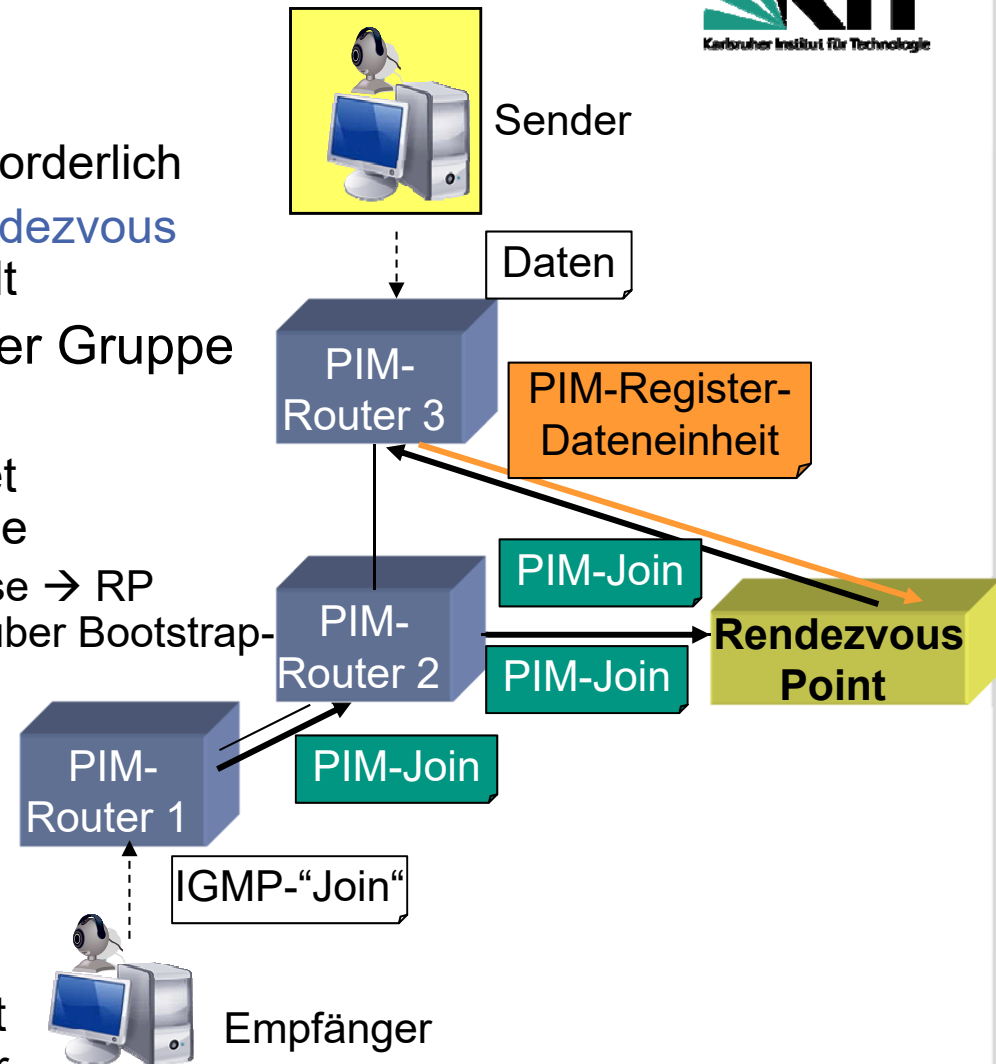
- Expliziter Gruppenbeitritt ist erforderlich
- Rendezvous-Stellen (oder **Rendezvous Point, RP**) werden bereitgestellt

■ Beitritt eines Empfängers zu einer Gruppe

- IGMP-Join im lokalen Subnetz
- Designated-Router (DR) sendet **PIM-Join** zur Rendezvous-Stelle
 - Abbildung MC-Gruppenadresse → RP (RP-set) vorkonfiguriert oder über Bootstrap-Nachrichten bekannt
 - PIM-Join installiert Zustand (*,G) in durchquerten Routern
 - periodisches Senden von PIM-Join

■ Sender wird aktiv

- Sender-DR kapselt Datenpaket in **PIM-Register**-Paket, wird per Unicast an Rendezvous-Stelle geschickt (**PIM-Register-Tunnel**)

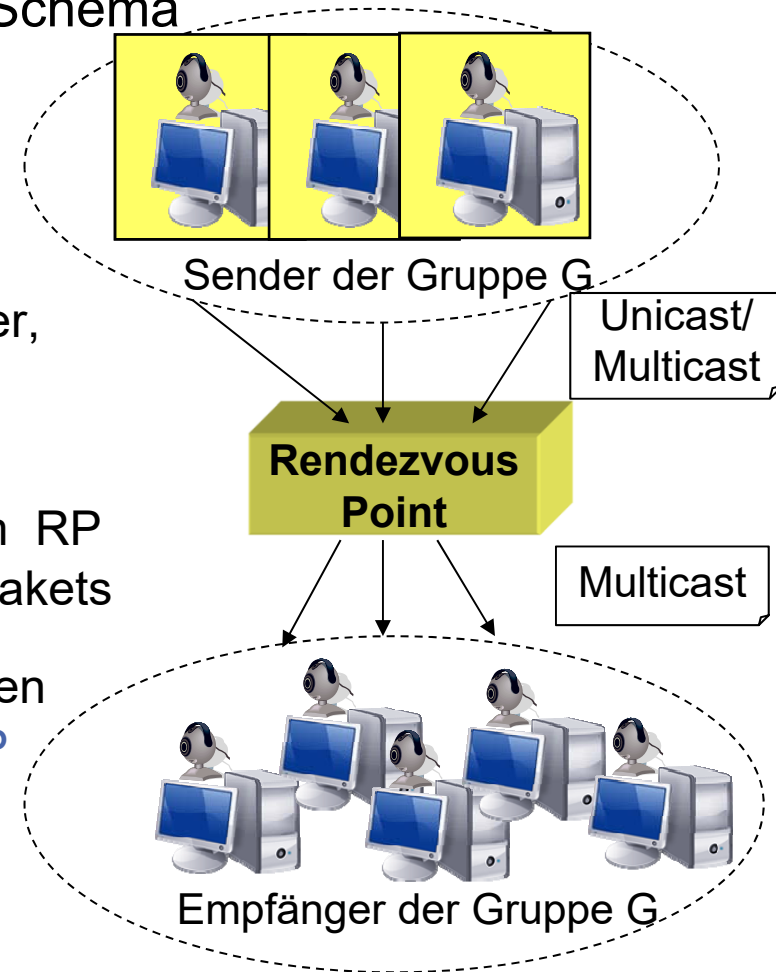


Prinzipieller Aufbau

■ Rendezvous-Stellen-Baum (RPT, Rendezvous Point Tree)

- Rendezvous-Stelle repräsentiert zentralen Knoten für die Empfänger
- Schema

- RP ist Wurzel des gemeinsamen Baums, der von allen Quellen einer Gruppe genutzt wird, zuerst per Unicast im **PIM Register Tunnel**
- RP schickt **(S,G)-Join** in Richtung Sender, um Daten ohne Tunnel zu bekommen
- Sender-DR startet nach Erhalt des Join **natives Multicast** vom Sender zum RP entlang Sender-spezifischem Baum zum RP
- Nach Erhalt des ersten ungetunnelten Pakets (natives Multicast), schickt der RP ein **Register-Stop**, um Einkapseln zu beenden
- **Shortest-Path-Tree von Quellen zum RP** kann Multicast-Verteilbaum vom RP zu den Empfängern schneiden: Daten fließen ohne Umweg über RP in Verteilbaum, Sender wird aus Verteilbaum genommen ((S,G,RPT)-Zustand)



Sender-spezifischer Baum (1)

- Spezifischer Baum für Sender
 - Source/sender-specific **Shortest Path Tree (SPT)**
 - Behebt Ineffizienz bei ungünstiger Lage der Rendezvous-Stelle
 - Entlastet Rendezvous-Stelle
 - Übergang vom gemeinsam genutzten Baum zum SPT wird durch DR des Empfängers initiiert
 - z.B. bei Überschreiten einer bestimmten gemittelten Daten- bzw. Paketrage
 - Kann an der Rendezvous-Stelle vorbei führen
- Nachteile
 - Zusätzlicher Zustand (einen je Sender, anstatt einen je Gruppe)
 - Kein Abbau des sender-spezifischen Baums definiert (prinzipiell aber möglich)

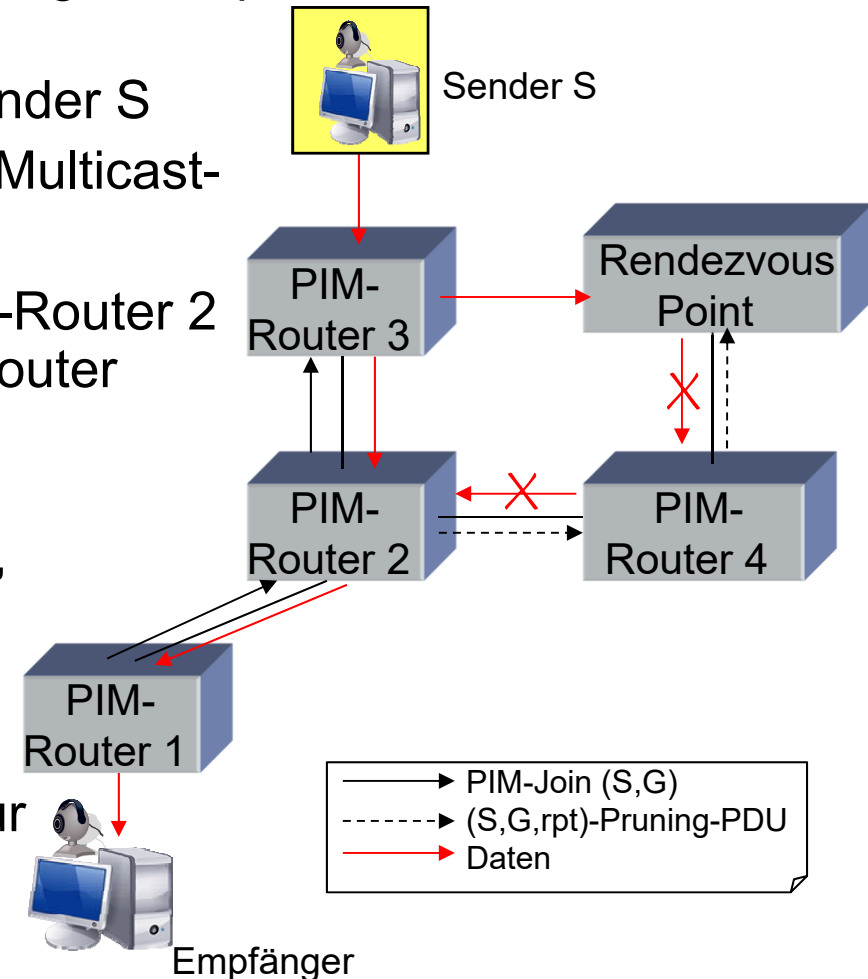
Sender-spezifischer Baum (2)

■ Beispiel

- PIM-Router 1 (DR) initiiert Übergang zum spezifischen Baum
- PIM-Router 1 sendet periodisch Join-Dateneinheit in Richtung Sender S
- PIM-Router 1, 2 und 3 erzeugen Multicast-Routingeintrag (S,G)
- Ist der Baum etabliert, erhält PIM-Router 2 Daten jetzt von einem anderen Router (PIM-Router 3) stromaufwärts
- PIM-Router 2 sendet daraufhin **(S,G,rpt)-Pruning** in Richtung RP, um die Daten nicht mehr doppelt zu erhalten

■ Soft-States

- Multicast-Routingeinträge sind nur für bestimmten Zeitraum gültig
- periodisches PIM-Join



Bootstrap-Router

■ Aufgabe

- Verbreitung von Informationen über Rendezvous-Stellen innerhalb einer Domäne (Abbildung Gruppenadresse → RP, als **RP-Set** bezeichnet)
- **Bootstrap Router (BSR)** Mechanismus für PIM  [RFC5059]

■ Ablauf

- Innerhalb einer Domäne werden einige Router als **Kandidaten für Bootstrap-Router** (C-BSR) und als **Kandidaten für Rendezvous-Stellen** (C-RP) konfiguriert
- Ein Kandidat wird als Bootstrap-Router ausgewählt
- Kandidaten für Rendezvous-Stellen melden sich bei Bootstrap-Router periodisch per Unicast an
 - Aus C-RP-Set wählt BSR die aktiven RPs aus (**RP-Set**)
- Bootstrap-Router versendet Bootstrap-Dateneinheiten mit RP-Set
 - Bekanntgabe der aktiven Rendezvousstellen innerhalb einer Domäne
- Router werten Bootstrap-Dateneinheiten aus, um eine passende Rendezvous-Stelle für eine Gruppe zu bestimmen

BIDIR-PIM [RFC5015]

- Variante von PIM-SM, die bidirektionale Verteilbäume unterstützt
- PIM-SM erzeugt gemeinsam genutzte unidirektionale Verteilbäume
- Verteilen von Daten über gemeinsamen Verteilbaum mit zwei Modi:
 - Einkapseln durch Sender DR, übertragen an RP, dort entkapseln
 - Natives Multicast von Sender zum RP, erfordert sender-spezifischen Zustand in Routern
- BIDIR-PIM bedeutet Vereinfachung, da Sender-spezifische Zustände nicht mehr erforderlich sind
- Designated Forwarder (DF) entlang eines jeden Links des Verteilbaums
- Wahl des DF erfolgt automatisch

PIM-Dense Mode [RFC3973]

- Nach langer Zeit als RFC 3973 (Experimental) neu verfasst, ursprüngliches Konzept bereits in S. Deerings Doktorarbeit von 1991
- Annahmen
 - Gruppenmitglieder befinden sich in fast allen Subnetzen („**dichte Empfänger**menge“)
- Mechanismus
 - **Fluten** (mit Reverse-Path-Forwarding Überprüfung) **und Pruning** (ähnlich wie DVMRP)
 - Keine Kenntnis über abhängige Router
 - Neue Zweige können mit Graft Messages installiert werden
 - Pruning-Zustand ist mit (S, G) assoziiert
 - Verwendung gleicher Paket-Formate wie bei PIM-SM
- Nachbarschaft
 - Periodische Hello-Nachrichten (wie bei PIM-SM, ident. Nachrichtenformat)
- Unterschied zu DVMRP
 - Unabhängig von Prozeduren, die Topologie herausfinden
 - Benutzung eines existierenden, beliebigen Unicast-Routingprotokolls (deswegen Protocol-Independent)

Multicast Inter-Domain Routing

- Eignung der zuvor vorgestellten Protokolle für Inter-Domain Multicast?
 - DVMRP und PIM-DM fluten periodisch (schlecht skalierbar)
 - MOSPF benötigt Kenntnis über die Lokation der Empfänger (schlecht skalierbar)
 - PIM-SM
 - erfordert Kenntnis über die Menge der Rendezvous-Stellen
 - erfordert global gesehen viele Rendezvous-Stellen zwecks Lastverteilung
 - Umgekehrter Unicast-Pfad für Multicast-Forwarding ist problematisch wenn nicht alle Router PIM-SM-fähig sind
 - Konnektivitätsverlust durch Ausfall einer Rendezvous-Stelle gefährdet Unabhängigkeit der ISPs

Multicast Inter-Domain Routing – BGMP

■ BGMP (Border Gateway Multicast Protocol)

- Inter-Domain Multicast Protokoll mit gewissen Ähnlichkeiten zu BGP
- Unterstützung
 - unidirektionale quellenbasierte Verteilbäume
 - unidirektionale geteilte Verteilbäume
 - bi-direktionale geteilte Verteilbäume
- Geteilte Bäume haben Wurzel in Autonomem System (AS): erfordert Zuordnung von Multicast-Adressen zu ASen (z.B. Multicast-Adressenprotokoll MASC)
- Zuordnung wird mittels MBGP (Multiprotocol Extensions for BGP-4) verteilt

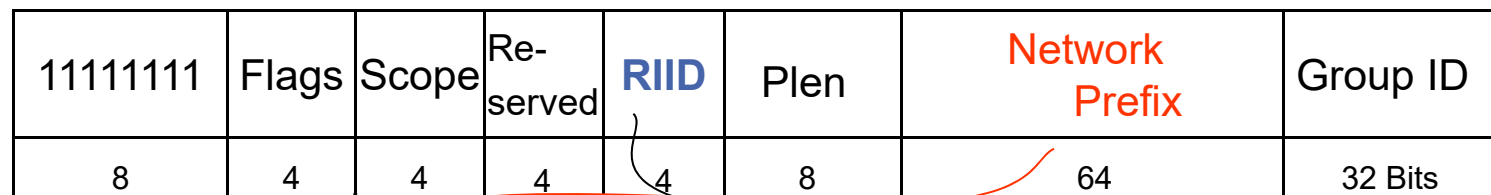
Multicast Inter-Domain-Routing – MSDP

■ Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)

- Übergangsstrategie, keine langfristige Lösung
- Domänen verwenden PIM-SM, haben vollständige Menge (d.h. für alle Multicast-Gruppen) von Rendezvous-Stellen
- MSDP ermöglicht lockere Vermaschung der Rendezvous-Stellen zwischen den Domänen
- Wird ein Sender in einer Domäne aktiv, werden alle über MSDP verbundenen Rendezvous-Stellen mit einer „Source-Active“-Nachricht benachrichtigt
- Benachbarte Rendezvous-Stellen schicken sender-spezifisches Join in Richtung des Senders
- Nachteil: jede Rendezvous-Stelle muss über Senderaktivitäten benachrichtigt werden, daher schlecht skalierbar
- Nur für IPv4 spezifiziert!

Embedded RP Address

- Problem: MSDP nicht für IPv6 definiert, wie können Sender zwischen Domänen (Inter-domain) gefunden werden?
- Einfache Lösung für IPv6: Einbetten der RP-Adresse in IPv6-Multicast-Adresse
- Embedded RP Address  [RFC3956]

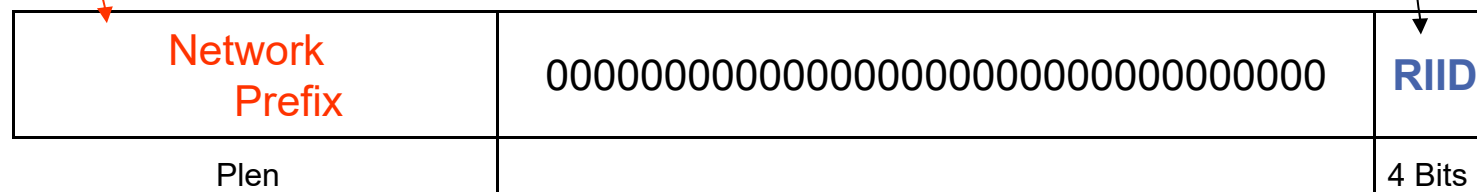


0	R	P	T
---	---	---	---

R=1: Multicast-Adresse enthält eingebettete RP-Adresse

RIID: RP Interface ID

- Aus Multicast-Adresse **abgeleitete RP-Unicast-Adresse:**



Anycast-RP – Motivation

■ Probleme mit PIM-SM:

- Nur ein aktiver RP pro Multicast-Gruppe (je Domäne) möglich, dadurch ggf. auch topologisch ineffiziente Szenarien vorhanden
- Rendezvous-Point stellt Single-Point-of-Failure dar, bei Ausfall langsame Konvergenz
- Lastverteilung (insbesondere für Entkapseln) zwischen Rendezvous-Points

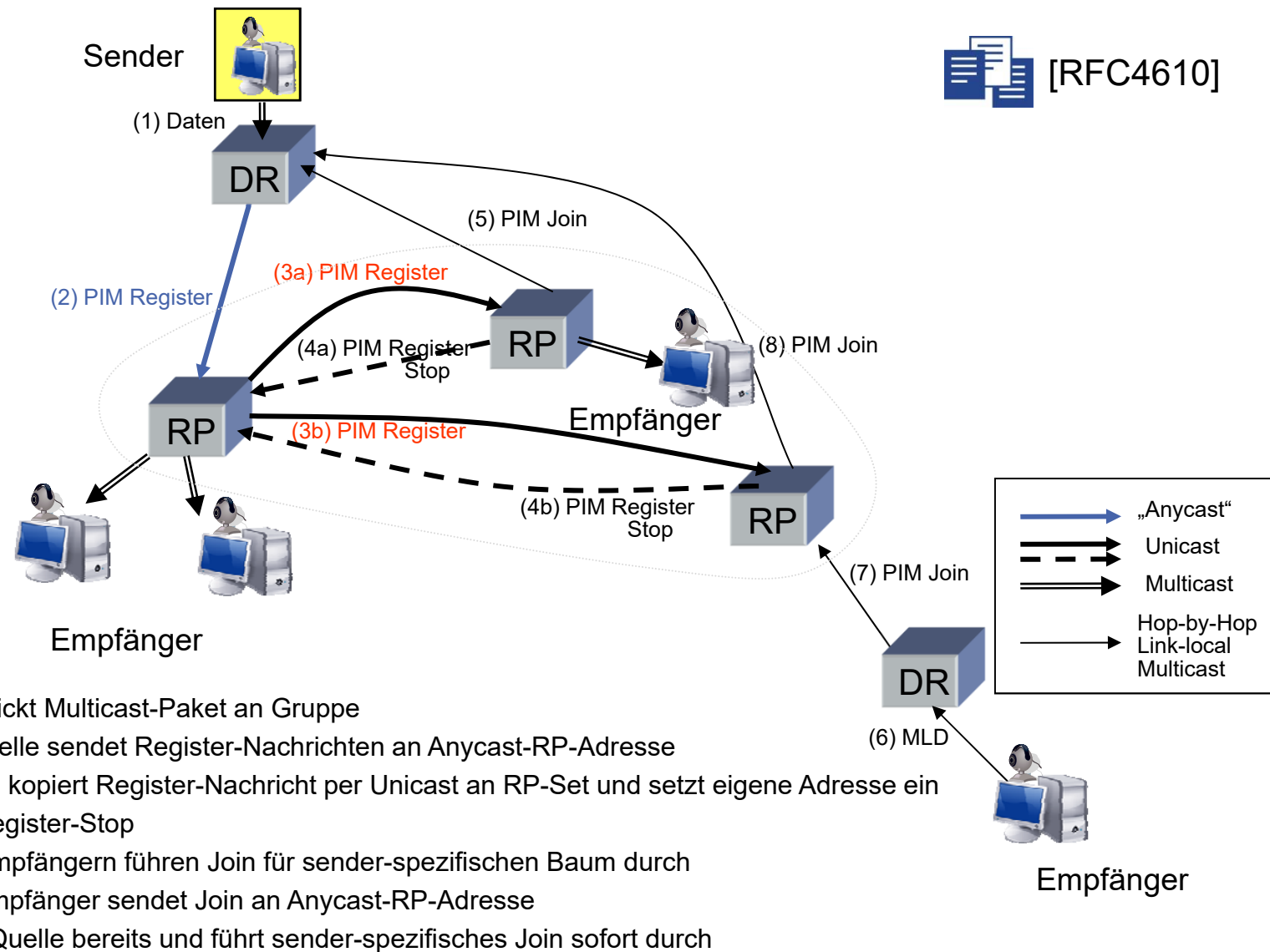
■ Lösung

- mehrere RPs einsetzen
- Menge von RPs als **Anycast-RP-Set**  [RFC4610]

Anycast RP – Funktionsweise



[RFC4610]



Probleme der Multicast-Protokolle

- Zustände pro Datenstrom
- Unterschiedliche Pfade für Unicast und Multicast
- Verlängerte-Konvergenzzeiten durch Nutzung von Unicast-Routing als Basis
- Keine Aggregationsmöglichkeiten ohne Effizienzverlust
- Komplexe Protokolle zum Aufbau des Verteilbaums

Neuer Ansatz: BIER

- Bit Indexed Explicit Replication (BIER) WG
- Router in einer BIER-Domäne (Bit Forwarding Router) erhalten BFR-ID  [WRDP+17]
- Multicast-Pakete werden mit BIER Header versehen
- BIER Header enthält BitString, der die BFER (Bit Forwarding Egress Router) bezeichnet, an die das Paket repliziert werden soll

Übungen

- 6.1 Welche Aufgabe haben Designated-Router?
- 6.2 Können mit IGMP bekannte Gruppen auf der Sicherungsschicht realisiert werden? Begründung.
- 6.3 Welchen Vorteil bringt die Pruning-Technik mit sich?
- 6.4 Welche Probleme bringen Rendezvous-Stellen mit sich?
- 6.5 Inwiefern ist PIM Protokoll-unabhängig?
- 6.6 Nennen Sie die Hauptunterschiede von PIM sparse mode und PIM dense mode.
- 6.7 Zu welchem Zweck können Anycast-Adressen eingesetzt werden?

Referenzen und weiterführende Literatur

- [BCHC02] I. Brown, J. Crowcroft, M. Handley, B. Cain, Internet Multicast Tomorrow, Internet Protocol Journal, Dezember 2002, http://www.cisco.com/warp/public/759/ipj_5-4/ipj_5-4_internet_multicast.html
- [RFC 1112] S.E. Deering. Host extensions for IP multicasting. RFC 1112 (Standard), August 1989. Updated by RFC 2236. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1112.txt>
- [RFC 2189] A. Ballardie. Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Protocol Specification. RFC 2189 (Experimental), September 1997. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2189.txt>
- [RFC 2201] A. Ballardie. Core Based Trees (CBT) Multicast Routing Architecture. RFC 2201 (Experimental), September 1997. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2201.txt>
- [RFC 2236] W. Fenner. Internet Group Management Protocol, Version 2. RFC 2236 (Proposed Standard), November 1997. Obsoleted by RFC 3376. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2236.txt>
- [RFC 2365] D. Meyer. Administratively Scoped IP Multicast. RFC 2365 (Best Current Practice), Juli 1998. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2365.txt>

Referenzen (2)

- [RFC 2730] S. Hanna, B. Patel und M. Shah. Multicast Address Dynamic Client Allocation Protocol (MADCAP). RFC 2730 (Proposed Standard), Dezember 1999. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2730.txt>
- [RFC 2908] D. Thaler, M. Handley und D. Estrin. The Internet Multicast Address Allocation Architecture. RFC 2908 (Informational), September 2000. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2908.txt>
- [RFC 2909] P. Radoslavov, D. Estrin, R. Govindan, M. Handley, S. Kumar und D. Thaler. The Multicast Address-Set Claim (MASC) Protocol. RFC 2909 (Experimental), September 2000. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2909.txt>
- [RFC 3306] B. Haberman und D. Thaler. Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Addresses. RFC 3306 (Proposed Standard), August 2002. Updated by RFCs 3956, 4489. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3306.txt>
- [RFC 3376] B. Cain, S. Deering, I. Kouvelas, B. Fenner und A. Thyagarajan. Internet Group Management Protocol, Version 3. RFC 3376 (Proposed Standard), Oktober 2002. Updated by RFC 4604. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3376.txt>

Referenzen (3)

- [RFC 3446] D. Kim, D. Meyer, H. Kilmer und D. Farinacci. Anycast Rendezvous Point (RP) mechanism using Protocol Independent Multicast (PIM) and Multicast Source Discovery Protocol (MSDP). RFC 3446 (Informational), Januar 2003. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3446.txt>
- [RFC 3956] P. Savola und B. Haberman. Embedding the Rendezvous Point (RP) Address in an IPv6 Multicast Address. RFC 3956 (Proposed Standard), November 2004. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3956.txt>
- [RFC 3973] A. Adams, J. Nicholas und W. Siadak. Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification (Revised). RFC 3973 (Experimental), Januar 2005. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3973.txt>
- [RFC 4291] R. Hinden und S. Deering. IP Version 6 Addressing Architecture. RFC 4291 (Draft Standard), Februar 2006. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4291.txt>
- [RFC 4601] B. Fenner, M. Handley, H. Holbrook und I. Kouvelas. Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised). RFC 4601 (Proposed Standard), August 2006. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4601.txt>

Referenzen (4)

- [RFC 4610] D. Farinacci und Y. Cai. Anycast-RP Using Protocol Independent Multicast (PIM). RFC 4610 (Proposed Standard), August 2006. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc4610.txt>
- [RFC 5015] M. Handley, I. Kouvelas, T. Speakman und L. Vicisano. Bidirectional Protocol Independent Multicast (BIDIR-PIM). RFC 5015 (Proposed Standard), Oktober 2007. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5015.txt>
- [RFC 5059] N. Bhaskar, A. Gall, J. Lingard und S. Venaas. Bootstrap Router (BSR) Mechanism for Protocol Independent Multicast (PIM). RFC 5059 (Proposed Standard), Januar 2008. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc5059.txt>
- [WRDP+17] IJ Wijnand, E. Rosen, A. Dolganow, T. Przygienda, S. Aldrin. Multicast using Bit Index Explicit Replication. Internet-Draft draft-ietf-bier-architecture-07, Juni 2017, <https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-bier-architecture>

Referenzen (5)

- [WiZi99] R. Wittmann, M. Zitterbart, Multicast: Protokolle und Anwendungen, dpunkt.Verlag, 1999, ISBN: 3-920993-40-3
- [WiZi00] R. Wittmann, M. Zitterbart, Multicast Communication: Protocols and Applications, Morgan Kaufman Publisher, 2000, ISBN: 1-55860-645-9