

Übersicht – Übung 5

Wiederholung / Hausaufgabe Count-to-Infinity

Interior-Gateway-Routing:

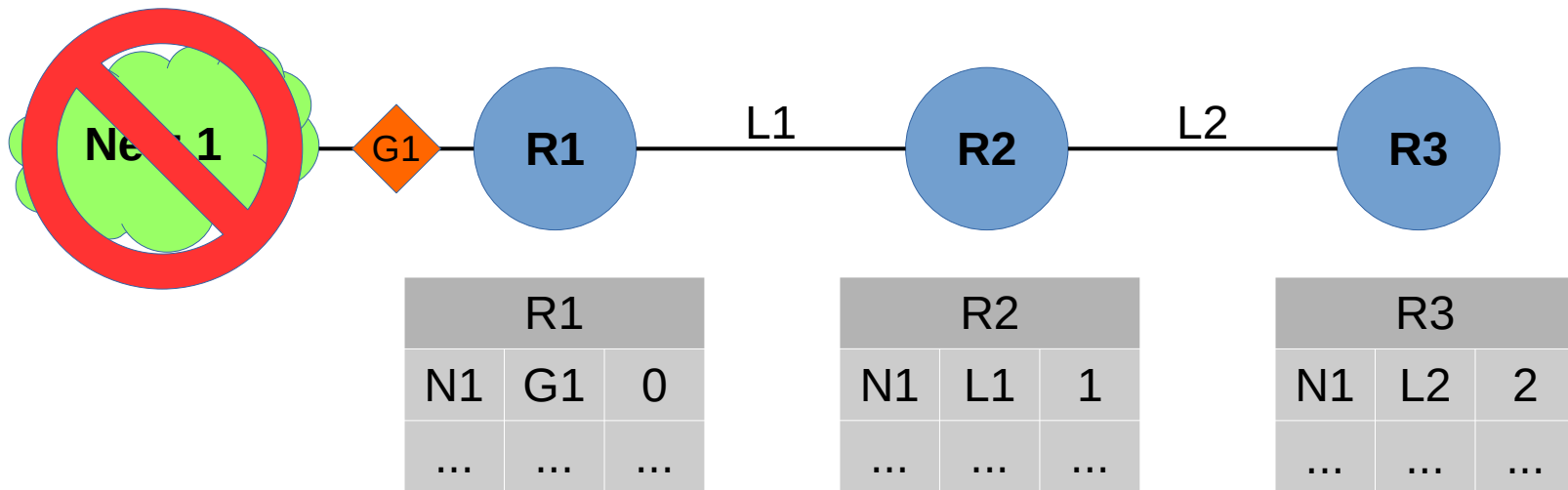
→ Link-State-Verfahren (OSPF)

Exterior-Gateway-Routing:

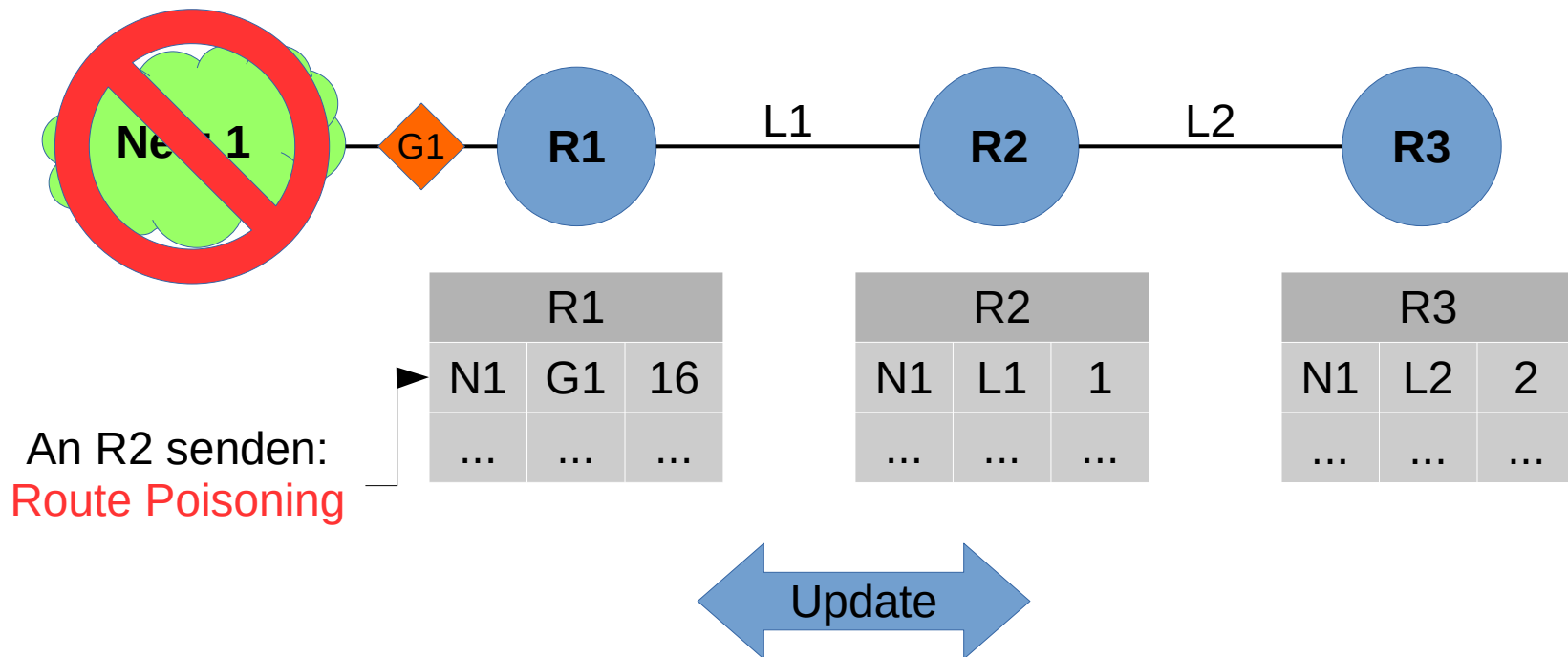
→ Pfadvektorverfahren (BGP)

Zusammenfassung Routing

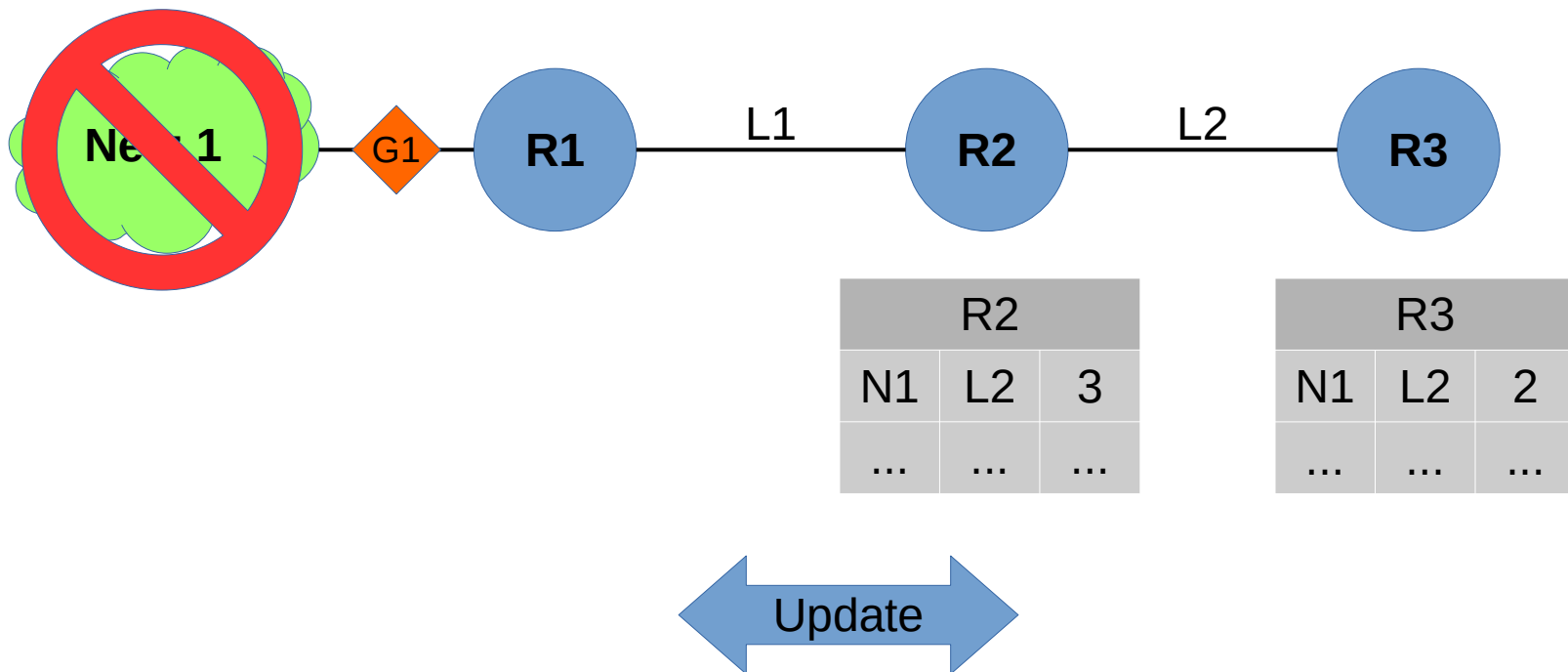
Count-to-Infinity



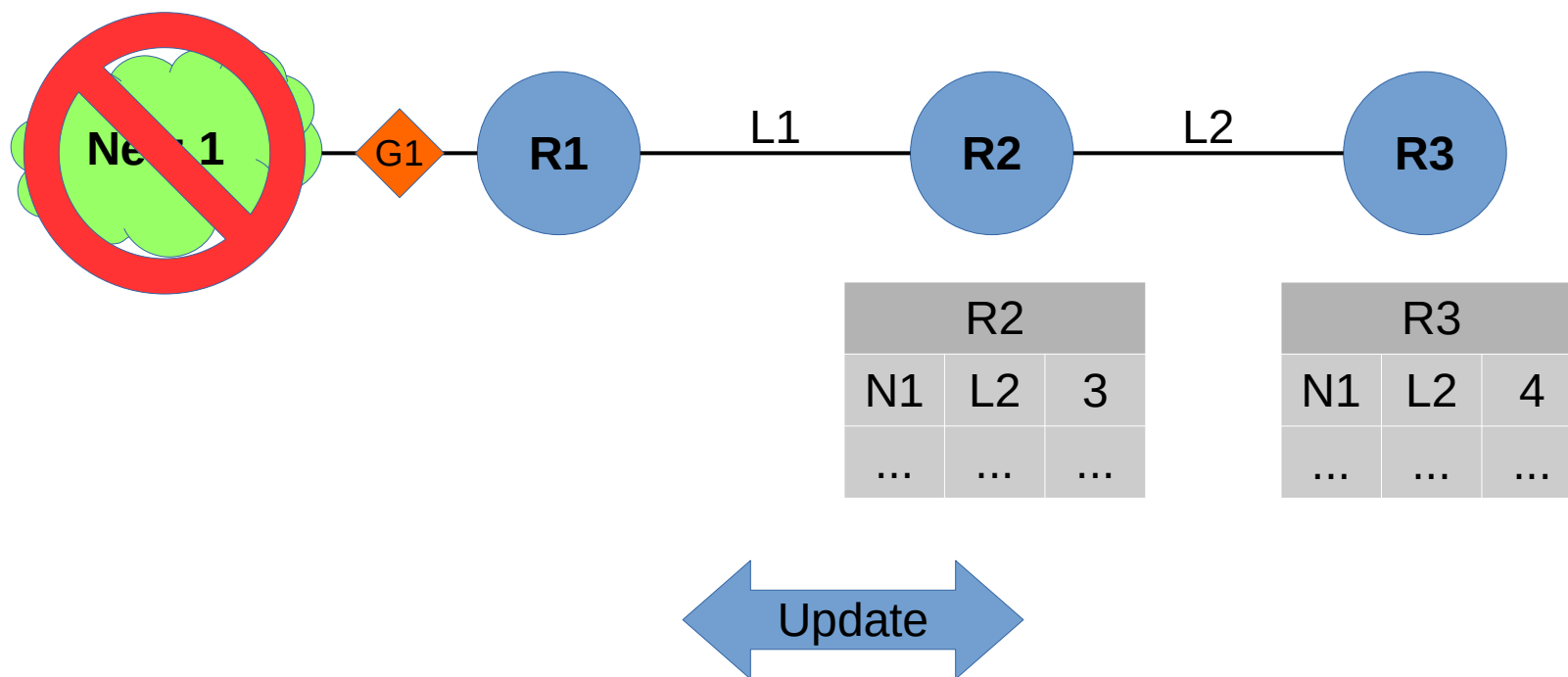
Count-to-Infinity



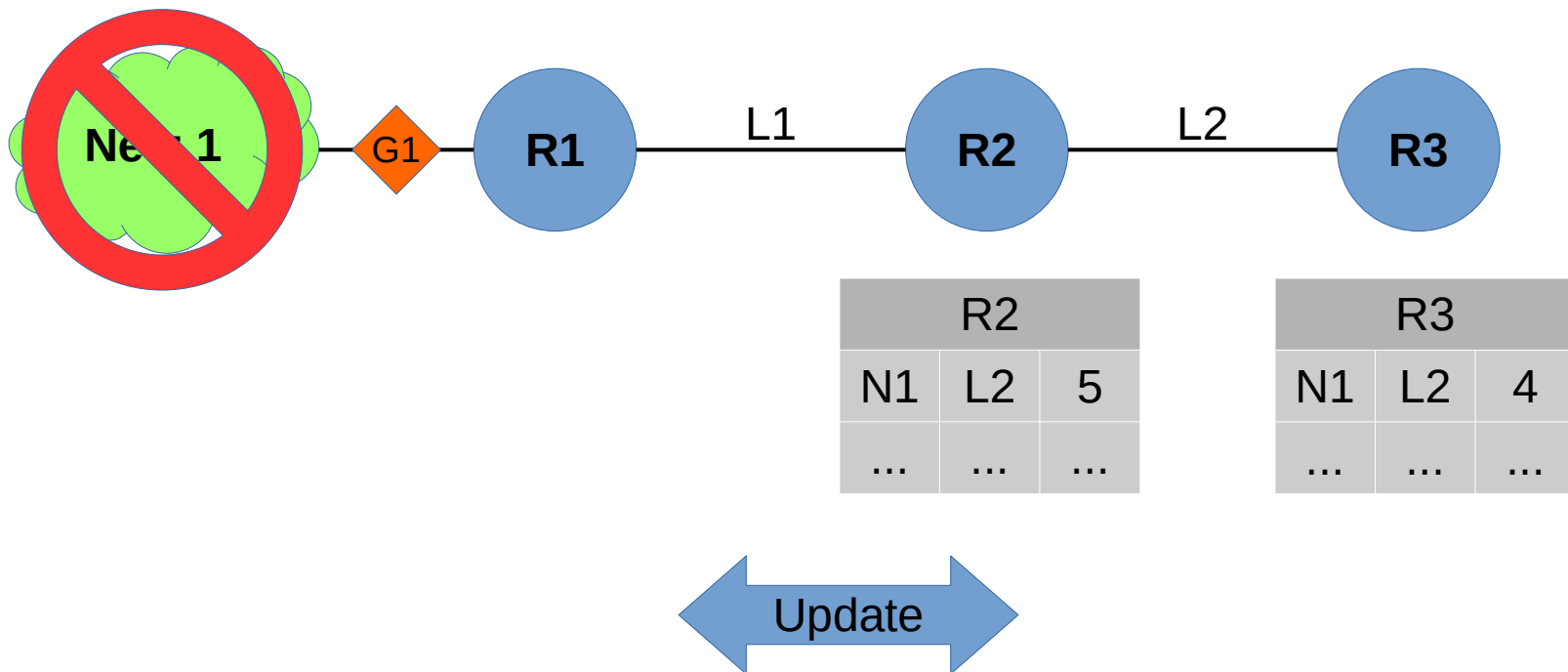
Count-to-Infinity



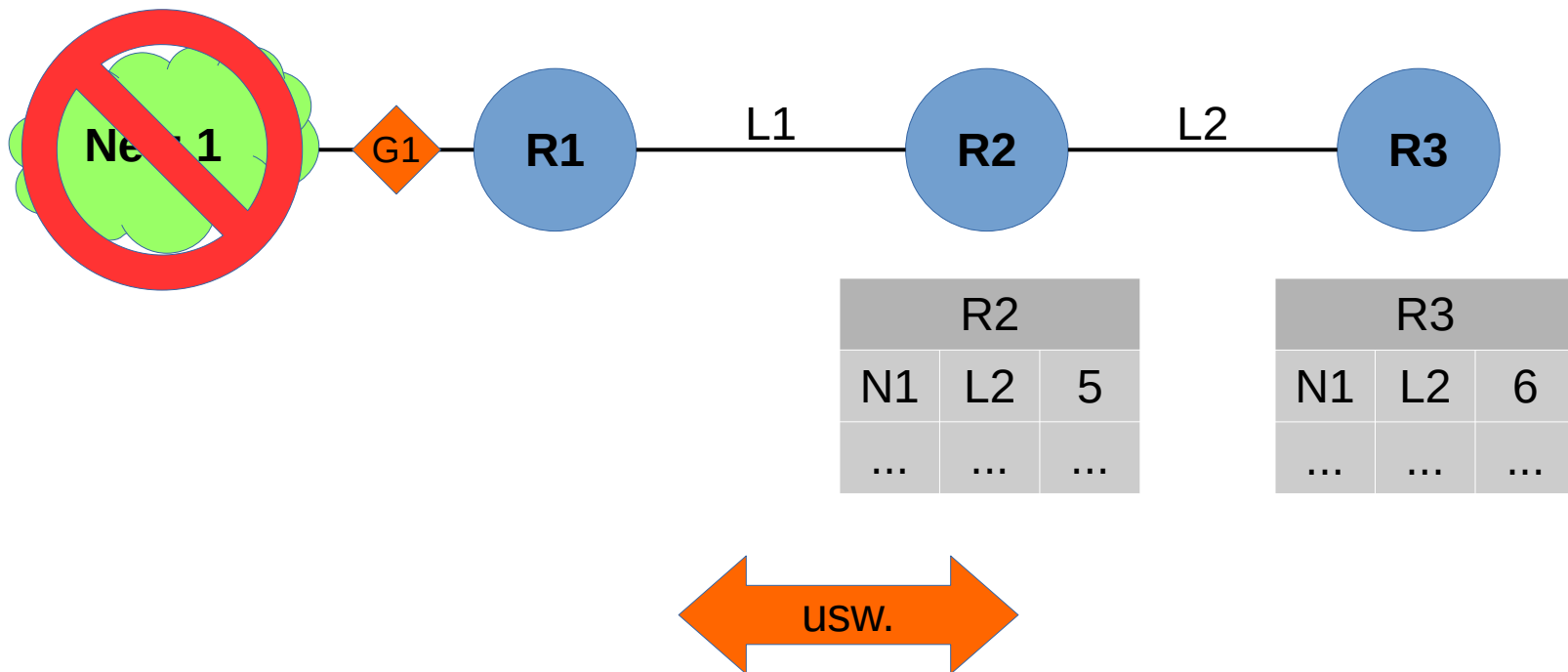
Count-to-Infinity



Count-to-Infinity



Count-to-Infinity



Count-to-Infinity

- **Fazit:** Count-to-Infinity resultiert aus Routing-Schleifen. Router sollten keine Pfade in ihre Tabellen aufnehmen, die über sie selber führen!
- Gegenmaßnahmen:

- *Route Poisoning:* Sobald eine Route ausfällt, wird sie sofort mit Hop-Count 16 im ganzen Netz propagiert.
- *Split Horizon:* Information über Routen werden nie an den ersten Hop der Route übermittelt.

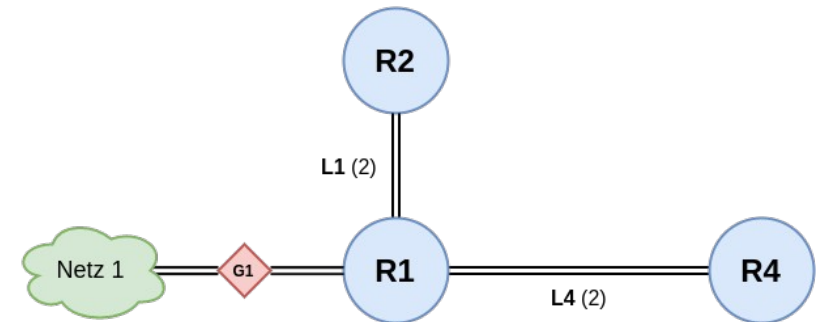
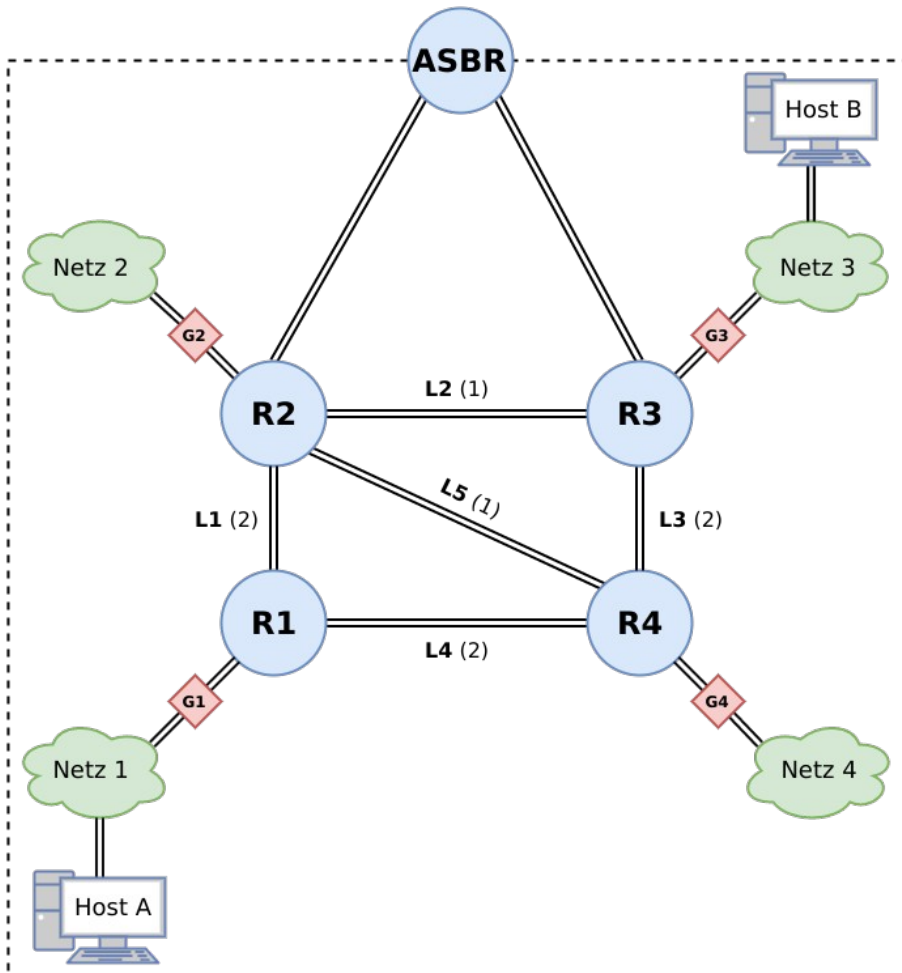
Hier: R_3 sendet die Info „ R_1 ist mit Kosten von 2 über mich erreichbar“ nie an R_2 .

- ... mit *Poison(ed) Reverse*: Sobald R_3 die Route zu Netz 1 über seinen Nachbarn R_2 lernt, bricht er die Split-Horizon-Regel und übermittelt diese Route mit Hop-Count 16 zurück an R_2 . So sendet R_2 niemals Pakete an Netz 1 über R_3 .
- *Triggered Updates*: Änderungen generell sofort weitergeben, nicht bis zum nächsten Update (bis zu 30 Sekunden) warten

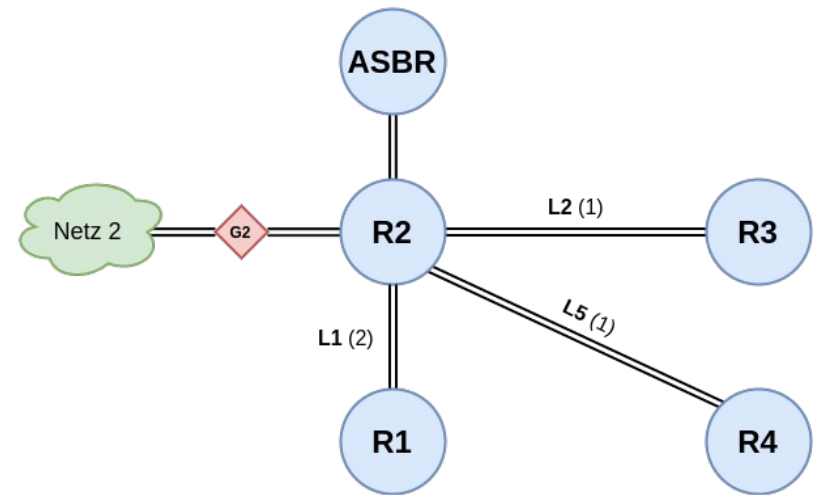
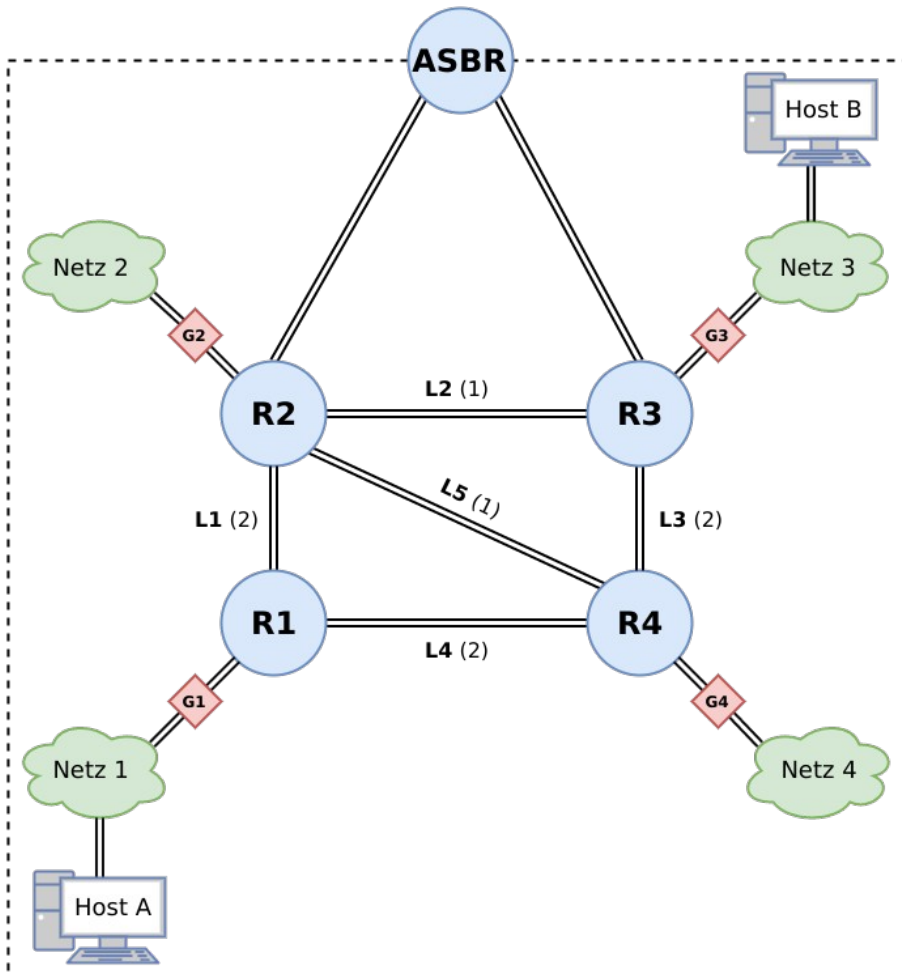
Interior-Gateway-Routing

- *Wie funktionieren Link-State-Verfahren im Allgemeinen? Auf welchem graphentheoretischen Algorithmus basieren sie?*
 - **Distanzvektorverfahren:** Jeder Knoten verfügt nur über eine lokale Sicht auf die Topologie. Er gibt sie in jedem Zeitschritt an seine Nachbarn weiter.
→ *Bellman-Ford-Algorithmus*
 - **Link-State-Verfahren:** Jeder Knoten kennt die gesamte Netzwerktopologie. Über Flooding-Verfahren werden die lokalen Topologieinformationen im gesamten Netzwerk verteilt. Anschließend erfolgt die Rekonstruktion des Graphen separat in jedem Knoten.
→ *Dijkstra-Algorithmus*

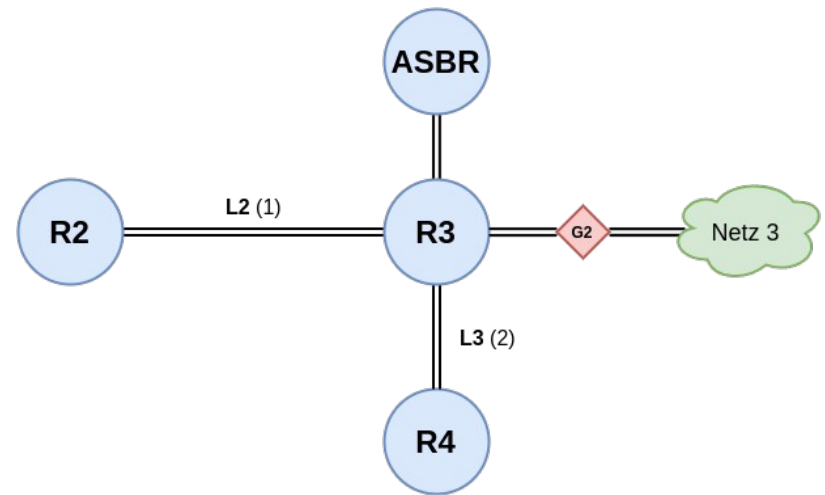
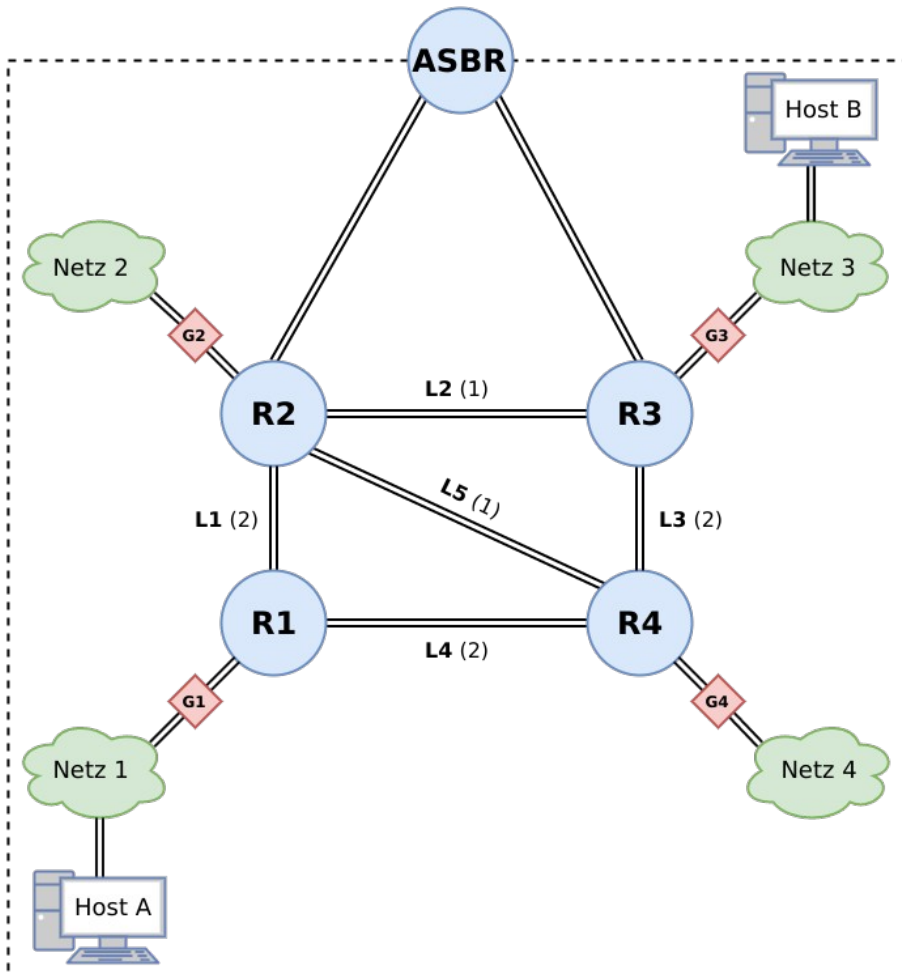
Interior-Gateway-Routing



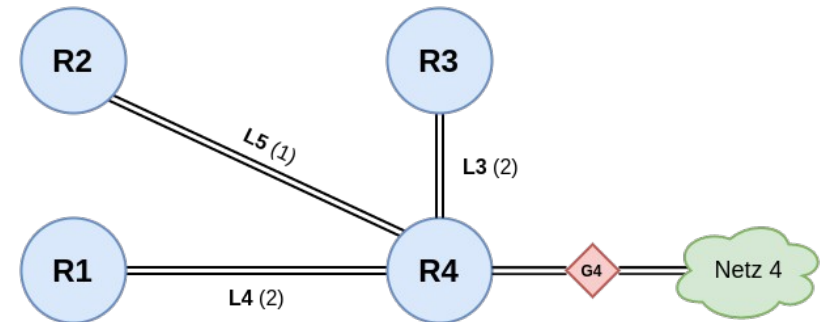
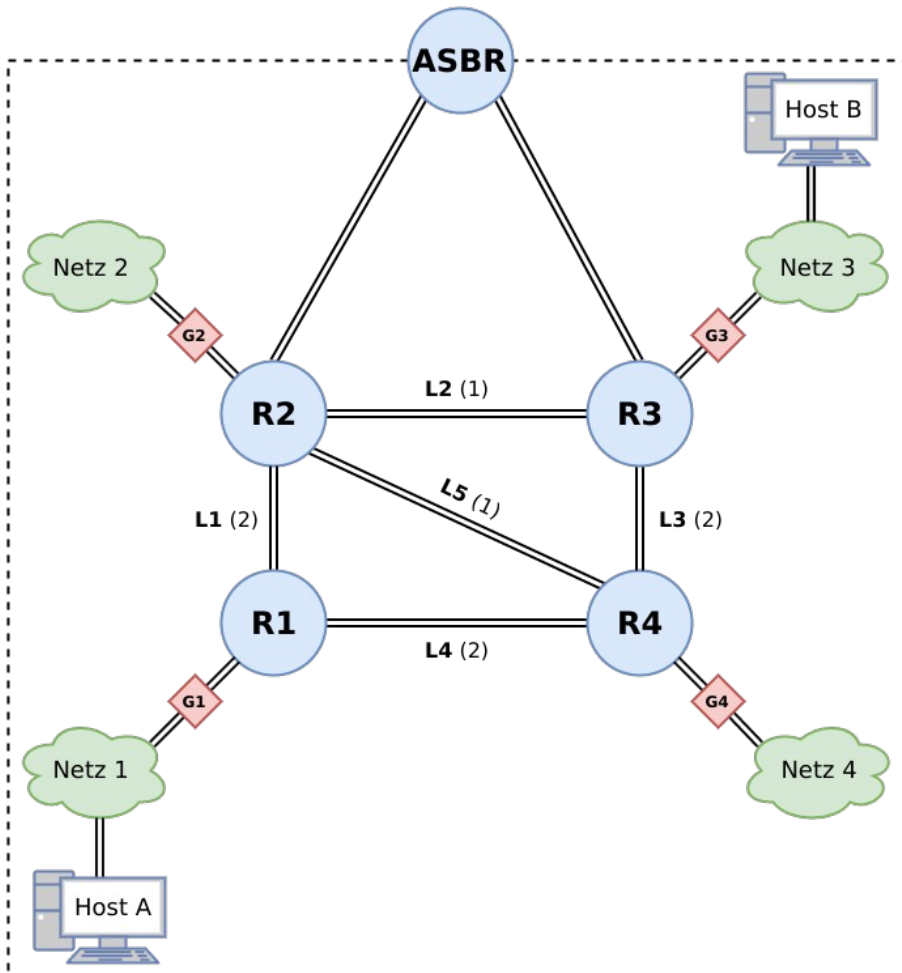
Interior-Gateway-Routing



Interior-Gateway-Routing



Interior-Gateway-Routing



Interior-Gateway-Routing

- *Erläutern Sie die Funktionsweise von Open Shortest Path First (OSPF).*
 - Offener Standard für Interior-Gateway-Routing in autonomen Systemen
 - IETF-Spezifikation: RFC 2328
 - Zerlegung eines AS in *Areas*, darunter ein zentrales *Backbone-Area* (nicht zu verwechseln mit dem „globalen“ Backbone, das die AS untereinander verbindet)
 - In großen Backbone-Areas: Wahl eines *Designated Routers*, über den die Topologie-Informationen ausgetauscht werden
 - → n:1-Kommunikation (statt n:n beim Flooding)
 - Backup bereit halten und Rolle neu vergeben, falls der DR crashen sollte

Interior-Gateway-Routing

- Kommunikation direkt über IP
 - Implementierung von Mechanismen der Transportschicht notwendig (Sequenznummern, ACKs, FCS, ...)
- Freie Festlegung der Metriken möglich
- Gerichtete Kanten möglich
- *Vollziehen Sie den Aufbau der Routing-Tabelle für R_1 sowie die Übermittlung eines Pakets von Host A zu Host B nach.*
 - Verbreitung der Link-State-Informationen per Flooding bereits abgeschlossen → Dijkstra-Algorithmus für R_1 ablaufen lassen

Interior-Gateway-Routing

Bae: Come over

Dijkstra: But there are so many routes to take and
I don't know which one's the fastest

Bae: My parents aren't home

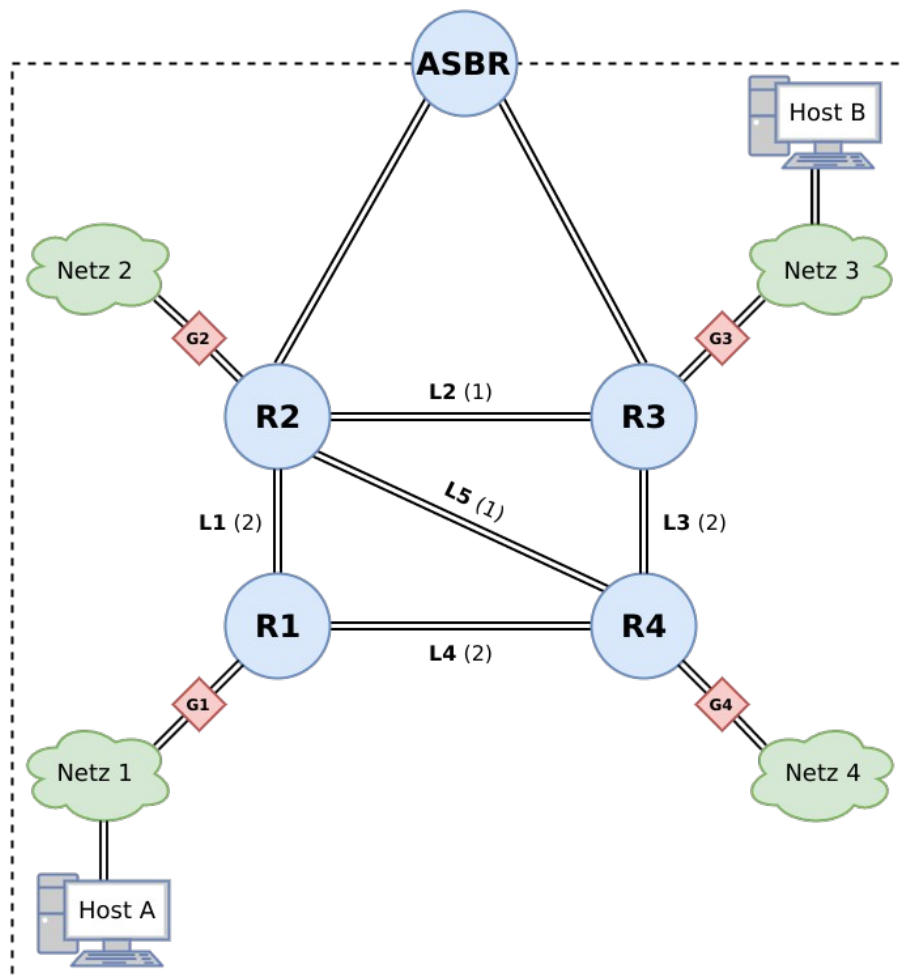
Dijkstra:

Dijkstra's algorithm

⌕ ☆ ✎

- Jeder Knoten lässt den *Dijkstra-Algorithmus* von sich ausgehend ablaufen.
 - Startknoten S
 - Zu Beginn: Alle Distanzen auf ∞ , alle Vorgänger auf **null**, Distanz für S auf 0 , alle Knoten inkl. S der Menge Q hinzufügen
 - Während Q nicht leer ist:
 - Knoten c mit minimaler Distanz aus Q entfernen
 - Für alle Nachbarn von c in Q : Distanz d über c berechnen.
Bei Verbesserung: d als Distanz und c als Vorgänger übernehmen
- Komplexität: $O(|V|^2)$; mit Fibonacci-Heap: $O(|E| + |V| \log |V|)$

Interior-Gateway-Routing



Interior-Gateway-Routing

- Initialisierung:
 - $d(R_1) = 0$
 - $d(R_2) = d(R_3) = d(R_4) = \infty$
 - $\text{pre}(R_1) = \text{pre}(R_2) = \text{pre}(R_3) = \text{pre}(R_4) = \text{null}$
 - $Q = \{ R_1, R_2, R_3, R_4 \}$
- Wähle R_1 :
 - $Q = \{ R_2, R_3, R_4 \}$
 - $d(R_2) = 0 + 2 = 2 \rightarrow \text{besser: } d(R_2) = 2, \text{pre}(R_2) = R_1$
 - $d(R_4) = 0 + 2 = 2 \rightarrow \text{besser: } d(R_4) = 2, \text{pre}(R_4) = R_1$

Interior-Gateway-Routing

- Wähle R_2 :
 - $Q = \{ R_3, R_4 \}$
 - $d(R_3) = 2 + 1 = 3 \rightarrow$ besser: $d(R_3) = 3$, $\text{pre}(R_3) = R_2$
 - $d(R_4) = 2 + 1 = 3 \rightarrow$ schlechter
- Wähle R_4 :
 - $Q = \{ R_3 \}$
 - $d(R_3) = 2 + 2 = 4 \rightarrow$ schlechter
- Wähle R_3 :
 - $Q = \{ \}$

Interior-Gateway-Routing

- Rekursive Rückverfolgung der Vorgänger jedes Knotens liefert die kürzesten Wege.
- *Wie unterscheiden sich Hop-by-Hop- und Source-Routing?*
 - *Hop-by-Hop*: Optimalitätsprinzip nach Bellman nutzen (siehe letzte Übung): Weiterleitung an den ersten Knoten der Route genügt → Paket folgt automatisch dem kürzesten Weg (oder einem gleichwertig kurzen)
 - *Source-Routing*: Gesamte Route in den IP-Header eintragen (Options) → Spart Look-up-Zeit in den Zwischenstationen
- *Wie trägt OSPF zur Lastverteilung im Netzwerk bei?*

Exterior-Gateway-Routing

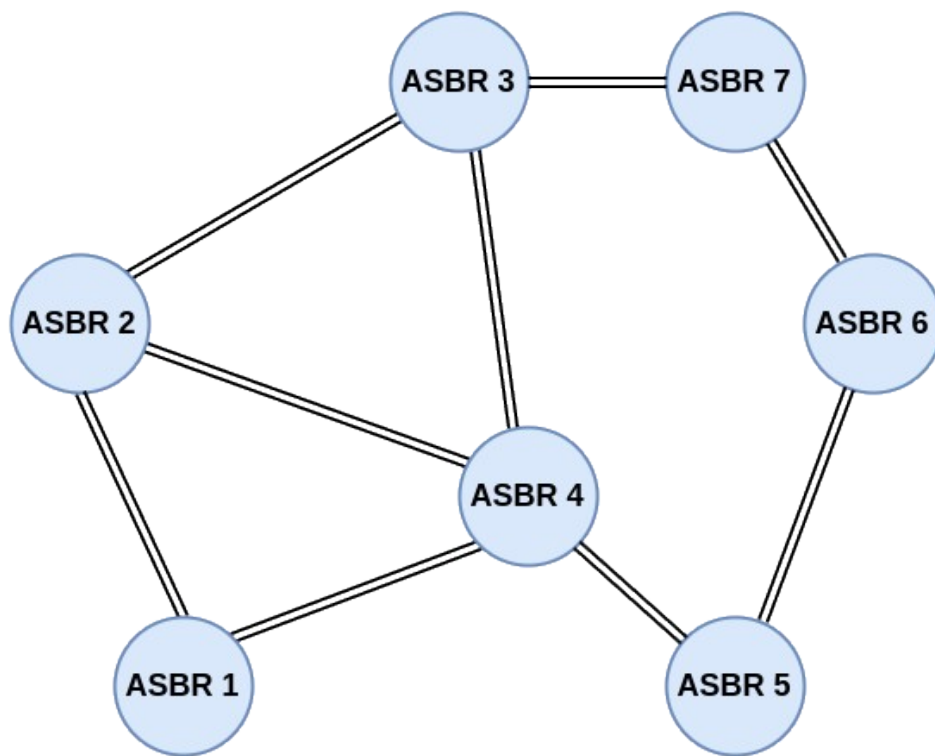
- Routing zwischen autonomen Systemen / ASBRs im Internet-Backbone
- *Wie unterscheiden sich Pfadvektorprotokolle von Distanzvektorprotokollen wie dem RIP?*
- Hybridverfahren: Weiterleitung der Topologie an Nachbarn, aber: **vollständige Pfade** werden übermittelt
 - Vorteile der Distanzvektorprotokolle, zusätzlich vollständiger Ausschluss von Routingschleifen und ihren Folgen (Count-to-Infinity etc.)
 - Meist schlechtere Konvergenzzeiten als Link-State-Protokolle

Exterior-Gateway-Routing

- *Erläutern Sie die Grundkonzepte des Border Gateway Protocols (BGP).*
- IETF-Spezifikation: RFC 4271
- TCP-Verbindung auf Port 179 zwischen den ASBRs
 - Zuverlässiger Transport
 - Im OSI-Modell am ehesten auf Schicht 5 anzusiedeln
- Wichtigste Metrik: Anzahl der durchlaufenen AS; kann in der Realität vom Hop-Count abweichen
- Weitere strategische Regeln / Metriken sehr detailliert konfigurierbar (finanzielle und politische Aspekte beachten!)

Exterior-Gateway-Routing

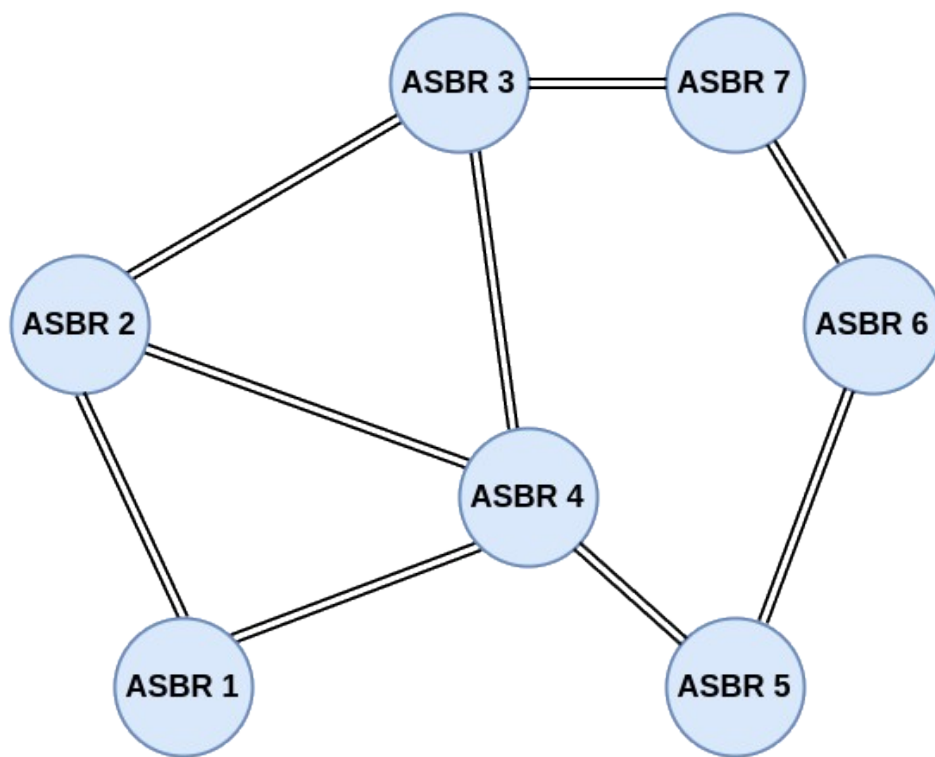
- $ASBR_7$ initiiert die Übertragung von Pfadvektornachrichten. Notieren Sie alle schleifenfreien Pfade zu $ASBR_7$, die von $ASBR_1$ empfangen werden.



Exterior-Gateway-Routing

- *ASBR₇ initiiert die Übertragung von Pfadvektornachrichten. Notieren Sie alle schleifenfreien Pfade zu ASBR₇, die von ASBR₁ empfangen werden.*

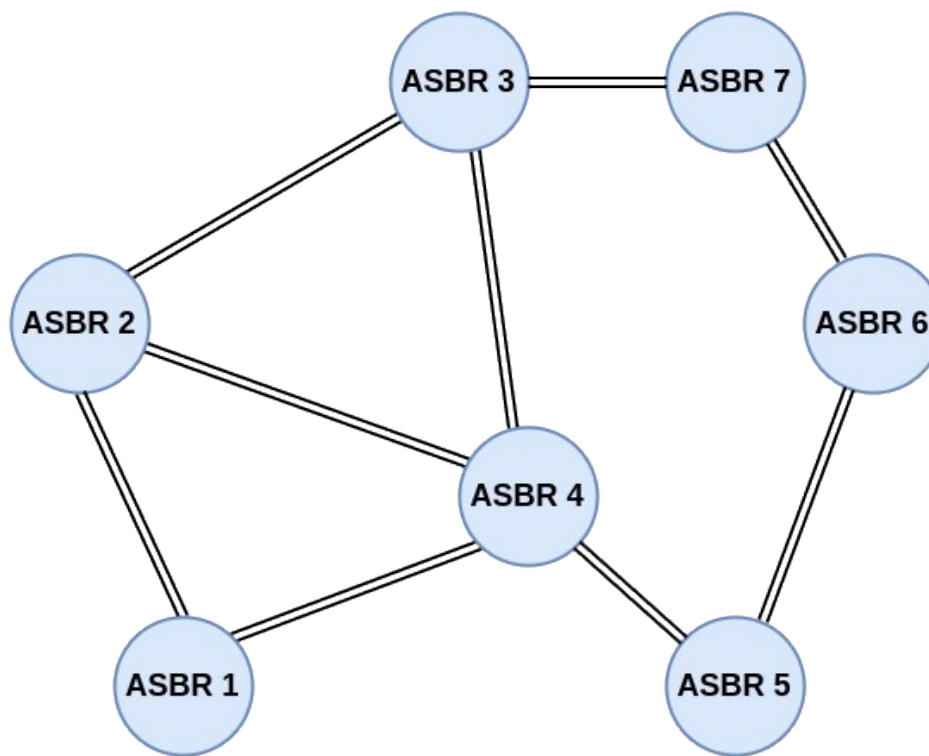
- 1-2-3-7
- 1-2-3-4-5-6-7
- 1-2-4-3-7
- 1-2-4-5-6-7
- 1-4-2-3-7
- 1-4-3-7
- 1-4-5-6-7



Exterior-Gateway-Routing

- *Wie verfährt ASBR₁ mit dem Ergebnis?*

- 1-2-3-7
- 1-2-3-4-5-6-7
- 1-2-4-3-7
- 1-2-4-5-6-7
- 1-4-2-3-7
- 1-4-3-7
- 1-4-5-6-7



Zusammenfassung

- *Betrachten Sie die Stationen des Pfades eines Pakets durch das Internet (u. a. AS, Backbone, lokales Netz, ...). Auf welchen Teilstrecken kommen welche Routingprotokolle zum Einsatz?*