
Routing Protokolle am Beispiel OSPF

Netzwerkgrundlagen (NWG2)

Markus Zeilinger¹

¹FH Oberösterreich
Department Sichere Informationssysteme

Sommersemester 2023



UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA

*Alle Materialien, die im Rahmen dieser LVA durch den LVA-Leiter zur Verfügung gestellt werden, wie zum Beispiel Foliensätze, Audio-Aufnahmen, Übungszettel, Musterlösungen, ... dürfen ohne explizite Genehmigung durch den LVA-Leiter **NICHT** weitergegeben werden!*

Routing Algorithmen und Routing Protokolle

Distance Vector Routing

Link State Routing

Open Shortest Path First (OSPF)

Routing Protokolle

Überblick

Protokoll ¹	Classful	Classless	IGP ²	EGP ²	DVP ³	LSRP ³	PVP ³	AD ⁴	Metrik
RIPv1	X		X		X			120	Hop Count
RIPv2		X							
RIPng									
OSPF		X	X			X		110	Costs (basierend auf Datenraten)
IGRP	X		X		X			100	Bandwith, Delay, Load, MTU
EIGRP		X			Hybrid			90	
IS-IS		X	X			X		115	Costs (basierend auf Datenraten)
(i)BGP		X	X				X	200	Länge AS-Pfad, ...
(e)BGP				X				20	
C								0	(Directly) Connected Network
S								1	Static Route

¹ Routing Information Protocol (RIP), Open Shortest Path First (OSPF), (Enhanced) Interior Gateway Routing Protocol ([E]IGRP), Border Gateway Protocol (BGP)

² Interior Gateway Protocol (IGP) oder Exterior Gateway Protocol (EGP)

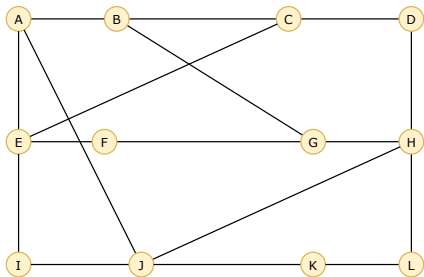
³ Distance Vector Protocol (DVP), Link State Routing Protocol (LSRP) oder Path Vector Protocol (PVP)

⁴ Administrative Distance (AD): Kleinerer Wert bedeutet höhere Priorität.

- ▶ Jeder Router im Netzwerk hält einen "Vektor" mit Informationen über die **aus seiner Sicht beste Erreichbarkeit aller anderen Router im Netzwerk** (<Router>, <Distanz>, <NextHop>).
- ▶ Der "Vektor" wird durch **periodische Updates** mit den Nachbarn (Adjacencies, Neighbors) des Routers aktualisiert.
- ▶ Bekannte Routing Protokolle: RIPv1 (RFC 1058), RIPv2 (RFC 2453), RIPv6 (RFC 2080), IGRP (Cisco)
- ▶ Probleme
 - ▶ **Langsame Konvergenz** (= Zeit bis alle Router im Netzwerk stabile, beste Routen haben).
 - ▶ **Count-to-Infinity-Problem** (= Distance Vector Routing reagiert gut/rasch auf "gute", schlecht/langsam auf "schlechte" Nachrichten).
- ▶ Sonderfälle: BGP (Path Vector Protocol), EIGRP (eher Link State Routing)

Distance Vector Routing - Beispiel

- Sicht Router J , Distanzmaß ist Verzögerung in ms , $\overline{JA} = 8ms$, $\overline{JI} = 10ms$,
 $\overline{JH} = 12ms$, $\overline{JK} = 6ms$

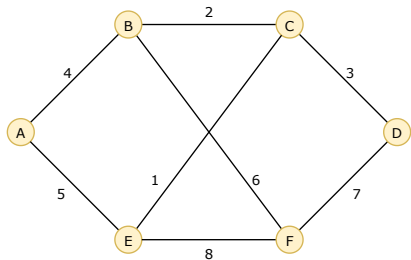


To	A	I	H	K	Distanz	Next Hop
A	0	24	20	21	8	A
B	12	36	31	28	20	A
C	25	18	19	36	28	I
D	40	27	8	24	20	H
E	14	7	30	22	17	I
F	23	20	19	40	30	I
G	18	31	6	31	18	H
H	17	20	0	19	12	H
I	21	0	14	22	10	I
J	9	11	7	10	0	-
K	24	22	22	0	6	K
L	29	33	9	9	15	K

- ▶ Jeder Router im Netzwerk **kennt seine Nachbarn** und die **Kosten** zu denen er diese erreicht. **Diese Sicht auf das Netzwerk** wird an **alle Nachbar** und von diesen auch **weiter** verteilt. Daraus entwickelt jeder Router eine **Gesamtsicht auf das Netzwerk**.
- ▶ Folgende **5 Schritte** muss jeder Router bewerkstelligen:
 1. Erkennen seiner Nachbarn und deren Erreichbarkeit,
 2. Ermittlung der Kosten zu jedem Nachbarn,
 3. Erstellen eines Pakets mit Information zu den Nachbarn und den Kosten (**Link State Paket**),
 4. Senden dieses Pakets und Empfangen der Pakete von den Nachbarn und
 5. Berechnung der kürzesten Wege (**Shortest Path Algorithmus**) zu allen Routern im Netzwerk.
- ▶ **Vorteil** im Vergleich zu Distance Vector Routing: Schnelle(re) Konvergenz
- ▶ Bekannte Routing Protokolle: OSPF (RFC 2328), IS-IS (ISO 10589:2002), EIGRP (Cisco, RFC 7868)

3. Erstellen des Link State Pakets

- Auf Basis der gefundenen Nachbarn und den zu diesen ermittelten Kosten erstellt ein Router sein Link State Paket.



A	
SEQ#	
Age	
B	4
E	5

B	
SEQ#	
Age	
A	4
C	2
F	6

C	
SEQ#	
Age	
B	2
D	3
E	1

D	
SEQ#	
Age	
C	3
F	7

E	
SEQ#	
Age	
A	5
C	1
F	8

F	
SEQ#	
Age	
B	6
D	7
E	8

4. Link State Pakete versenden

- ▶ Alle Router versenden ihre Link State Pakete an ihre Nachbarn und geben empfangene Link State Pakete anderer Router an ihre Nachbarn weiter.
- ▶ *Anforderung*: Alle Router sollen möglichst **rasch** und **zeitgleich** alle Link State Pakete erhalten (**rasche** und **gleichzeitige Topologieerstellung/-anpassung**).
- ▶ Prinzipielle Lösung: **Periodisches Flooding** zu allen Nachbarn (außer dem Sender) + **explizites Senden bei Änderungen** (Triggered Update)
- ▶ **Sequence Number (SEQ#)**: Wird pro Link State Paket inkrementiert und dient zur Bestimmung der Aktualität (bereits erhaltene SEQ# bzw. veraltete werden verworfen).

Shortest Path Algorithmus - Beispiel I

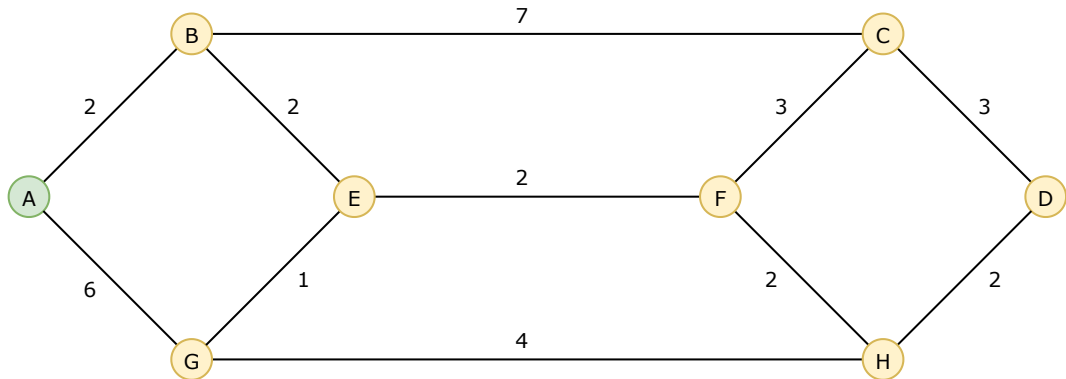


Abbildung 1: Quelle: Basierend auf [2]

Shortest Path Algorithmus - Beispiel II

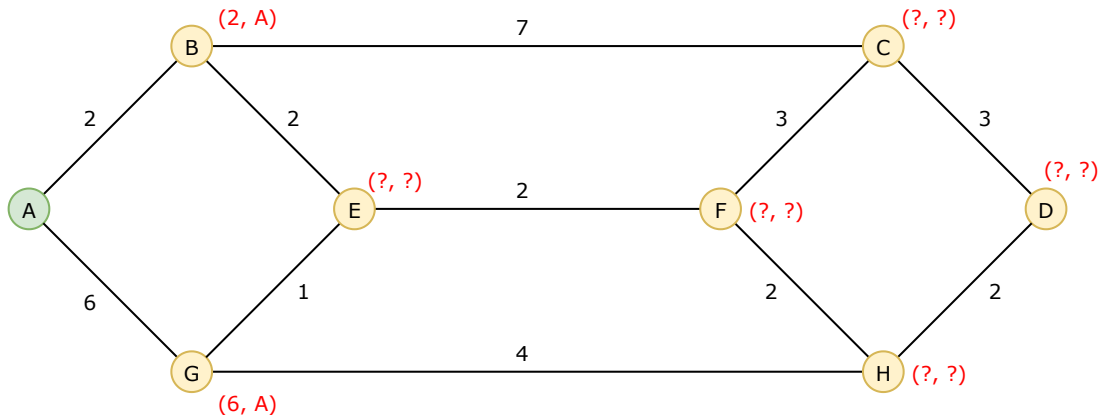


Abbildung 2: Quelle: Basierend auf [2]

Shortest Path Algorithmus - Beispiel III

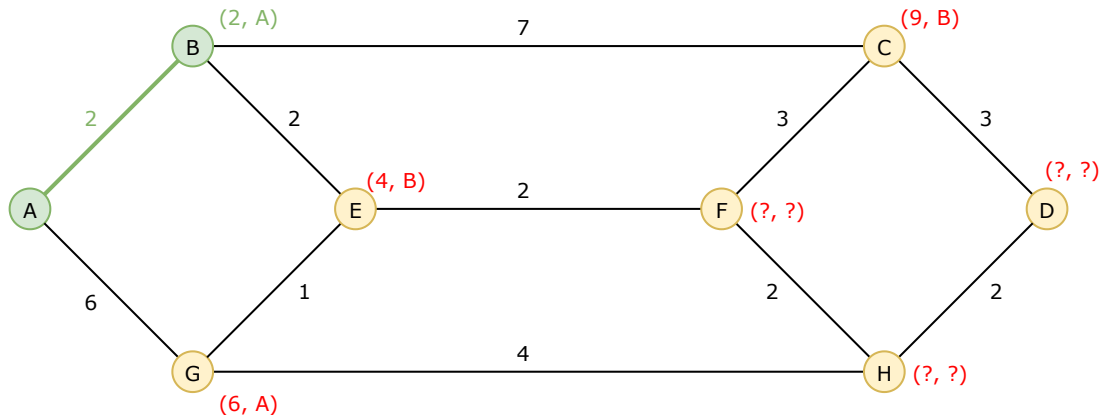


Abbildung 3: Quelle: Basierend auf [2]

Shortest Path Algorithmus - Beispiel IV

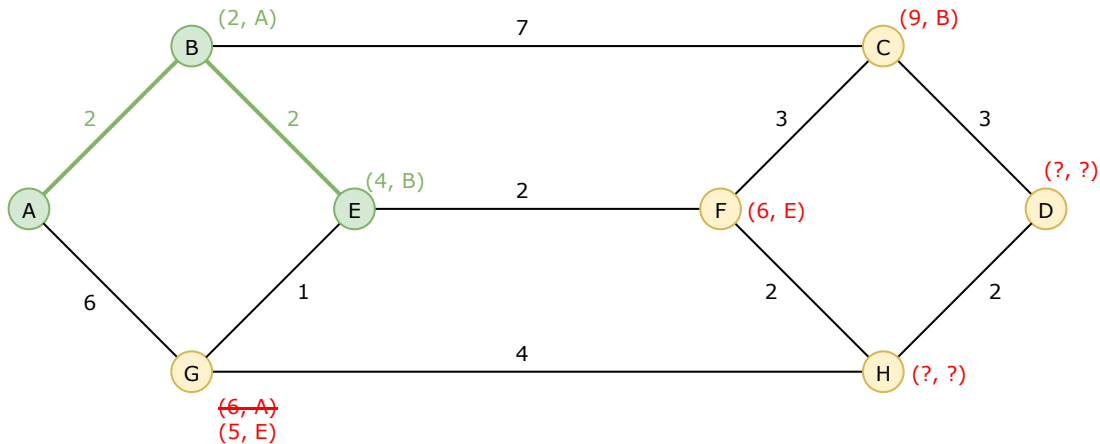


Abbildung 4: Quelle: Basierend auf [2]

Shortest Path Algorithmus - Beispiel V

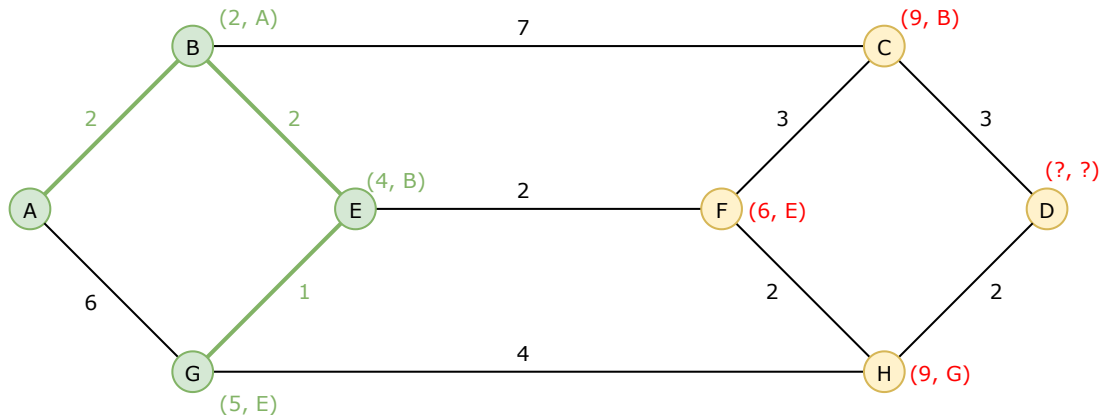


Abbildung 5: Quelle: Basierend auf [2]

Shortest Path Algorithmus - Beispiel VI

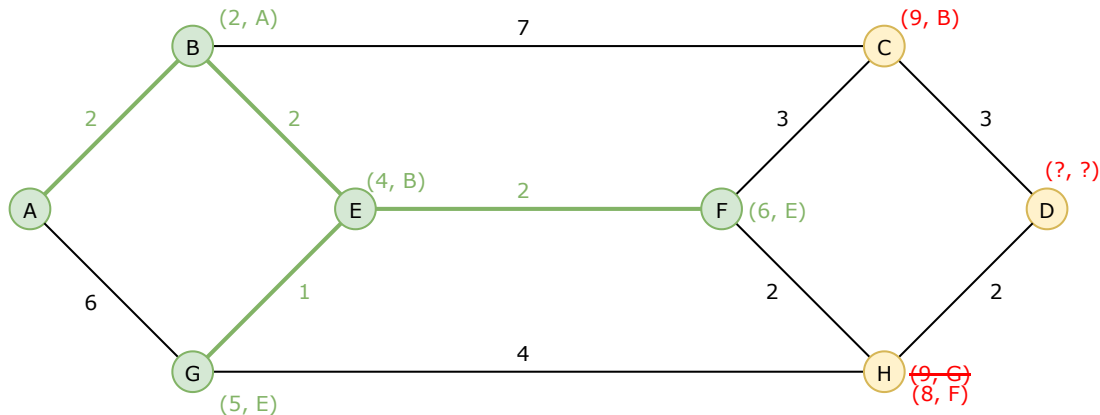


Abbildung 6: Quelle: Basierend auf [2]

Shortest Path Algorithmus - Beispiel VII

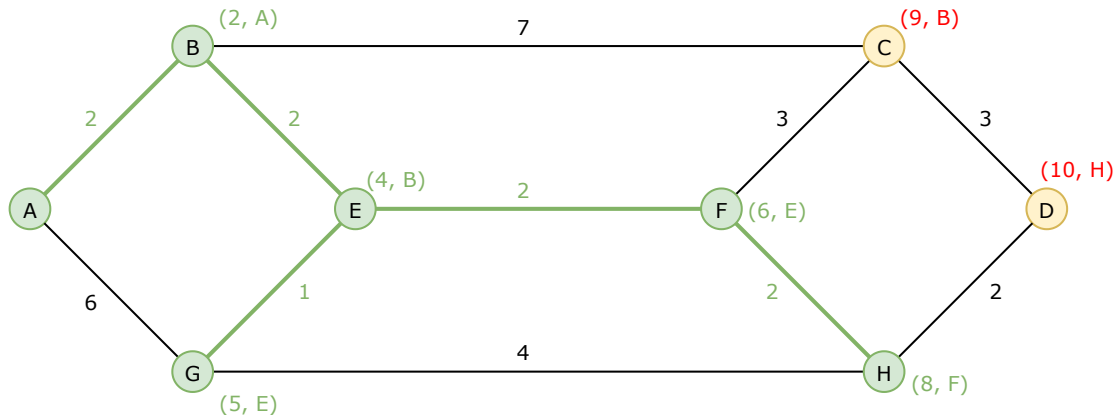


Abbildung 7: Quelle: Basierend auf [2]

Shortest Path Algorithmus - Beispiel VIII

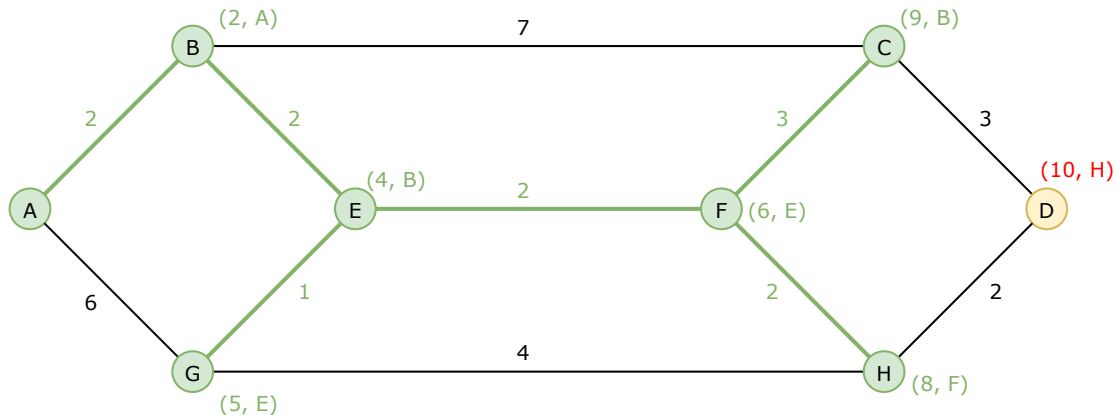


Abbildung 8: Quelle: Basierend auf [2]

Shortest Path Algorithmus - Beispiel IX

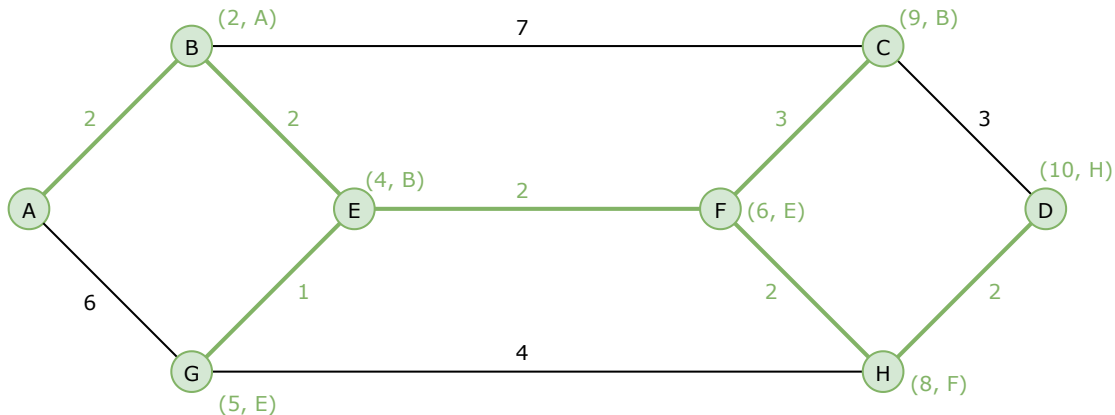


Abbildung 9: Quelle: Basierend auf [2]

Basics

- 
- FH
UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA

Open Shortest Path First (OSPF)

Funktionsweise (very High Level)

1. OSPF Router ermitteln mittels des **Hello-Protokolls** ihre Nachbarn (**Neighbor Adjacencies**).
2. OSPF Router tauschen ihren Status und den Status ihrer Links mit ihren Nachbarn über **Link State Advertisements (LSAs)** aus. LSAs werden in der **Link State Database (LSDB)** gespeichert.
3. OSPF Router geben von Nachbarn **empfangene LSAs an ihre Nachbarn** weiter (Flooding).
4. Hat ein OSPF Router alle LSAs im Netzwerk empfangen, berechnet er mittels **Shortest Path Algorithmus** seine kürzesten Pfade für die Routing Tabelle.
5. Bei Änderung an einem Link (**Triggered Update**) bzw. in **periodischen Intervallen** schickt ein OSPF Router erneut LSAs und die Schritte ab 3 wiederholen sich.

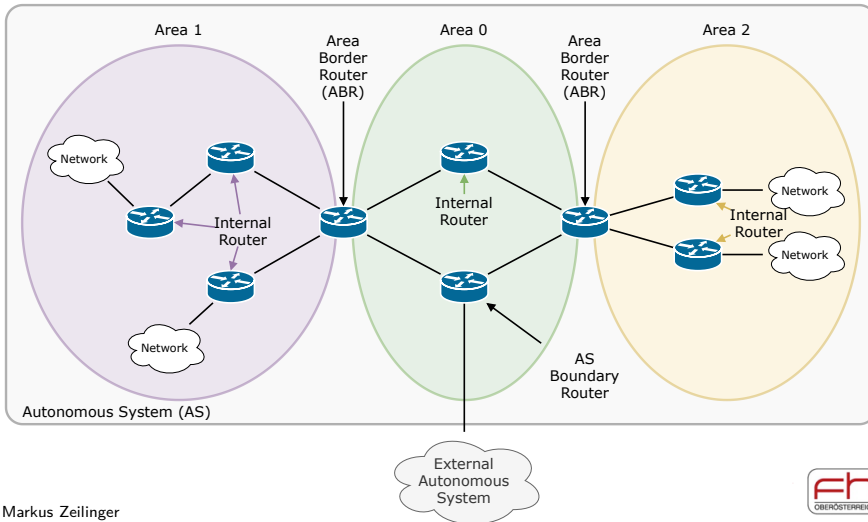
Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF Areas I

- ▶ Zu viele Router (Empfehlung < 50) im OSPF Prozess führen zu (a) **gesteigertem Aufwand** im Shortest Path Algorithmus, (b) **zu großen Routing Tabellen** und (c) **zu großen LSDBs**.
- ▶ Lösung: Network Partitioning → **OSPF Areas**.
 - ▶ Vollständige Sicht innerhalb einer Area, zwischen Areas wird nur generalisierte Information (z. B. aggregierte Routen) ausgetauscht.
- ▶ 2-Ebenen-Hierarchie
 - ▶ **Backbone Area** (Area 0): verbindet alle anderen Areas, Network Core, keine Endsysteme.
 - ▶ **Regular Area** (alle anderen): sind mit der Backbone Area verbunden.

Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF Area II



OSPF Area III

- 
- FH
OBERÖSTERREICH
- UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA

Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF Metrik

- ▶ Für den Shortest Path Algorithmus ist eine **Metrik** (Bewertung der Verbindungen zwischen den Routern) notwendig.
- ▶ OSPF verwendet als Metrik einen **Kostenbegriff** (Costs, Path Costs, Pfadkosten), welcher aber in RFC 2328 nicht konkret definiert wird.
- ▶ Auf Cisco/Juniper/HP-Routern sind die Kosten **invers-proportional** zur **Datenrate** eines Links:

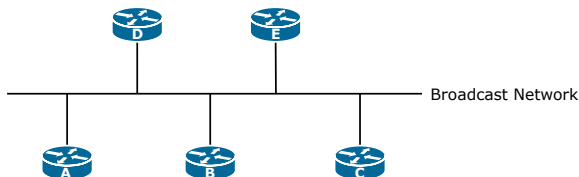
$$\text{Pfadkosten} = \frac{\text{Reference Bandwidth [Mbps]}}{\text{Datenrate [Mbps]}}$$

- ▶ Cisco **Reference Bandwidth** 100: 56 kbps Modem → Pfadkosten 1785, Ethernet → Pfadkosten 10, Fast Ethernet → Pfadkosten 1, Gigabit Ethernet → Pfadkosten 1 (Pfadkosten < 1 nicht möglich).

Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF Adjacencies I

- ▶ **Adjacency** = Beziehung zwischen benachbarten Routern zum Austausch von Routing Information.
- ▶ **Point-to-Point Topologie**: Direkte Adjacency zwischen den beiden Routern, OSPF Nachrichten gekapselt in z. B. Point-to-Point Protocol (PPP) Frames.
- ▶ In **Broadcast Networks** ergibt sich das Problem von Full-Mesh Adjacencies:

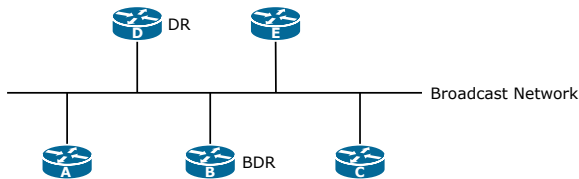


- ▶ **Full-Mesh Adjacencies**: \overline{AB} , \overline{AC} , \overline{AD} , \overline{AE} , \overline{BC} , \overline{BD} , \overline{BE} , \overline{CD} , \overline{CE} , \overline{DE} (10 Adjacencies) → hoher Verwaltungsaufwand

Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF Adjacencies II

- ▶ Lösung: Bestimmung eines **Designated Router (DR)** und eines **Backup Designated Routers (BDR)** für ein Broadcast Network (beeinflussbar über Router Priority).
- ▶ Alle Router im Broadcast Network bilden **Adjacencies** mit dem **DR** und dem **BDR** → Reduktion der Adjacencies.
- ▶ Nur DR bzw. BDR schicken LSAs für das Broadcast Network.



- ▶ **Adjacencies:** \overline{AB} , \overline{AD} , \overline{CB} , \overline{CD} , \overline{EB} , \overline{ED} (6 Adjacencies)

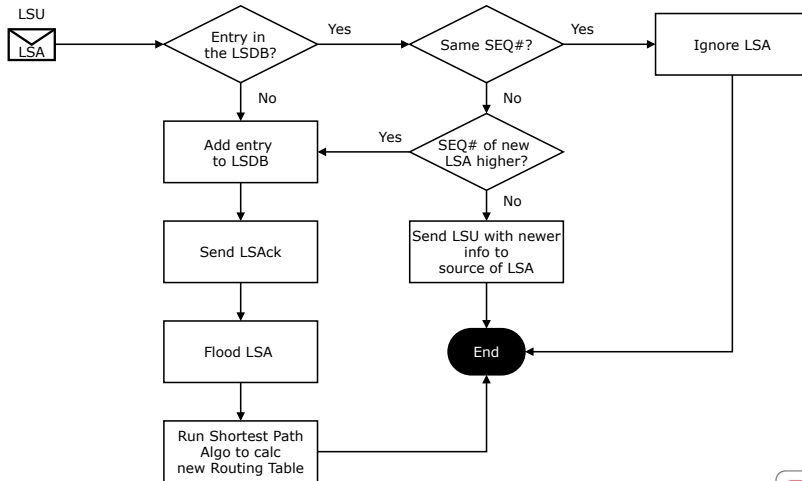
Open Shortest Path First (OSPF)

Link State Advertisements (LSAs)

- ▶ Link State Advertisements (LSAs) melden den Status eines Routers und seiner Links (Link State).
- ▶ Für LSAs wird Zuverlässigkeit realisiert, d. h. es gibt einen Bestätigungsmechanismus (LSAck).
- ▶ LSAs haben eine Sequence Number (SEQ#) und eine Aging Time, um die Aktualität eines LSAs sicherstellen zu können.
 - ▶ Die Default Aging Time ist 30 Minuten, d. h. nach 30 Minuten erneuert der sendende OSPF Router die LSA in dem er diese erneut sendet.
 - ▶ Wird ein LSA 60 Minuten (Default Max Age) nicht erneuert, wird sie verworfen.
- ▶ Alle LSAs, die ein OSPF Router empfängt, werden in der Link State Database (LSDB) gespeichert.

Open Shortest Path First (OSPF)

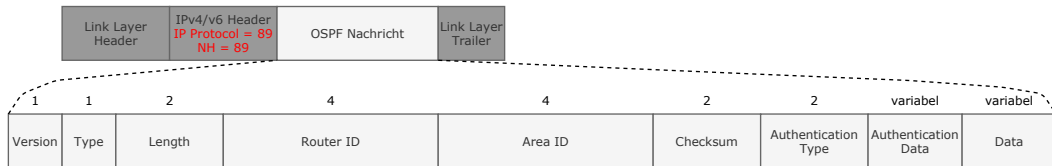
LSA Verarbeitung



Add-On Material

Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF Nachrichtenformat für OSPFv2



- ▶ **Type:** Hello (1), Database Description (DBD) (2), Link State Request (LSR) (3), Link State Update (LSU) (4), Link State Acknowledgement (LSAck) (5)
- ▶ **Router ID:** ID des sendenden Routers (Default: höchste IP Adresse, konfigurabel).
- ▶ **Area ID:** ID der Area in der die Nachricht ihren Ursprung hat.
- ▶ **Authentication Type:** No Authentication (0), Simple Password (1), Cryptographic Authentication (2) (z. B. HMAC-SHA, RFC 5709), in OSPFv3 per Default IPsec.

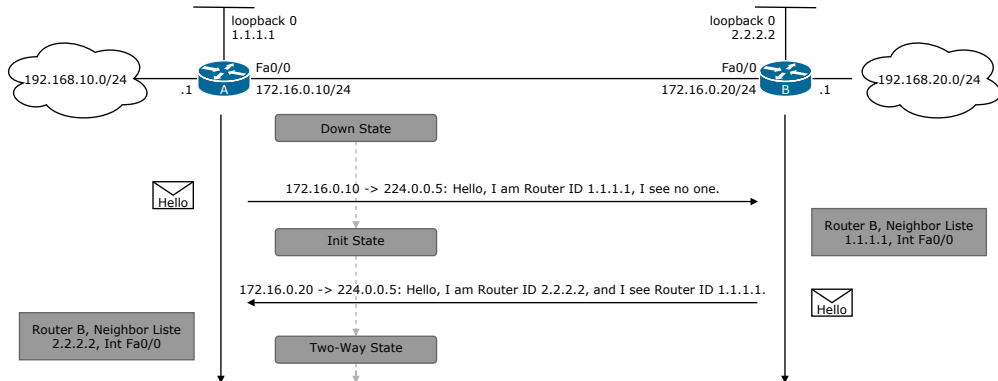
OSPF Nachrichtentypen

- 
- UNIVERSITY
OF APPLIED SCIENCES
UPPER AUSTRIA

Open Shortest Path First (OSPF)

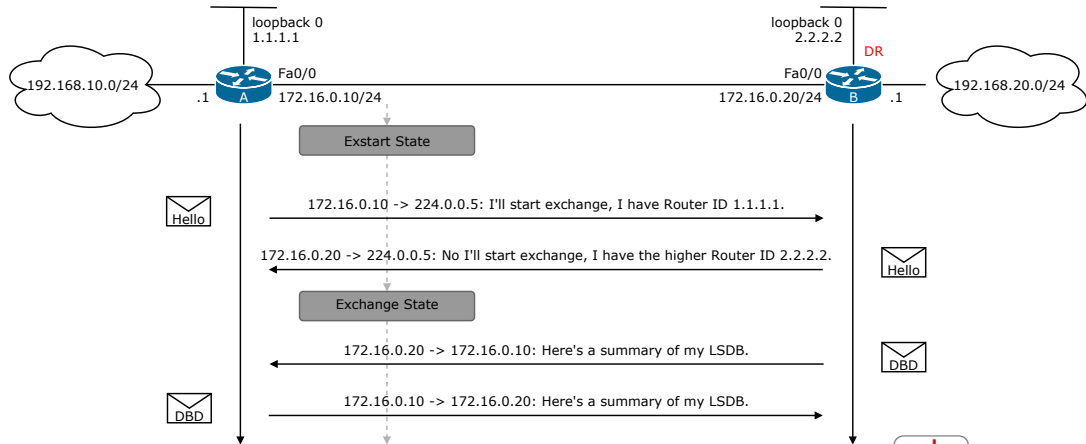
OSPF Hello Protokoll I

- Zweck: (a) Auffinden von Nachbarn und (b) Aufbau von Adjacencies mit diesen.



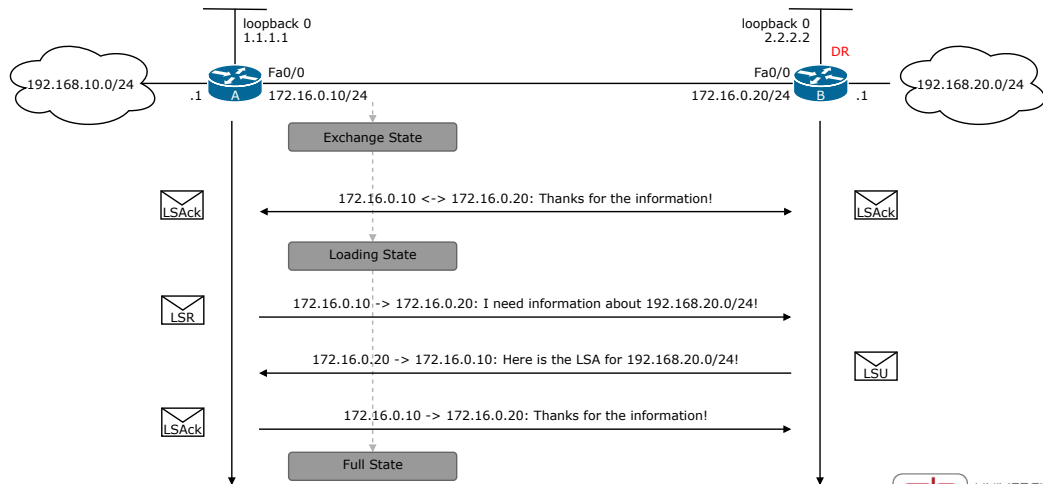
Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF Hello Protokoll II



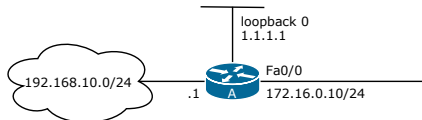
Open Shortest Path First (OSPF)

OSPF Hello Protokoll II



Open Shortest Path First (OSPF)

LSA Type 1 - Router LSA



- ▶ Router A sendet LSA Type 1 - Router LSAs für alle in OSPF konfigurierten Links in der gleichen Area:

```
Ethernet II, Src: 0c:da:86:d9:e9:01, Dst: 0c:da:86:f3:66:01
Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.0.10, Dst: 172.16.0.20
```

```
Open Shortest Path First
```

```
  OSPF Header
```

```
    LS Update Packet
```

```
      Number of LSAs: 1
```

```
      LSA-type 1 (Router-LSA), len 48
```

```
        [...]
```

```
        LS Type: Router-LSA (1)
```

```
        [...]
```

```
        Sequence Number: 0x80000001
```

```
        [...]
```

```
      Type: Stub      ID: 192.168.10.0      Data: 255.255.255.0      Metric: 1
```

```
      Type: Stub      ID: 172.16.0.0        Data: 255.255.255.0      Metric: 1
```

Open Shortest Path First (OSPF)

LSA Type 2 - Network LSA



- Der Designated Router (DR) im Broadcast Network schickt eine LSA Type 2 - Network LSA mit allen Router im Broadcast Network.

```
Ethernet II, Src: 0c:da:86:f3:66:01, Dst: 01:00:5e:00:00:05  
Internet Protocol Version 4, Src: 172.16.0.20, Dst: 224.0.0.5
```

```
Open Shortest Path First
```

```
OSPF Header
```

```
LS Update Packet
```

```
Number of LSAs: 2
```

```
LSA-type 2 (Network-LSA), len 32
```

```
[...]
```

```
LS Type: Network-LSA (2)
```

```
[...]
```

```
Sequence Number: 0x80000001
```

```
[...]
```

```
Attached Router: 2.2.2.2
```

```
Attached Router: 1.1.1.1
```

```
LSA-type 1 (Router-LSA), len 48
```

