# Routing Protokolle am Beispiel OSPF Netzwerkgrundlagen (NWG2)

Markus Zeilinger<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FH Oberösterreich Department Sichere Informationssysteme

Sommersemester 2023



### Wichtiger Hinweis

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!



### Inhalt

Routing Algorithmen und Routing Protokolle

Distance Vector Routing

Link State Routing

Open Shortest Path First (OSPF)



## Routing Algorithmen I

- Nicht-Adaptives/Statisches Routing (→ UE03) = Routen werden einmalig erstellt und dann verwendet, keine Anpassung im Betrieb (z. B. Ausfälle, Topologieänderungen, ...).
- ▶ Adaptives/Dynamisches Routing ( $\rightarrow$  UE02) = Routen werden laufend im Betrieb wegen z. B. Ausfällen, Topologieänderungen, .. angepasst  $\rightarrow$  Routing-Algorithmen  $\rightarrow$  Routing-Protokolle.



### Routing Algorithmen II

- ► Link State Routing
  - ► Router kennen & teilen Distanz zu Nachbarn mit eben diesen (Link State Packets)
  - Link State Packets werden durch das Netzwerk geflooded.
  - ► Auf Basis aller Link State Packets berechnet ein Router kürzeste Wege zu allen anderen Routern im Netzwerk (Shortest Path First Algorithmus).
- Distance Vector Routing
  - ► Router halten & teilen eine Tabelle (= Distance Vector) über die kürzeste Entfernung zu jedem Ziel und den nächsten Router dorthin.
  - Auf Basis empfangener Distance Vectors wird der eigene aktualisiert.
- Weitere Verfahren:
  - ► Hierarchical Routing, Broadcast Routing, Flooding, Multicast Routing, Anycast Routing, ...



## Routing Protokolle

#### Überblick

Protokoll 1	Classful	Classless	IGP <sup>2</sup>	EGP <sup>2</sup>	DVP <sup>3</sup>	LSRP <sup>3</sup>	PVP <sup>3</sup>	AD <sup>4</sup>	Metrik	
RIPv1	Χ									
RIPv2		Х	X		Х			120	Hop Count	
RIPng		_ ^								
OSPF		X	Х			Х		110	Costs (basierend auf Datenraten)	
IGRP	Х		X		Х			100	Bandwith Dalaw Load MTH	
EIGRP		X	^		Hy	brid		90	Bandwith, Delay, Load, MTU	
IS-IS		Х	Х			Х		115	Costs (basierend auf Datenraten)	
(i)BGP		Х	Х				×	200	Lines AS Dfod	
(e)BGP		^		Х			^	20	Länge AS-Pfad,	
С								0	(Directly) Connected Network	
S								1	Static Route	

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Routing Information Protocol (RIP), Open Shortest Path First (OSPF), (Enhanced) Interior Gateway Routing Protocol ([E]IGRP), Border Gateway Protocol (BGP)



<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Interior Gateway Protocol (IGP) oder Exterior Gateway Protocol (EGP)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup>Distance Vector Protocol (DVP), Link State Routing Protocol (LSRP) oder Path Vector Protocol (PVP)

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup>Administrative Distance (AD): Kleinerer Wert bedeutet höhere Priorität.

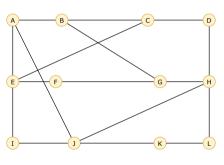
### Distance Vector Routing

- ▶ 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), RIPng (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,  $\overline{JA} = 8ms$ ,  $\overline{JI} = 10ms$ ,  $\overline{JH} = 12ms$ ,  $\overline{JK} = 6ms$ 



То	Α
Α	0
В	12
C	25
D	40
Ε	14
F	23
G	18
Н	17
- 1	21
J	9
K	24
L	29
	8 ms

1	
24	
36	
18	
27	
7	
20	
31	
20	
0	
11	
22	
33	
10 ms	

Н	
20	
31	
19	
8	
30	
19	
6	
0	
14	
7	
22	
9	
12 ms	

K
21
28
36
24
22
40
31
19
22
10
0
9
6ms

D:-+	No. at III a a
Distanz	Next Hop
8	Α
20	A
28	I
20	Н
17	I
30	ı
18	Н
12	Н
10	I
0	-
6	K
15	K



### Link State Routing

- ▶ 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
  - 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)



### 1. Erkennen der Nachbarn (Neighbors)

- ▶ Router senden HELLO-Pakete auf allen Point-to-Point-Links (= direkte Verbindung zwischen zwei Systemen/Routern), um potentielle Nachbarn zu finden.
- Empfängt ein Router ein HELLO-Paket antwortet er darauf mit seinem Namen (muss im Einsatzbereich eindeutig sein).
- ▶ Auf Broadcast-Links (z. B. LAN an einem Switch) wird einer der Router am Link zum Designated Router, der das LAN bedient. Alle anderen Router am LAN haben diesen dann als Nachbarn.
  - Vorteil: Weniger Nachbarschaftsbeziehungen, weniger Kommunikation



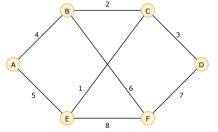
### 2. Ermittlung der Kosten zu jedem Nachbarn

- ▶ Jede Nachbarschaftsbeziehung braucht eine Distanz- oder Kostenmetrik, um kürzeste Pfade ermitteln zu können.
- Möglichkeiten
  - ► Datenrate am Point-to-Point-Link
  - ► Ev. kombiniert mit gemessener Round Trip Time (RTT) zur Berücksichtigung von Distanzen.



### 3. Erstellen des Link State Pakets

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



	4		
SE	SEQ#		
A	ge		
В	4		
Е	5		

Е	3			
SE	SEQ#			
Αį	Age			
Α	4			
С	2			
F	6			

C				
SEQ#				
Age				
В	2			
D	3			
Е	1			

D			
SEQ#			
Age			
С	3		
F	7		

E				
SEQ#				
Age				
Α	5			
С	1			
F	8			

E		F		
SE	<b>Q</b> #	SEQ#		
Age		Age		
A	5	В	6	
C 1		D	7	
F	8	Е	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).



### 5. Berechnung der kürzesten Pfade

- ► Hat ein Router alle Link State Pakete im Netzwerk empfangen (es werden keine neuer Router empfangen), berechnet er per Dijkstra's Shortest Path Algorithmus den kürzesten Pfad zu allen anderen Routern im Netzwerk.
- ▶ Bei Änderungen im Netzwerk, muss der Algorithmus neu durchgeführt werden.
- ► Link State Routing erfordert mehr Speicher- und Berechnungsaufwand als Distance Vector Routing, hat aber schnellere Konvergenzzeiten.



### Shortest Path Algorithmus

- ▶ Der Shortest Path Algorithmus von Dijkstra [1] findet die kürzesten Wege zwischen einem Quellknoten und allen möglichen Zielknoten in einem Netzwerk (Basis: Graphentheorie).
- ▶ Basis ist eine Bewertung (Metrik) der Verbindungen zwischen den Knoten (Routern) im Netzwerk, z. B. Anzahl der Hops, geographische Distanz, Datenrate, gemessene Verzögerung, Kosten, Auslastung, ...
- Prinzipielles Vorgehen:
  - 1. Der Quellknote wird initial als Arbeitsknoten markiert.
  - 2. Für alle Nachbarknoten des aktuellen Arbeitsknotens wird auf Basis einer Metrik die Entfernung zum Quellknoten bestimmt und notiert.
  - Der Nachbarknoten mit der geringsten Entfernung wird gewählt und der neue Arbeitsknoten.
  - 4. Solange noch nicht alle Knoten im Netzwerk gewählt wurden, wird ab Schritt 2 wiederholt.



15 | 44

## Shortest Path Algorithmus - Beispiel I

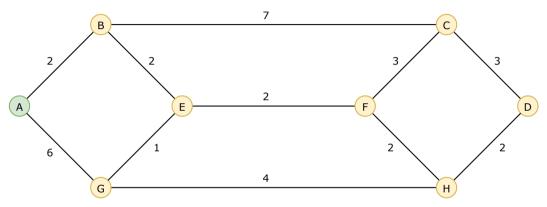


Abbildung 1: Quelle: Basierend auf [2]



## Shortest Path Algorithmus - Beispiel II

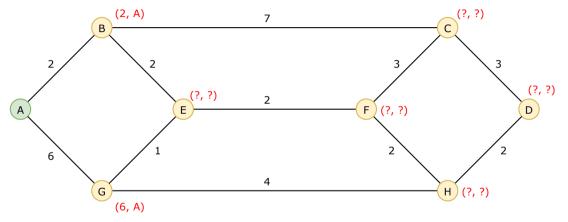


Abbildung 2: Quelle: Basierend auf [2]



## Shortest Path Algorithmus - Beispiel III

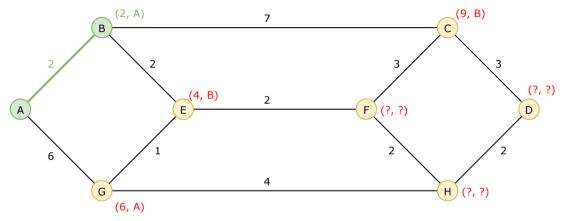


Abbildung 3: Quelle: Basierend auf [2]



## Shortest Path Algorithmus - Beispiel IV

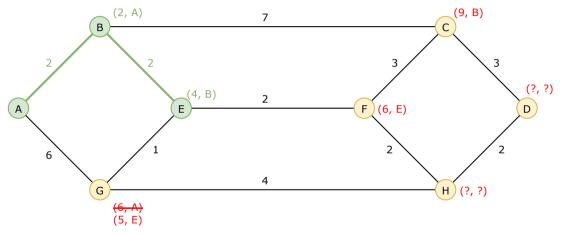


Abbildung 4: Quelle: Basierend auf [2]



### Shortest Path Algorithmus - Beispiel V

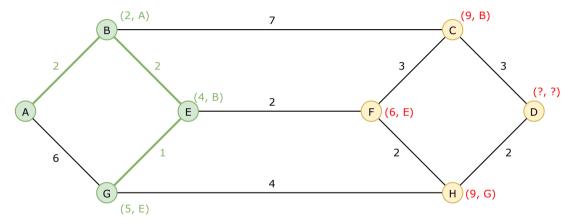


Abbildung 5: Quelle: Basierend auf [2]



### Shortest Path Algorithmus - Beispiel VI

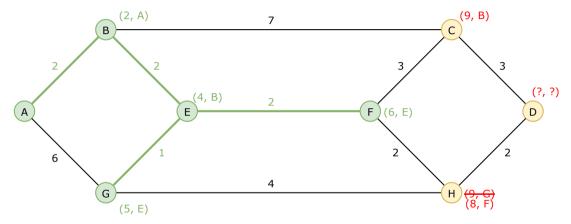


Abbildung 6: Quelle: Basierend auf [2]



## Shortest Path Algorithmus - Beispiel VII

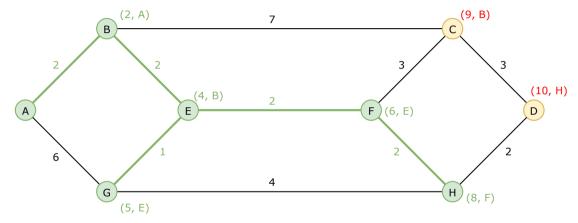


Abbildung 7: Quelle: Basierend auf [2]



### Shortest Path Algorithmus - Beispiel VIII

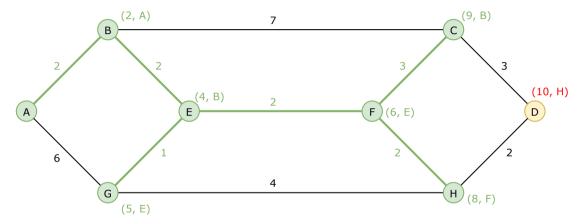


Abbildung 8: Quelle: Basierend auf [2]



## Shortest Path Algorithmus - Beispiel IX

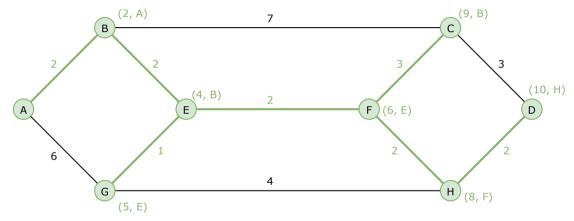


Abbildung 9: Quelle: Basierend auf [2]



- Open Shortest Path First (OSPF) ist ein Link State Routing Protokoll spezifiziert in RFC 2328 (OSPFv2).
- ▶ OSPF unterstützt Classless Inter-Domain Routing (CIDR) und damit insb. Variable Length Subnet Masks (VLSM).
- ► OSPF unterstützt IPv4 und IPv6 (RFC 5340, OSPFv3).
- ▶ OSPF Nachrichten werden direkt über IPv4 bzw. IPv6 übertragen (IP Protocol bzw. Next Header Wert = 89).
- ▶ OSPF verwendet Pfadkosten als Metrik für die Bewertung von Wegen.
- OSPF skaliert gut auch für große Netze, insb. durch das Area-Konzept.



Funktionsweise (very High Level)

- OSPF Router ermitteln mittels des Hello-Protokolls ihre Nachbarn (Neighbor Adjacencies).
- 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.
- 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.

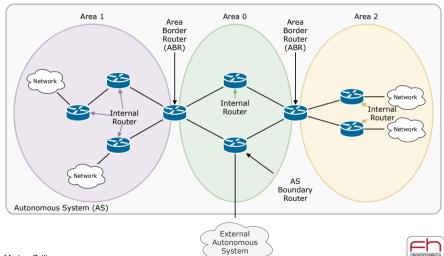


# Open Shortest Path First (OSPF) OSPF Areas I

- ➤ 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.
- ightharpoonup Lösung: Network Partitioning ightarrow 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.



OSPF Area II



#### OSPF Area III

- ► Internal/Backbone Router
  - Internal Router haben alle ihre Interfaces in derselben Area.
  - ▶ Alle Internal Router einer Area haben die LSDB.
- ► Area Border Router (ABR)
  - ightharpoonup ABRs haben Interfaces in versch. Areas ightharpoonup sie halten LSDBs verschiedenen Areas.
  - ABRs verbinden Regular Areas mit der der Backbone Area.
  - ABRs verteilen Routing Information zwischen Areas, sie können Route Aggregation durchführen.
  - ► ABRs dienen als Default Gateways für Areas.
- ► Autonomous System Boundary Router (ASBR)
  - ASBRs haben zumindest ein Interface in einer anderen Routing Domain (z. B. Exterior Gateway Routing, BGP).
  - ► ASBRs k\u00f6nnen externe Routen (aus einem anderen AS) in OSPF "einspeisen" (Route Redistribution).



# 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:

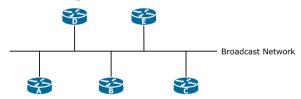
$$Pfadkosten = \frac{Reference\ Bandwith\ [Mbps]}{Datenrate\ [Mbps]}$$

▶ Cisco Reference Bandwith 100: 56 kbps Modem  $\rightarrow$  Pfadkosten 1785, Ethernet  $\rightarrow$  Pfadkosten 10, Fast Ethernet  $\rightarrow$  Pfadkosten 1, Gigabit Ethernet  $\rightarrow$  Pfadkosten 1 (Pfadkosten < 1 nicht möglich).



### OSPF Adjacencies I

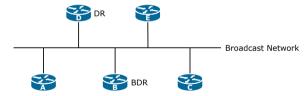
- Adjacency = Beziehung zwischen benachbarten Routern zum Austausch von Routing Information.
- ▶ Point-to-Point Topologie: Direkte Adjacency zwischen den beiden Routern, OSPF Nachrichten gekapselt in z. B. Point-to-Point Protocol (PPP) Frames.
- ▶ In Broadcast Networks ergibt sich das Problem von Full-Mesh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

### OSPF Adjacencies II

- ► Lösung: Bestimmung eines Designated Routers (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)

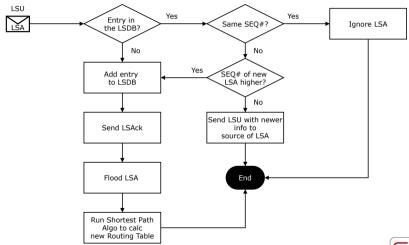


Link State Advertisements (LSAs)

- ► 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.



#### LSA Verarbeitung



## Add-On Material



OSPF Nachrichtenformat für OSPFv2

		ider IP Proto	= 89 OSPF Nachricht	Link Layer Trailer				
/ 1	1	2	4	4	2	2	variabel	variabel ``
Version	Туре	Length	Router ID	Area ID	Checksum	Authentication Type	Authentication Data	Data

- ► 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), Crypographic Authentication (2) (z. B. HMAC-SHA, RFC 5709), in OSPFv3 per Default IPsec.



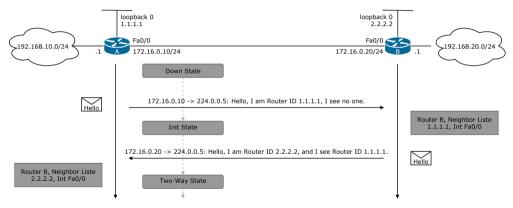
### OSPF Nachrichtentypen

- ► Hello
  - ▶ Auffinden von Nachbarn und Aufbau von Adjacencies im Hello-Protokoll.
- ► Database Description (DBD)
  - ▶ Kompakte Zusammenfassung der LSDB eines Routers, ermöglicht Nachbarn u. a. die Entscheidung, ob der Router neuere LSA (höhere SEQ#) hat, die angeforderte (LSR) werden sollten.
- ► Link State Request (LSR)
  - Dient der Anforderung von LSA, die z. B. durch DBDs mitgeteilt wurden.
- ► Link State Update (LSU)
  - Enthält ein oder auch mehrere (angeforderte) LSAs.
- ► Link State Acknowledgement (LSAck)
  - Dienst zur Bestätigung aller anderen OSPF Nachrichten.



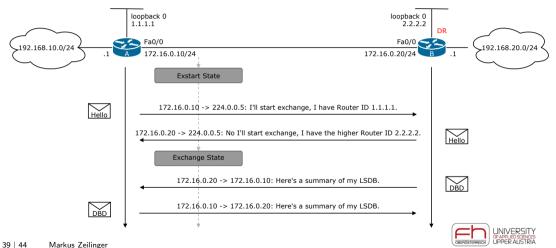
OSPF Hello Protokoll I

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

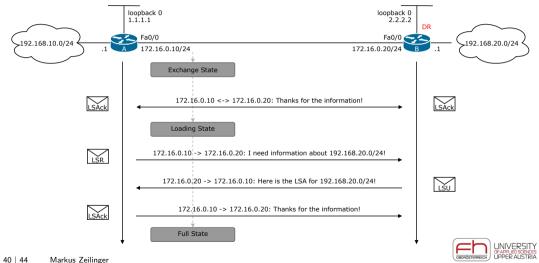




OSPF Hello Protokoll II



OSPF Hello Protokoll II

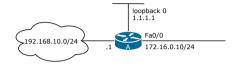


### LSA Types

- ► LSAs werden zwischen Routern mit entsprechender Adjacency ausgetauscht und in der LSDB gespeichert.
- LSA Typen (unvollständig)
  - ► LSA Type 1 Router LSA: Schickt jeder Router, enthält Status der Links des Routers in der jeweiligen Area.
  - ► LSA Type 2 Network LSA: Schickt der DR in einem Broadcast Network, enthält eine Liste aller Router im Broadcast Network.
  - ► LSA Type 3 und 4 Summary LSA: Schicken ABRs, enthalten (aggregierte) Routen zur Area und zu ASBRs.
  - ► LSA Type 5 External LSA: Schicken ASBRs, enthalten externe Routing Informationen, werden nicht in Stubs verteilt.



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: Oc:da:86:d9:e9:01, Dst: Oc: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
                          ID: 172.16.0.0
                                               Data: 255.255.255.0
            Type: Stub
                                                                      Metric: 1
42 | 44
```



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.





