

IP Routing-Protokolle

-

OSPF: Open Shortest Path First

Markus Speer

Zentrum für Informationsverarbeitung

Westfälische Wilhelms-Universität

Münster

E-Mail: speer@uni-muenster.de

Tel.: (0251) 83-31614, Fax: (0251) 83-31653

Veranstaltung vom 03.07.2003 der Vorlesung

Rechnernetze und Internet –

Fortgeschrittene Themen

SS 2003 - Veranstaltungsnummer: 260 158

<http://www.uni-muenster.de/ZIV/Lehre/2003-2/RechnernetzeFortgeschritteneThemen/>

Themenübersicht: OSPF

- OSPF-RFCs
- OSPF-Features
- OSPF-Begriffe
- OSPF-Protokoll
- OSPF-Konfigurationsparameter

RFCs

- **RFC 2328: Open Shortest Path First (OSPF) V2 Protocol**
- **IAB Standard-Protokoll 54**
- ältere Versionen: RFC 1131, RFC 1247, RFC 1583, RFC 2178
- **RFC 1584: Multicast Extensions to OSPF**
- **RFC 1850: OSPF Version 2 Management Information Base**
- **RFC 2740: OSPF for IPv6**
- **RFC 1812: Requirements for IPv4 Routers:** OSPF als das einzige vorgeschriebene dynamische Routing-Protokoll

Themenübersicht: OSPF

- OSPF-RFCs
- OSPF-Features
- OSPF-Begriffe
- OSPF-Protokoll
- OSPF-Konfigurationsparameter

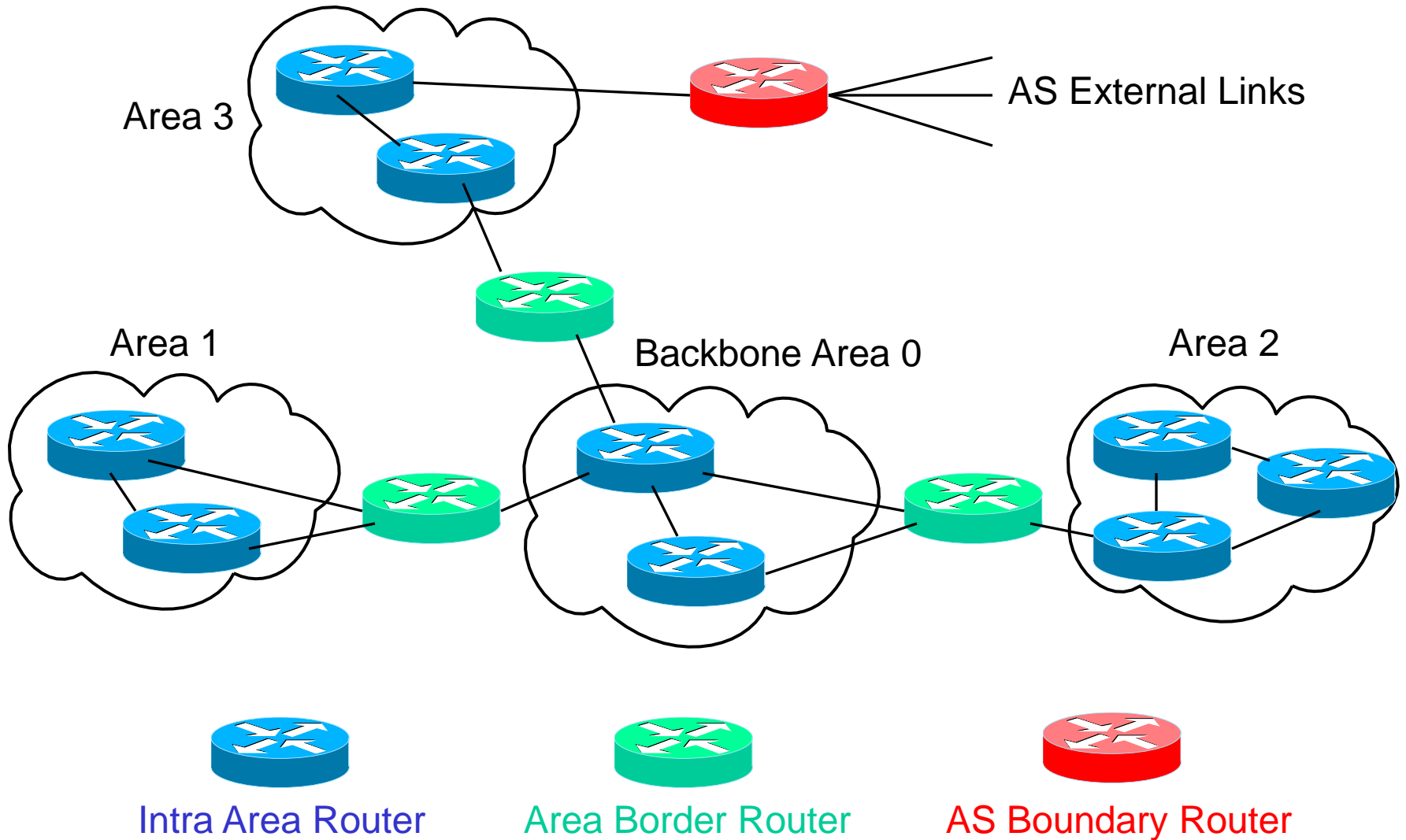
OSPF: Features

- **Interior Gateway Protocol**
- **Link State Routing Protocol**
- **variable Subnetzmaskenlänge**
- (ursprünglich auch **Type of Service (TOS)**-Routing)
- **authentifizierter Austausch von Routing-Information**
- **Designated Routers**: ausgewählte Router mit Sonderfunktionen zur Reduzierung des Verwaltungsaufwands von Routing-Tabellen und Reduzierung des übertragenen Routing-Protokoll-Volumens
- **Import von anderer Routing-Information** (statisch, IGP, EGP)
- **Equal-Cost Multipath**: z.B. für Load Balancing
- **Areas**: Unterteilung in Teilbereiche
- **Virtual Links**: Unterstützung nicht zusammenhängender Areas
- **erste Wahl** unter den **Interior Gateway Protocols** für große Netze

Themenübersicht: OSPF

- OSPF-RFCs
- OSPF-Features
- OSPF-Begriffe
- OSPF-Protokoll
- OSPF-Konfigurationsparameter

OSPF-Begriffe



OSPF-Begriffe: Area

- **Gruppierung** von Netzen und Routern innerhalb eines Autonomen Systems
- Grundgedanken des Area-Konzeptes:
 - **Information Hiding / Protection / Reduction**
- Begrenzung der Größe der Topologie-Datenbank und der Häufigkeit von Link State Updates
- **identische Topologie-Datenbank** in allen Routern in einer Area
- Austausch von Link State-Information zur Synchronisierung der Kopien der Topologie-Datenbank in den Routern einer Area
- **Area Border-Router** und **AS Boundary-Router**:
Zusammenfassung von Information über Netz außerhalb einer Area
- mind. eine Area: das **Backbone**

OSPF-Begriffe: OSPF-Backbone

- Identifier: 0.0.0.0
- Alle **Areas müssen physikalisch mit dem Backbone verbunden** sein.
- Sammlung der Routing-Information aus allen Areas
- Area mit einer **zusätzlichen Eigenschaft**: Verteilung der Routing-Information zwischen den angebundenen Areas
- normalerweise „direkte“ Verbindungen zwischen Routern innerhalb einer Area
- **Virtual Links**: Verbindung von „nicht verbundenen“ Routern der Backbone-Area
- Verwaltung der Topologie-Datenbank der Backbone-Area (wie bei jeder anderen Area auch)

OSPF-Begriffe: Intra Area Router

- alle Interfaces innerhalb einer Area
- Verteilen (sog. **Flooding**) der eigenen Interfaces (Links) durch **Link State Advertisements** in die Area
- als **Designated Router** auch Bekanntgabe aller an das eigene „Netz“ angeschlossenen Router
- Verwaltung der Topologie-Datenbank der eigenen Area

OSPF-Begriffe: Area Border Router

- Verbindung von zwei oder mehr *Areas*
- Verwaltung der Topologie-Datenbank aller angeschlossenen *Areas*
- Austausch von Link State-Information mit anderen Routern in diesen *Areas*
- Verteilen von zusammenfassenden *Link State Advertisements* in jede *Area*, um Inter-Area-Routen bekannt zu machen

OSPF-Begriffe: AS Boundary Router

- plziert an der Peripherie eines OSPF-Netzwerks
- **Import AS externer Routing-Information:**
 - statische Routen
 - Routen von anderen *IGPs* (z.B. *RIP*)
 - Routen in andere *ASs* über *EGPs* (z.B. *BGP-4*)
- Verteilung von *AS-externer Link State Advertisements* in alle *Areas* innerhalb eines *AS*

OSPF-Begriffe: Physikalische Netzwerktypen

- **Point-to-Point-Netzwerk:** direkte Verbindung zwischen zwei Routern
- **Multi-Access-Netzwerk:** Anschluss mehrerer Router möglich
 - **Broadcast:** Adressierung von OSPF-Paketen an alle angeschlossenen Router möglich (z.B. LANs)
 - **Non-broadcast:** individuelle Adressierung aller Router notwendig (z.B. X.25, Frame Relay); d.h. Konfiguration der Neighbor-Adressen notwendig
- **Point-to-Multipoint-Netzwerk:**
 - Spezialform des Multi-Access-Netzwerks
 - nicht von jedem Router zu jedem anderen eine Verbindung
 - Teilvermaschung

OSPF-Begriffe: Virtual Link, Transit Area

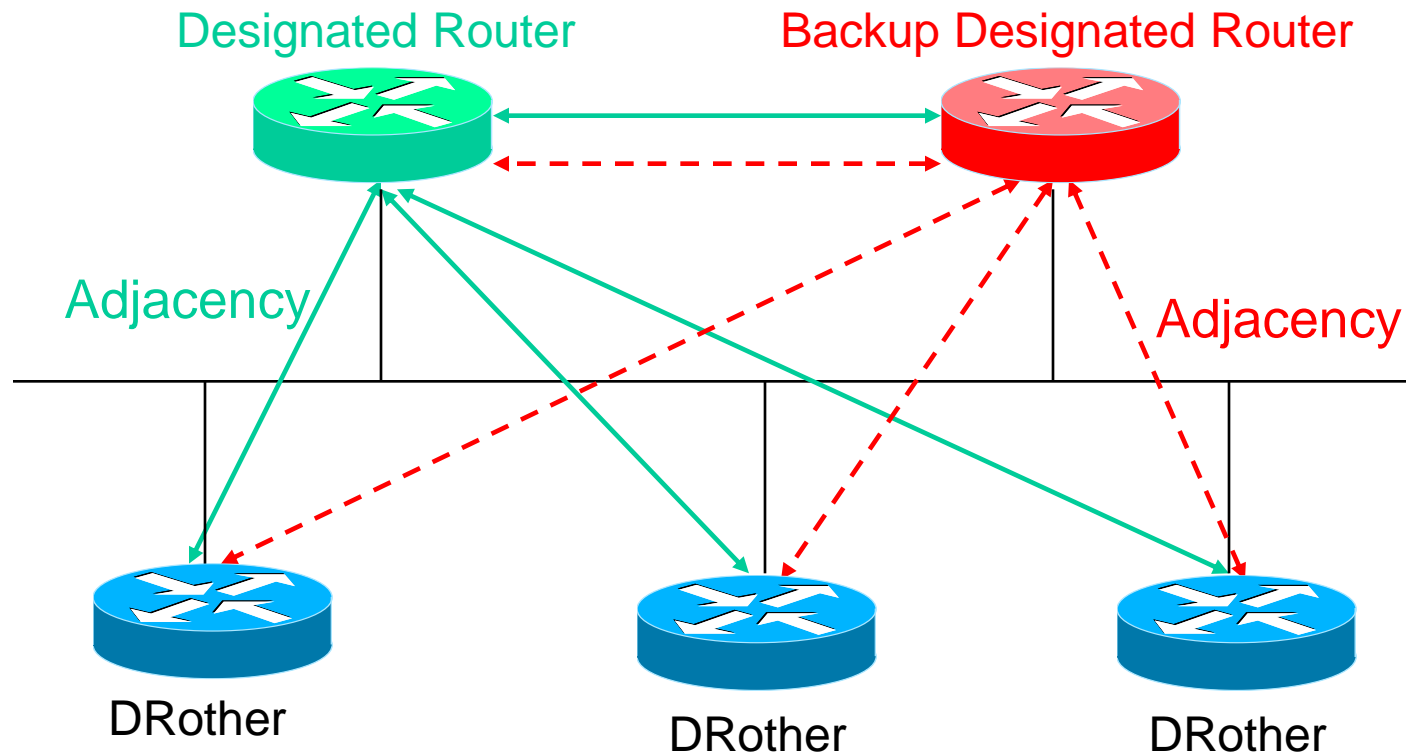
- **Virtual Link:**
 - Teil der Backbone-Area
 - an den Endpunkten zwei Area Border-Router mit gemeinsamer Nicht-Backbone-Area
 - Behandlung als Point-to-Point-Link
 - Routing über den Virtual Link über normales intra-Area-Routing
- **Transit-Area:**
 - Area, über die eine virtuelle Route physikalisch verbunden wird
 - **Virtual Endpoints:** Area Border-Router mit gemeinsamer Transit Area

OSPF-Begriffe: Stub-Area

- Reduzierung der Speichieranforderungen von Routern in *Stub-Areas*
- normalerweise: Kopieren aller inter AS-Routen zu allen Areas eines AS
- Default-Routing für Inter AS-Routing
- Konfiguration einer Area als *Stub-Area* möglich, falls:
 - nur ein Ausgang aus der Area oder
 - alle Ausgänge zu Routen außerhalb des AS gleichwertig

OSPF-Begriffe: versch. Rollen von OSPF-Routern

Beispiel: IP-(Sub-)Netz mit 5 Neighbor-Routern



OSPF-Begriffe: Neighbor-Router - 1

- **Neighbor-Router:**
 - zwei Router mit Interfaces in einem gemeinsamen Netzwerk
 - bei Multiaccess-Netzwerken: dynamisches Entdecken von Routern über das *Hello-Protocol*
 - Zustandsmaschine zur Beschreibung der Kommunikation zwischen Neighbor-Routern

OSPF-Begriffe: Neighbor-Router - 2

Zustände zwischen *Neighbor-Routern*

Down	Ausgangszustand
Attempt	Kontaktaufnahme zu einem <i>Neighbor</i> in einem Nicht Broadcast-Netzwerk
Init	Empfang eines <i>Hello-Paketes</i> von einem <i>Neighbor</i>
2-way	bidirektionale Kommunikation, Übernahme bestimmter funktionaler Rollen möglich
ExStart	Kreieren einer <i>Adjacency</i> zwischen <i>Neighbors</i>
Exchange	Austausch der Topologie-Datenbank
Loading	Synchronisierung der Topologie-Datenbanken
Full	vollständig <i>adjacent</i> , synchrone Topologie-Datenbanken

Zustandswechsel bei bestimmten Ereignissen

OSPF-Begriffe: Adjacent Router

- **Synchronisation der Topologie-Datenbanken** durch den Austausch von Link State-Information
- **Austausch von Link State-Information** nur zwischen *Adjacent-Routern* nicht zwischen reinen *Neighbor-Routern*
- Nur bei Point-to-Point-Links werden *Neighbor-Router* zwangsläufig zu *Adjacent-Router*.
- Bei Multi-Access-Netzwerken werden *Adjacencies* nur zwischen den einzelnen Routern und den sog. *Designated Routern* und *Backup Designated-Routern* etabliert.

OSPF-Begriffe: Designated- und Backup Designated-Router

- **Designated Router** eines Netzes:
 - **Bilden von Adjacencies** mit allen Routern eines Multi-Access-Netzwerkes
 - **Generierung von Netzwerk-Links-Advertisements** mit der Liste aller an ein *Multi-Access-Netzwerk* angeschlossenen Router
 - „zentraler“ **Punkt** zur Weiterleitung von *Link State Advertisements*
 - **automatische Auswahl** bei bei *Multi-Access-Netzwerken* nach der Entdeckung der *Neighbor-Router* durch das *Hello-Protokoll*
- **Backup Designated-Router** eines Netzes:
 - Bilden der gleichen Adjacencies wie der *DR*
 - identische Topologie-Datenbank wie der *DR*

OSPF-Begriffe: Zustand eines Router-Interfaces

Down	nicht verfügbar (Ausgangszustand)
Loopback	router-interne Kommunikation
Waiting	Ermittlung des <i>DR</i> und <i>Backup DR</i>
Point-to-Point	<ul style="list-style-type: none">• <i>Point-to-Point-Netzwerk</i> oder <i>Virtual Link</i>• Bilden einer <i>Adjacency</i> mit dem Router am anderen Ende• kein Konzept von <i>DR</i> und <i>BackupDR</i>
DR Other	Multi-Access-Netzwerk, Router ist weder <i>DR</i> noch <i>BackupDR</i> .
Backup	Router ist <i>Backup Designated Router</i> .
DR	Router ist <i>Designated Router</i> .

OSPF-Begriffe: Link State Database

- In RFC 2328 vorzugsweise verwendeter Begriff für die Topologiedatenbank.
- basierend auf den *Link State Advertisements*
- andere Begriffe: **Directed Graph, Topological Database**

OSPF-Begriffe:

Shortest-Path Tree, Routing-Tabelle

- **SPF (Shortest-Path First): Dijkstra-Algorithmus** zur Ermittlung eines **Baums von kürzesten Wegen** zwischen den Routern mit dem Router selbst als Wurzel
- trotz identischer Topologiedatenbank verschiedene SPF-Trees für jeden Router
- Grundlage der **Routing-Tabelle**
- *Area Border Router* führen mehrfache Kopien des SPF-Algorithmus aus erstellen aber eine einzige Routing-Tabelle
- *Routing-Tabelle*:
 - Einträge für Netze, Hosts
 - Einträge für einen oder mehrere optimale Pfade

OSPF-Begriffe:

Area ID, Router ID, Router Priority

- **Area ID:**
 - 32 Bit-Nummer zur Identifizierung einer Area
 - ID 0 für *Backbone*
- **Router ID:**
 - 32 Bit-Nummer zur Router-Identifizierung innerhalb einer *Area*
 - mögliche Implementierung: kleinste IP-Adresse eines Routers
- **Router Priority:**
 - Priorität in der Auswahl des (*Backup*) *DR*
 - 8 Bit-Wert für jedes Interface
 - Höhere Werte bedeuten eine höhere Priorität.

OSPF-Begriffe: Link State Advertisements - 1

- Austausch von Link State-Information zwischen *Adjacent Routers* zur Verwaltung der *Topologiedatenbank*
- Bekanntmachen von inter-Area und inter-AS-Routen vorgesehen
- 5 Typen von *LSA*

OSPF-Begriffe: Link State Advertisements - 2

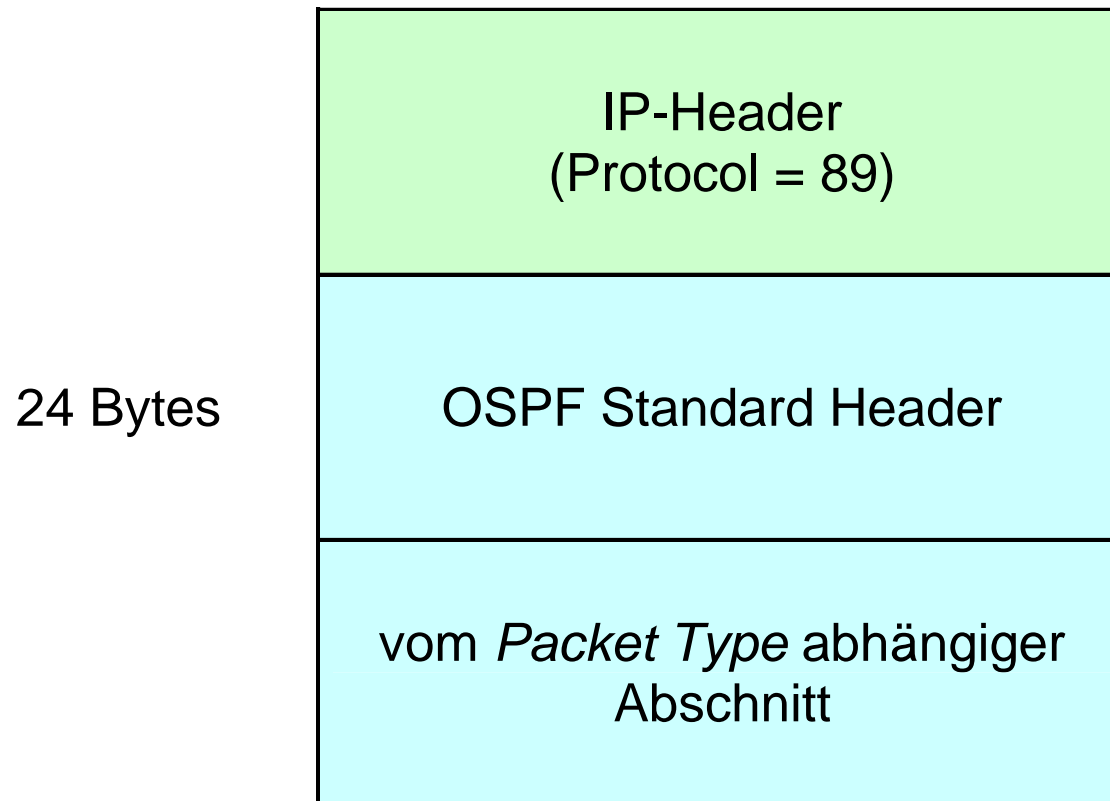
5 Typen von LSAs (werden nur innerhalb einer Area weitergeleitet (Flooding))

- Router-Links:
 - Status der Interfaces (*Links*) eines Routers, **erzeugt durch alle Router**
- Network-Links:
 - **erzeugt durch die DR** in einem Multi Access-Netzwerk
 - listet die mit dem Netzwerk verbundenen Router auf
- Summary-Links, 2 Typen:
 - **erzeugt durch die Area Border-Router**
 - **Typ 1:** Routen zu Zielen in anderen Areas
 - **Typ 2:** Routen zu AS Boundary-Routern
- **AS external Links:**
 - **erzeugt durch AS Boundary-Router**
 - Routen zu Zielen außerhalb des OSPF-Netzes
 - werden in alle Areas des OSPF-Netzes weitergeleitet

Themenübersicht: OSPF

- OSPF-RFCs
- OSPF-Features
- OSPF-Begriffe
- OSPF-Protokoll
- OSPF-Konfigurationsparameter

Aufbau eines OSPF-Paketes



OSPF: Protokoll-Übersicht

- direkte Übertragung in IP-Datagrammen (*Protocol Identifier: 89*)
- d.h. kein TCP- oder UDP-Header
- **IP Multicast-Adressierung** bei Point-to-Point und Broadcast-Netzen
- Unicast-IP-Adressierung bei Nicht-Broadcast-Netzen
- OSPF Paket mit **Common Header** mit 5 möglichen Typen:
 - **1: Hello**
 - **2: Database Description**
 - **3: Link State Request**
 - **4: Link State Update**
 - **5: Link State Acknowledgement**

OSPF und Multicast-Adressierung

Bedeutung IP-Adresse MAC-Adresse

AllSPFRouters	224.0.0.5	01-00-5e-00-00-05
AllDRRouters (*)	224.0.0.6	01-00-5e-00-00-06

(*): *DR* und *BackupDR*

Kein *Forwarding* von OSPF-Multicast-Paketen: IP TTL = 1

OSPF Standard Header (24 Bytes)

<- 32 Bits ->

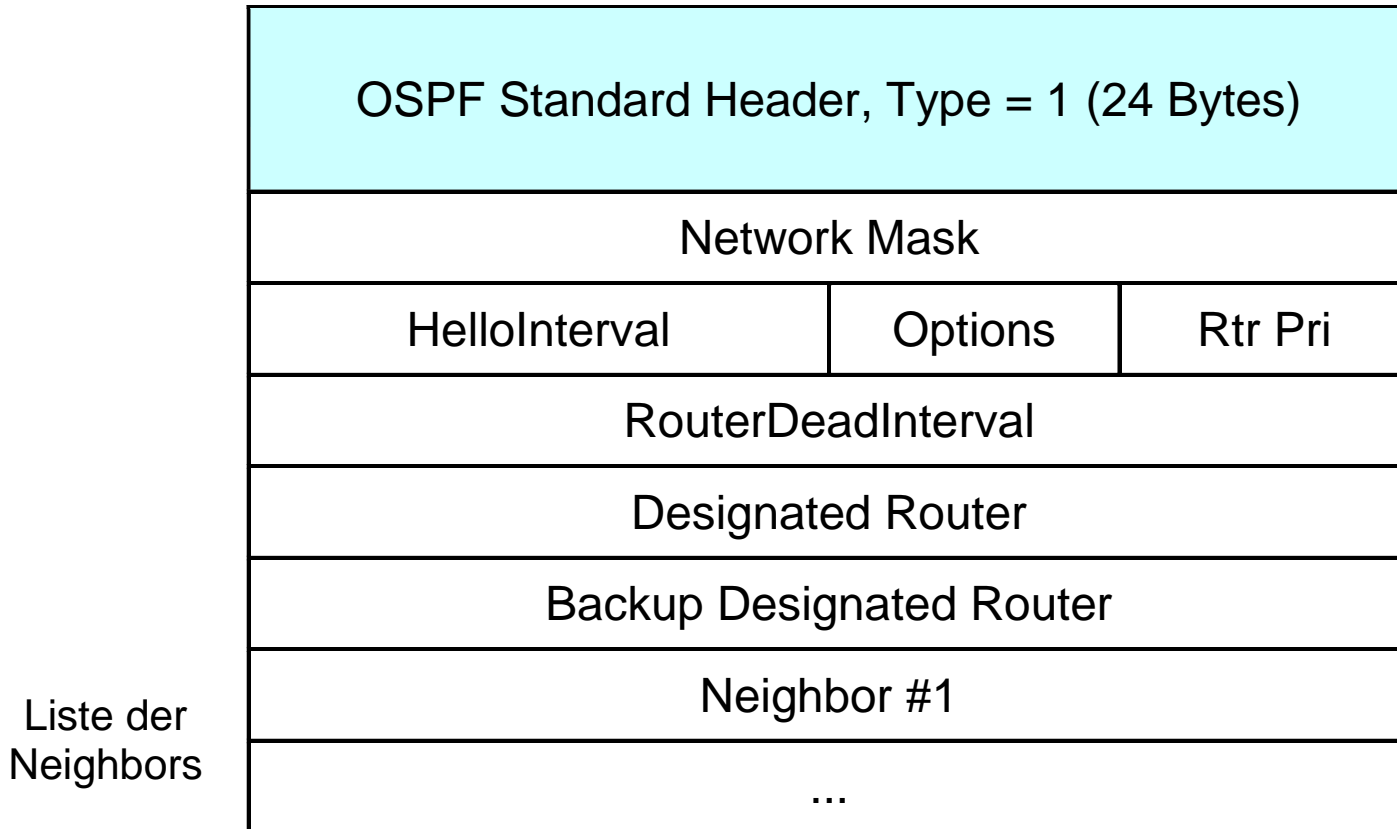
Version	Type	Packet Length
Router ID		
Area ID		
Checksum	Authentication Type	
Authentication Data		
Authentication Data		

Auf den Standard Header folgt ein vom *Type* abhängiger Abschnitt.

OSPF: Protokollzustände

- **Discovering Neighbors**
- **Electing the Designated Router**
- **Initializing Neighbors**
- **Propagating Link State Information**
- **Calculating Routing Tables**

Discovering Neighbors - OSPF Hello Protocol



<- 32 Bits ->

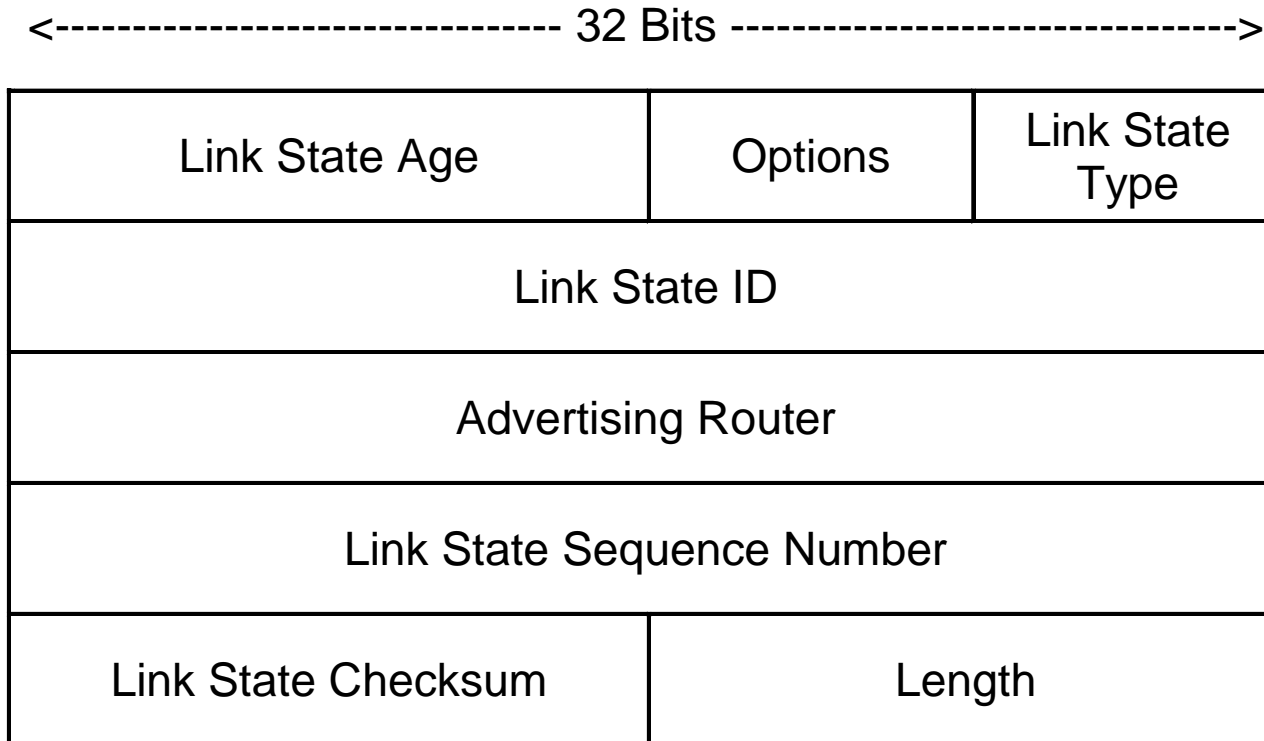
Electing the Designated Router

- Nach dem Discovery der *Neighbor-Router* Auswahl des *Designated Router* und des *Backup Designated Router* mit dem ***Hello Protocol***
- ***Router Priority***: Konfigurationsparameter zur Festlegung der Priorität beim Auswahlverfahren

Establishing Adjacencies - Database Exchange

- Austausch von *LSA* nur zwischen *adjacent* Routern
- **Adjacencies:**
 - zwischen durch *Point-to-Point*-Netze oder *Virtual Links* verbundene Router
 - *Multi-Access Networks*: zu *DR* und *BackupDR*
- **Database Exchange:** Synchronisation der Kopien der Topologiedatenbank
 - **Master/Slave**-Beziehung: Master beginnt Übertragung
 - 1. Übertragung von sog. **LSA-Headern**
 - 2. **Link State Request Packets**: zur Anforderung von aktuelleren *LSAs*

Link State Advertisement Header (20 Bytes)



LSA-Header - Felder

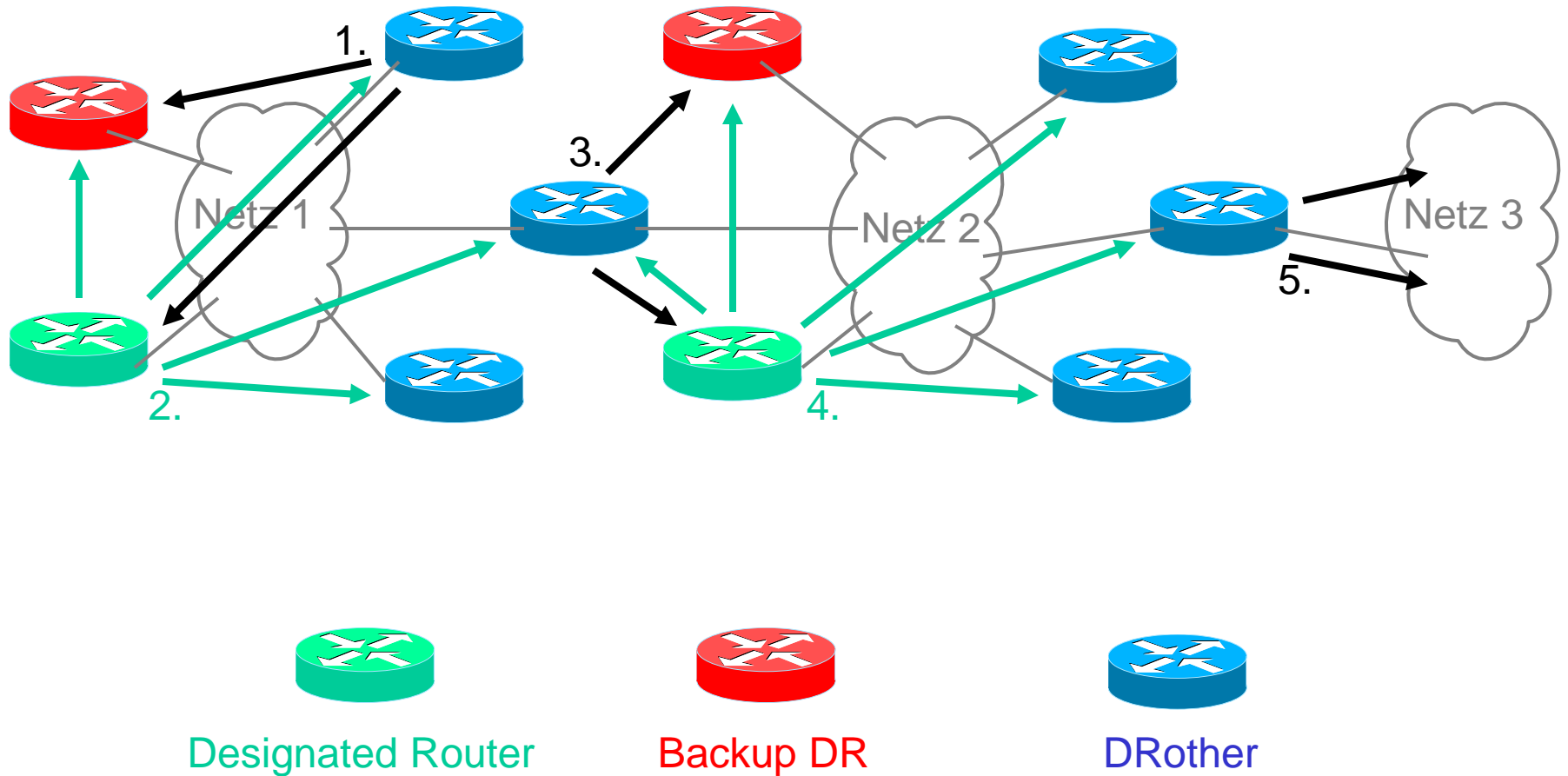
Link State Age	in Sekunden, max. 60 Minuten
Options	optionale Eigenschaften
Link State Type	5 Typen
Link State ID	abhängig vom Typ
Advertising Router	Router ID des Ursprungs des LSA
Link State Sequence Number	vorzeichenbehaftet, je höher desto aktueller
Link State Checksum	Prüfsumme ohne Age-Field
Length	Länge des LSA ohne Age-Field

Eindeutige Identifizierung eines LSA durch **Type**, **ID** und **Advertising Router**.

Link State Propagation

- **Link State Update Packets:** Übertragung von *LSA* zwischen *Adjacent Routern*
 - Antwort auf ein **Link State Request Packet** während eines Datenbanktauschs
 - Event zur Anzeige einer Topologieänderung
- **5 Typen von LSA** (vgl. frühere Folie)
- **Flooding:** Verbreitung von *Link State Update Packets* in einer *Area*
- **Link State Acknowledgement Packet:** Empfangsbestätigung

Flooding Procedure



Berechnung der Routing-Tabelle

- Verwaltung einer **identischen Topologiedatenbank** in jedem Router
- Ermittlung der Routing-Tabelle aus dieser Topologiedatenbank
- **Link State Age-Feld** in jedem LSA
- Architekturkonstante **MaxAge**: 1 Stunde
- keine Berücksichtigung MaxAge-alter Einträge für die Berechnung der Routing-Tabelle
- **Reflooding** eines MaxAge-alten Advertisements
- Neuberechnung der Routing-Tabelle bei Empfang neuer LSAs

Themenübersicht: OSPF

- OSPF-RFCs
- OSPF-Features
- OSPF-Begriffe
- OSPF-Protokoll
- OSPF-Konfigurationsparameter

OSPF: Konfigurationsparameter - 1

(typische Werte)

- **Global parameters:**
 - Router ID
 - RFC1583Compatibility
(veraltete Spezifikation von OSPF Version 2)
- **Area parameters:**
 - Area ID
 - List of address ranges
 - ExternalRoutingCapability
 - StubDefaultCost
- **Router interface parameters:**
 - IP interface address
 - IP interface mask
 - Area ID
 - Interface output cost
 - RxmtInterval (5 s)
 - InfTransDelay (1 s)
 - Router Priority
 - HelloInterval (10 s)
 - RouterDeadInterval (40 s)
 - AuType
 - Authentication key

OSPF: Konfigurationsparameter - 2

- **Virtual link parameters**
- **NBMA network parameters**
- **Point-to-Multipoint network parameters**
- **Host route parameters:**
 - Host IP address
 - Cost of link to host
 - Area ID