
IGP, EGP und BGP

Anknüpfung an Arbeitsblätter 14 und 15

In den letzten beiden Arbeitsblättern haben wir zwei dynamische Routing-Protokolle kennengelernt:

- **Arbeitsblatt 14: RIP** — Distanzvektor-Protokoll, einfach, aber begrenzt (max. 15 Hops, langsame Konvergenz).
- **Arbeitsblatt 15: OSPF** — Link-State-Protokoll, schnell, skalierbar, mit Dijkstra-Algorithmus.

Beide Protokolle haben aber etwas Wichtiges gemeinsam: Sie funktionieren nur innerhalb eines einzigen Unternehmensnetzwerks. Stell dir vor, du willst eine Webseite in den USA aufrufen — wie findet dein Router den Weg dorthin? Weder RIP noch OSPF werden im weltweiten Internet eingesetzt. Dafür braucht es eine andere Klasse von Protokollen.

In diesem Arbeitsblatt lernen wir die Hierarchie der Routing-Protokolle kennen — IGP und EGP — und schauen uns das wichtigste EGP an: BGP, das Protokoll, das das Internet zusammenhält.

Lernziel

Du sollst am Ende dieses Arbeitsblatts erklären können, was Autonome Systeme sind, warum man zwischen IGP und EGP unterscheidet, wo RIP und OSPF in diese Hierarchie passen, und welche Rolle BGP im Internet spielt. Außerdem sollst du eine einfache BGP-Konfiguration lesen und nachbauen können.

Autonome Systeme (AS)

Was ist ein Autonomes System?

Das Internet besteht aus zehntausenden voneinander unabhängigen Netzwerken. Jedes größere Unternehmen, jeder Internet-Provider (ISP), jede Universität betreibt ihr eigenes Netz. Damit man diese Netze sauber trennen kann, gibt es das Konzept des Autonomen Systems.

Ein **Autonomes System (AS)** ist eine Gruppe von IP-Netzwerken unter einer einheitlichen administrativen Kontrolle, die eine gemeinsame Routing-Strategie verfolgen. Jedes AS hat eine eindeutige **AS-Nummer (ASN)**, vergeben durch die IANA bzw. regionale Registries wie RIPE NCC.

- 16-Bit-ASN: 1 – 65535 (klassischer Bereich, z.B. 1, 65000)
- 32-Bit-ASN: bis 4.294.967.295 (neuere Erweiterung)
- Private ASN: 64512 – 65534 (für interne Tests, vergleichbar mit 192.168.x.x)

Bekannte Beispiele:

- AS3320 — Deutsche Telekom
- AS6805 — Telefónica Germany
- AS15169 — Google
- AS32934 — Meta (Facebook)
- AS6661 — POST Luxembourg

Analogie

Stell dir das Internet wie ein Land mit vielen Städten vor. Innerhalb einer Stadt (= AS) findest du den Weg mit einem Stadtplan (= IGP wie OSPF oder RIP). Aber zwischen Städten brauchst du eine Autobahnkarte (= EGP wie BGP), die dir sagt, welche Autobahn von Stadt zu Stadt führt — ohne dass du jede einzelne Straße in jeder fremden Stadt kennen musst.

IGP vs. EGP — die zwei Welten**Definition**

IGP (Interior Gateway Protocol): Routing-Protokolle, die *innerhalb* eines Autonomen Systems verwendet werden. Sie sind für das interne Routing zuständig.

EGP (Exterior Gateway Protocol): Routing-Protokolle, die *zwischen* verschiedenen Autonomen Systemen verwendet werden. Sie regeln das Routing zwischen Unternehmen, ISPs, Ländern.

Wichtig

„EGP“ ist heute meist nur noch ein Oberbegriff. Das alte konkrete Protokoll mit dem Namen EGP (RFC 904) ist seit den 1990ern abgelöst worden. Wenn man heute von einem EGP spricht, meint man praktisch immer BGP.

Wo passen RIP und OSPF hinein?

Beide Protokolle aus den Arbeitsblättern 14 und 15 sind IGPs — sie funktionieren nur innerhalb eines Autonomen Systems:

Protokoll	Typ	Einsatz	Kategorie
RIP	Distanzvektor	Kleine interne Netze	IGP
OSPF	Link-State	Mittlere bis große interne Netze	IGP
EIGRP	Hybrid (Cisco)	Cisco-interne Netze	IGP
IS-IS	Link-State	ISP-Backbones (intern)	IGP
BGP	Path-Vector	Zwischen Autonomen Systemen	EGP

Merksatz:

- Innerhalb deines AS (z.B. Schulnetz, Firmennetz) → IGP (RIP, OSPF, EIGRP)
- Zwischen AS (z.B. Schule → Internet-Provider → Google) → EGP (BGP)

Wichtige Unterschiede zwischen IGP und EGP

Merkmal	IGP (RIP, OSPF)	EGP (BGP)
Skalierung	Hunderte bis Tausende Routen	Über 1 Million Routen (Internet)
Metrik	Hops bzw. Kosten	Path-Attribute (AS-Path, Local Pref, MED, ...)
Ziel	Schnellste Route finden	Politische/wirtschaftliche Entscheidungen umsetzen
Konvergenz	Schnell (Sekunden)	Langsam (Minuten, dafür stabiler)
Vertrauen	Alle Router gehören zur selben Organisation	Fremde Netze, Vertragsbeziehungen nötig
Typische Updates	LSA / Routing-Tabelle	Prefix-Updates mit Attributen

BGP — Border Gateway Protocol

Was ist BGP?

BGP (Border Gateway Protocol) ist das **Routing-Protokoll des Internets**. Es wird zwischen Autonomen Systemen eingesetzt und ist das einzige EGP, das heute praktisch verwendet wird. Die aktuelle Version ist BGP-4, standardisiert in RFC 4271 (2006).

Hauptmerkmale:

- **Path-Vector-Protokoll:** Statt nur Distanz oder Kosten tauscht BGP komplette Pfade aus (Liste der durchlaufenen AS-Nummern — der „AS-Path“).
- **TCP-basiert:** BGP läuft auf TCP-Port 179, anders als OSPF (eigenes Protokoll) oder RIP (UDP 520).
- **Inkrementelle Updates:** Nach dem ersten Tabellenaustausch werden nur noch Änderungen verschickt.
- **Policy-basiertes Routing:** Administratoren können entscheiden, welche Routen sie annehmen, ankündigen oder bevorzugen — oft aus wirtschaftlichen Gründen.
- **Sehr skalierbar:** Trägt die komplette Internet-Routing-Tabelle (Stand 2025: ca. 1 Million IPv4-Prefixe).

eBGP und iBGP

BGP wird in zwei Varianten eingesetzt, je nachdem ob es Peers im gleichen oder in verschiedenen AS verbindet:

eBGP (external BGP): Zwischen Routern in *verschiedenen* AS. Das ist der „klassische“ BGP-Einsatz an der Grenze zum Internet.

iBGP (internal BGP): Zwischen Routern im *gleichen* AS — nötig, wenn ein AS mehrere Grenz-Router hat, die ihre BGP-Informationen untereinander austauschen müssen.

Wichtig zu verstehen

iBGP ersetzt nicht das IGP! Auch bei iBGP läuft im AS weiterhin ein IGP wie OSPF oder IS-IS für das interne Routing. iBGP überträgt nur die externen BGP-Routen weiter, damit alle Grenz-Router dieselbe Sicht auf die Außenwelt haben.

BGP-Pfadattribute — wie BGP entscheidet

Während RIP nur Hops zählt und OSPF nur Kosten summiert, kann BGP nach vielen verschiedenen Kriterien entscheiden. Die wichtigsten Attribute:

- **AS-Path:** Liste der AS-Nummern, die ein Paket durchläuft. Kürzerer Path = besser. Verhindert auch Routing-Loops!
- **Next-Hop:** IP-Adresse des nächsten Routers.
- **Local Preference:** Innerhalb eines AS — welche ausgehende Route bevorzugt wird (höher = besser).
- **MED (Multi-Exit Discriminator):** Vorschlag an Nachbar-AS, welcher Eingang bevorzugt werden soll (niedriger = besser).
- **Origin:** Woher die Route ursprünglich stammt (IGP, EGP, Incomplete).

- **Communities:** Tags, mit denen man Routen markieren und Policies bauen kann.

Anders als bei RIP und OSPF

BGP wählt nicht zwingend den „technisch schnellsten“ Pfad! Ein ISP kann eine billigere Leitung bevorzugen, auch wenn sie langsamer ist. BGP ist ein politisch-wirtschaftliches Protokoll, kein rein technisches.

Grundkonfiguration (Beispiel Cisco IOS)

Szenario: Zwei Router in zwei verschiedenen AS sind direkt verbunden (eBGP-Beispiel).

Netzplan:

- R1 in AS 65001, Loopback 1.1.1.1/32, ankündigt 192.168.10.0/24
- R2 in AS 65002, Loopback 2.2.2.2/32, ankündigt 192.168.20.0/24
- Verbindung: 10.0.0.0/30 (R1: .1, R2: .2)

R1 Konfiguration (AS 65001):

```
R1> enable
R1# configure terminal
R1(config)# router bgp 65001
R1(config-router)# bgp router-id 1.1.1.1
R1(config-router)# neighbor 10.0.0.2 remote-as 65002
R1(config-router)# network 192.168.10.0 mask 255.255.255.0
R1(config-router)# exit
```

R2 Konfiguration (AS 65002):

```
R2> enable
R2# configure terminal
R2(config)# router bgp 65002
R2(config-router)# bgp router-id 2.2.2.2
R2(config-router)# neighbor 10.0.0.1 remote-as 65001
R2(config-router)# network 192.168.20.0 mask 255.255.255.0
R2(config-router)# exit
```

Erklärung der wichtigen Befehle

router bgp 65001 startet den BGP-Prozess mit der lokalen AS-Nummer. Anders als bei OSPF (Process-ID, lokal) ist diese AS-Nummer global wichtig und muss mit der vom Provider zugewiesenen Nummer übereinstimmen.

neighbor 10.0.0.2 remote-as 65002 definiert einen Nachbarn mit dessen IP und AS. Da die AS-Nummern verschieden sind (65001 vs. 65002), ist das automatisch eine **eBGP-Beziehung**. Wären beide 65001, wäre es iBGP.

network 192.168.10.0 mask 255.255.255.0 kündigt dieses Netz an die BGP-Nachbarn an. Achtung: Anders als bei RIP/OSPF aktiviert dieser Befehl BGP *nicht* auf Interfaces! Er sagt nur: „Diese Route soll in BGP-Updates auftauchen.“ Das Netz muss bereits in der Routing-Tabelle vorhanden sein.

Überprüfung

```
show ip bgp summary
show ip bgp
show ip bgp neighbors
show ip route bgp
```

Beispielausgabe von show ip bgp summary:

```
Neighbor    V    AS  MsgRcvd  MsgSent  TblVer  InQ  OutQ  Up/Down  State/PfxRcd
10.0.0.2    4 65002      12      12      3     0     0  00:08:23      1
```

Bei BGP-Routen steht **B** als Präfix in der Routing-Tabelle, z.B. B 192.168.20.0/24 [20/0] via 10.0.0.2. 20 ist die Administrative Distance von eBGP (niedriger als OSPF mit 110!).

Administrative Distance — Wer gewinnt?

Wenn auf einem Router mehrere Protokolle gleichzeitig laufen, entscheidet die Administrative Distance, welche Route in die Routing-Tabelle kommt. Niedriger = vertrauenswürdiger:

Quelle	Administrative Distance	Aus Arbeitsblatt
Direkt verbundenes Interface	0	—
Statische Route	1	AB14
eBGP	20	AB16 (dieses)
EIGRP intern	90	—
IGRP	100	—
OSPF	110	AB15
IS-IS	115	—
RIP	120	AB14
iBGP	200	AB16 (dieses)

Interessant

eBGP hat AD 20 und damit Vorrang vor OSPF und RIP — weil externe Routen aus dem Internet meist wichtiger sind. iBGP hat aber AD 200, also die schlechteste! Grund: iBGP-Routen sollen nur dann verwendet werden, wenn es keinen besseren internen Weg gibt.

BGP in der echten Welt — Wie das Internet funktioniert

Wenn du von zuhause aus eine Webseite in den USA aufrufst, läuft typischerweise Folgendes ab:

- Dein Router schickt Pakete an deinen ISP (z.B. POST Luxembourg, AS6661).
- Innerhalb des ISP läuft ein IGP (typischerweise OSPF oder IS-IS), das die Pakete zum Border-Router bringt.
- Am Border-Router des ISP kommt BGP ins Spiel: er kennt durch BGP-Updates, welcher Nachbar-ISP zum Ziel-Prefix führt.
- Über mehrere ASN-Sprünge (z.B. POST → Tier-1 in Europa → Transatlantik → US-Provider → Google) erreicht das Paket sein Ziel.
- Auf dem Rückweg läuft alles genauso — möglicherweise sogar über einen anderen Pfad!

Größenordnung

Ein typischer Border-Router im Internet hält heute über 1 Million IPv4-Prefixe und etwa 200.000 IPv6-Prefixe in seiner BGP-Tabelle. Deshalb braucht BGP viel CPU und RAM — ein heimischer Router könnte das gar nicht stemmen.

Aufgaben

Aufgabe 1 — Theoriefragen

- Erkläre in eigenen Worten den Unterschied zwischen IGP und EGP. Nenne je zwei Beispiele.
- Warum sind RIP (AB14) und OSPF (AB15) IGP's und nicht EGP's? Begründe.
- Was ist ein Autonomes System? Suche im Internet die ASN deines bevorzugten Internet-Providers heraus.
- Erkläre den Unterschied zwischen eBGP und iBGP. Warum gibt es überhaupt iBGP, wenn das AS doch schon ein IGP hat?
- Vergleiche die Administrative Distance von eBGP (20), OSPF (110) und RIP (120). Was bedeutet das praktisch, wenn alle drei Protokolle gleichzeitig dieselbe Route lernen?
- Warum kann man BGP als „politisches“ Routing-Protokoll bezeichnen?

Aufgabe 2 — Praktische Übung: BGP-Grundkonfiguration

Ziel: Du baust eine einfache 2-AS-Topologie auf und konfigurierst eBGP. Du sollst die Funktionsweise live in Cisco Packet Tracer erleben.

Teil A — Topologie aufbauen

Erstelle in Packet Tracer folgende Topologie:

- Zwei Router R1 und R2, direkt über serielle oder FastEthernet-Verbindung gekoppelt.
- An jedem Router ein Switch und ein PC, sodass jedes AS ein „LAN“ hat.
- R1 simuliert AS 65001 (z.B. „Lycée“), R2 simuliert AS 65002 (z.B. „Provider“).

Teil B — IP-Adressen vergeben

- R1 LAN: 192.168.10.0/24 — PC1: 192.168.10.10, R1-Fa0/0: 192.168.10.1
- R2 LAN: 192.168.20.0/24 — PC2: 192.168.20.10, R2-Fa0/0: 192.168.20.1
- Verbindung R1↔R2: 10.0.0.0/30 — R1: 10.0.0.1, R2: 10.0.0.2
- Optional: Loopback Interfaces als Router-IDs (Lo0 auf R1: 1.1.1.1/32, auf R2: 2.2.2.2/32)

Teil C — BGP konfigurieren

Konfiguriere BGP auf beiden Routern entsprechend den Beispielen oben:

- Auf R1: AS 65001, Nachbar 10.0.0.2 in AS 65002, kündige 192.168.10.0/24 an.
- Auf R2: AS 65002, Nachbar 10.0.0.1 in AS 65001, kündige 192.168.20.0/24 an.

Teil D — Tests durchführen

- Prüfe auf beiden Routern: `show ip bgp summary` — der Status muss **Established** sein und in der letzten Spalte muss eine 1 (= 1 empfangener Prefix) stehen.
- Prüfe `show ip route bgp` — du musst das fremde Netz mit B-Präfix sehen.
- Pinge von PC1 zu PC2 — der Ping muss funktionieren.
- Prüfe `show ip bgp` — in der Spalte **Path** siehst du die AS-Nummer des Nachbarn. Notiere, was dort steht.

Teil E — Vergleich mit OSPF (Bonusaufgabe)

- Lösche die BGP-Konfiguration und konfiguriere stattdessen OSPF wie in Arbeitsblatt 15.
- Vergleiche die Outputs von `show ip route` in beiden Fällen. Was ist der Hauptunterschied im Routing-Eintrag (Präfix, Distanz, Metrik)?
- Diskutiere: Welches Protokoll wäre für diese kleine Topologie sinnvoller — BGP oder OSPF? Begründe.

Aufgabe 3 — IGP & EGP Packet-Tracer-Übung

Auf folgender Internetseite wird eine fertige Packet-Tracer-Übung vorgegeben, die genau die Eigenschaften von IGP- und EGP-Protokollen vergleicht:

<https://itexamanswers.net/3-2-2-packet-tracer-characteristics-of-igp-and-egp-routing-protocols-answers.html>

- Lade die .pkt-Datei herunter und öffne sie in Packet Tracer.
- Bearbeite alle 4 Teilaufgaben gewissenhaft.
- Identifiziere in der Topologie, welcher Bereich mit welchem Routing-Protokoll arbeitet (RIP, OSPF, BGP).
- Notiere, an welchen Stellen ein Wechsel zwischen IGP und EGP stattfindet.
- Lade deine Lösungen zu den 4 Aufgaben auf Moodle hoch.

Aufgabe 4 — Video & BGP nachbauen

Siehe dir folgendes Video an, das eine BGP-Konfiguration Schritt für Schritt erklärt:

https://www.youtube.com/watch?v=WvmfhFH9PIU&ab_channel=GurutechNetworkingTraining

- Baue das im Video gezeigte Netzwerk in Packet Tracer nach.
- Konfiguriere BGP entsprechend der Anleitung.
- Vergleiche die Konfiguration mit deiner aus Aufgabe 2 — was ist gleich, was ist anders?

Aufgabe 5 — Recherche zum echten Internet

Werde zum BGP-Detektiv:

- Öffne <https://bgp.he.net> und gib eine bekannte Webseite ein (z.B. google.com, post.lu).
- Finde die ASN heraus, zu der die Webseite gehört.
- Schau dir an, mit welchen Peers (Nachbar-AS) dieses AS verbunden ist.
- Notiere 3 interessante Erkenntnisse. Beispiel: Wie viele AS-Peers hat AS6661 (POST Luxembourg)?

Zusammenfassung

Was du jetzt kannst

Du verstehst die Hierarchie der Routing-Protokolle: IGP (wie RIP aus AB14 und OSPF aus AB15) sorgen für das Routing innerhalb eines Autonomen Systems, während EGP (praktisch nur noch BGP) das Routing zwischen den AS regeln und so das Internet zusammenhalten. Du kennst die Grundbegriffe Autonomes System, ASN, eBGP, iBGP und kannst BGP auf einem Cisco-Router grundlegend konfigurieren und überprüfen. Damit ist die Routing-Trilogie aus den Arbeitsblättern 14, 15 und 16 abgeschlossen.