

Routing

Einleitung

Computer und Kabel machen zwar physikalisch ein Netzwerk aus, funktionieren tut es dennoch noch nicht. Damit Daten von einem Rechner zum anderen übertragen werden können, ist es notwendig, dass jemand diesen Rechnern sagt, wo eigentlich die anderen Rechner in diesem Netzwerk zu finden sind. Dies geschieht durch Routing.

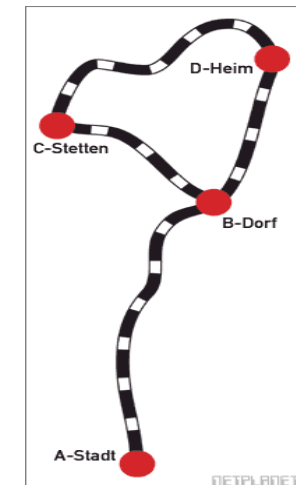
Was ist Routing?

Das Substantiv "Routing" bedeutet in der deutschen Sprache so viel wie "Reiseroute" oder "Routenplanung" und hat sich in der Netzwerksprache als "denglischer" Begriff durchgesetzt. Der Begriff umschreibt die Mechanismen, die notwendig sind, um in einem Netzwerk einheitliche Datenübertragungsrouten zu definieren, auf denen Daten am effizientesten übertragen werden können. (Wird Routing als Verb benötigt, wird übrigens von "routen" gesprochen.)

Routing dient in einem Netzwerk dazu, logische Übertragungswege zu definieren, auf denen Daten von einem Punkt zum anderen übertragen werden können. Ich will das an einem kleinen schematischen Beispiel darstellen: Rechts sehen Sie ein kleines Bahnnetz, das vier Städte miteinander verbindet. Die gesamten Gleisstücke zwischen den Städten sind miteinander physikalisch verbunden. (Es wäre auch relativ unpraktisch für eine Eisenbahn, wenn sie das nicht wären.)

Grundsätzlich sind die Planer von Zügen, die dieses kleine Gleisnetz benutzen sollen, bestrebt, Züge möglichst schnell von einem Punkt zum anderen fahren zu lassen, um das Streckennetz möglichst wenig zu belasten und die Züge effizient zu nutzen. Soll also beispielsweise ein Zug von A- Stadt nach D-Heim fahren, würde dieser Zug folgendermaßen fahren:

Von A-Stadt über B-Dorf nach D-Heim.



Der Zug könnte theoretisch auch über B-Dorf und C-Stetten fahren, dies würde jedoch die Fahrstrecke und damit auch die Fahrzeit verlängern, wäre also nicht effizient gegenüber der obigen Streckenführung. Gleichwohl könnte dieser Umweg aber als "Havariestrecke" vorgesehen sein, wenn beispielsweise das Gleisstück zwischen B-Dorf und D-Heim vorübergehend gesperrt würde. Die Planung von solchen Routen, also das Bilden von logischen Streckenführungen auf einem physikalischen Streckennetz, bezeichnet man als *Routing*.

Wir können mit unserem kleinen, fiktiven Bahnnetz noch einen Schritt weiter gehen und für jeden Standort eine Tabelle erstellen, aus der

ersichtlich ist, wie am besten alle anderen Standorte erreicht werden können. Für D-Heim würde das so aussehen:

Von D-Heim nach A-Stadt: Südliche Gleisstrecke über B-Dorf nach A-Stadt. Von D-Heim nach B-Dorf: Direkt über südliche Gleisstrecke nach B-Dorf.

Von D-Heim nach C-Stetten: Direkt über nördliche Gleisstrecke nach C-Stetten.

So eine Tabelle (die in ähnlicher Form, natürlich in viel größeren Maßstäben, tatsächlich von "echten" Eisenbahnen für Zugplanungen verwendet werden) ist eine klassische *Routing- Tabelle*. Wir werden später noch sehen, dass der Vergleich zwischen so einem Bahnnetz und dem Routing im Internet durchaus nicht hinkt.

Vom Prinzip her hat ein Bahnnetz sehr viel mit einem Computernetzwerk zu tun. Beide bestehen aus einem Streckennetz, das möglichst effizient genutzt werden muss, damit sich seine Vorteile möglichst schnell bezahlt machen. Ein Netzwerk allein bringt also erst einmal gar nichts, mindestens genauso wichtig wie die physikalische Infrastruktur ist die Logik der Datenübertragung. Sprich: Das beste Bahnnetz nützt nichts, wenn niemand weiß, wie die angeschlossenen Orte am effizientesten erreicht werden können.

Router und Routing in Computernetzwerken

In einem lokalen Computernetzwerk (LAN) werden Datenpakete innerhalb eines IP- Adressbereichs (Sub-Netzes), welcher durch IP-Adresse und Subnetzmaske festgelegt wird, heutzutage in der Regel durch Netzwerk-Switches weitergeleitet (OSI-Schicht 2). Erst wenn Datenpakete diesen Bereich verlassen müssen, weil sich ein Ziel-Rechner außerhalb des eigenen (Sub-)Netzes befindet, muss ein Router eingesetzt werden. Primäre Aufgabe eines Routers ist die Wahl der Route zum Zielnetz aus den verfügbaren Routen, die in einer **Routing-Tabelle** gespeichert sind. In diesem Zusammenhang stellen sich zwei Fragen:

1. Welche Informationen sind in der Routing-Tabelle gespeichert?
2. Wie wird eine Routing-Tabelle in einem Router erstellt?

Informationen in einer Routingtabelle

Grundsätzlich enthält eine Routingtabelle Angaben über das Ziel, den Weg zum Ziel und die Qualität des Weges. Das Zielnetz bzw. der IP-Adressbereich des Zielnetzes wird mit den Angaben Netz-ID und Subnetzmaske festgelegt. Der Weg wird entweder über die Angabe der IP-Adresse der nächsten Netzwerkstation (next hop, Gateway) oder über Angabe des Interfaces, über welches das Datenpaket weitergeleitet wird bestimmt. Die Qualität des Weges wird über einen numerischen Wert, der auch als Metrik bezeichnet wird, bestimmt. Eine Route mit einer kleineren Metrik wird bevorzugt gewählt. Manchmal enthält die Routingtabelle zusätzlich noch eine Angabe über das Zustandekommen eines Routeneintrages.

Routing Table for Router				
Type	Network	Port	Next Hop IP	Metric
C	10.1.1.0/24	FastEthernet0/0	---	0/0
C	23.45.0.0/16	FastEthernet0/1	---	0/0

Abbildung 1: Routing-Tabelle mit zwei direkt verbundenen Zielnetzen

Obige Routingtabelle stammt von einem Router, welcher mit zwei Netzwerken direkt verbunden ist. Die Angabe des Zielnetzes erfolgt hier in CIDR-Schreibweise, die Subnetzmaske wurde als Suffix (Anzahl der Netbits) an die IP-Adresse des Zielnetzes angehängt. Für die Weiterleitung wurde in der Spalte *Port* der Name der Schnittstelle angegeben, über die das Zielnetz erreicht wird. Alternativ kann bei Netzwerken mit mehreren Routern für die Weiterleitung die IP-Adresse des *next hop*, also des nächsten Routers angegeben werden. In der Spalte *Type* ist als Eintrag der Buchstabe C zu finden. Das C steht für *connected*, also für direkt angeschlossene Netzwerke. Hier sehen Sie das Netzwerk, von dessen Router obige Routingtabelle stammt:

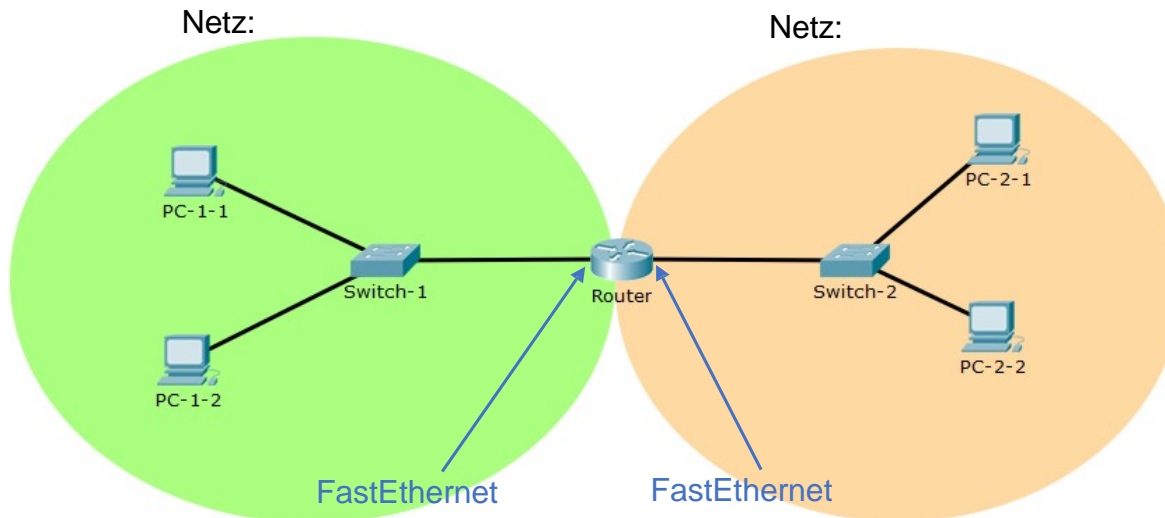


Abbildung 2: Router mit zwei direkt verbundenen Netzen

Wie wird eine Routingtabelle erstellt

Die Einträge in einer Routingtabelle kommen auf unterschiedliche Arten zustande:

direkt angeschlossene Netze

Ein Router trägt die an seinen Schnittstellen direkt angeschlossenen Netze selbst in die Routingtabelle ein.

statische Einträge

Statische Routeneinträge werden manuell vom zuständigen Netzwerkbetreuer vorgenommen. Statische Routeneinträge bieten sich für Netze mit wenigen Routen an, welche sich in der Regel nicht ändern. Bei größeren bzw. sich häufig ändernden Netzen enthält eine Routingtabelle schnell eine so große Anzahl von Einträgen, dass der administrative Aufwand der manuellen Pflege nicht mehr leistbar ist.

dynamische Einträge

Dynamische Einträge sind das Ergebnis von Routenberechnungen, welche der Router selbst durchführt, wenn die Anwendung dynamischer Routingprotokolle auf dem Router konfiguriert und aktiviert wurde. Dazu tauscht ein Router Informationen mit benachbarten Routern aus. Diese Routenberechnungen bieten sich für größere, komplexere sowie für Netze die häufig Änderungen unterworfen sind an.

Eine Routingtabelle enthält meist eine Mischung von Einträgen, die auf verschiedene Arten zustande gekommen sind. So finden sich immer Einträge direkt angeschlossener Netze und dann entweder statische oder/und dynamische Einträge. Es ist sogar denkbar, dass die Routingtabelle eines Routers Einträge verschiedener Routing-Protokolle enthält.

Dynamisches Routen mit Routing-Protokollen

Um fundamentale Missverständnisse zu vermeiden: Routing-Protokolle übernehmen nicht das Routing selbst, sondern übernehmen lediglich den Part, der ansonsten manuell erledigt werden müsste: Den Aufbau von Routing-Tabellen.

Für die Berechnung der Routen und für den Austausch von Routinginformationen werden spezielle Algorithmen eingesetzt. Diese werden in den entsprechenden Routingprotokollen beschrieben. In die Berechnung können folgende Kriterien eingehen:

- Länge des Weges
- Kosten der Verbindung
- Bandbreite
- Auslastung
- Wegverzögerung.

Die Bewertungen der Kriterien werden als Metriken bezeichnet.

Die Ergebnisse der Berechnungen der Routen führen dann zu einer Anpassung der Routing- Tabelle. Auf der Basis der Metriken lassen sich zwei klassische Routing Verfahren ableiten.

Distance Vector Routing

Das Distance Vector Routing basiert auf dem Distance Vector Algorithmus. Hier werden grundsätzlich alle Router des Netzes unabhängig von ihrer Position im Gesamtnetz als gleichwertig und gleichberechtigt betrachtet. Sie tauschen in kurzen Zeitabständen untereinander Informationen aus, die ihre aktuellen Pfade sowie die Kosten (Metrik) eines Kommunikationsweges betreffen. Diese Kosten basieren auf der Annahme, dass ein Zusammenhang besteht zwischen der relativen Entfernung zu einem Ziel und den Kosten. Die relative Entfernung wird angegeben in der Anzahl der Zwischenstationen bzw. der Sprünge, die eine Nachricht über Zwischenstationen durchführen muss. Die Anzahl der Sprünge werden als Hops angegeben.

Damit es nicht zu möglichen Schleifenbildungen in einer komplexen Struktur kommt, ist von vornherein die Anzahl der zulässigen Hops auf 16 begrenzt. Das Protokoll ist relativ einfach zu implementieren, benötigt jedoch eine gewisse Netzkapazität für den Austausch der Informationen.

Ein weiterer gefürchteter Nachteil sind Inkonsistenzen in Routing-Tabellen, wenn bei teilweisen Netzwerkstörungen die Routing-Tabellen einzelner Router durch andere Router überschrieben werden, welche die Störungen noch nicht erkannt haben. Durch einige Erweiterungen (*Reverse Poison*, *Split Horizon*, *Hold-down*) werden die größten Nachteile zwar teilweise gelindert, dennoch ist der Distance-Vector-Algorithmus trotz seiner anfänglichen Einfachheit mit Vorsicht zu genießen, vor allem in großen, weit verzweigten und relativ störungsanfälligen Netzwerken.

Typische Vertreter wie das klassische RIP (Routing Information Protocol) und das firmenspezifische IGRP (Interior Gateway Routing Protocol) der Firma CISCO basieren auf Implementierungen des Distance Vector Algorithmus.

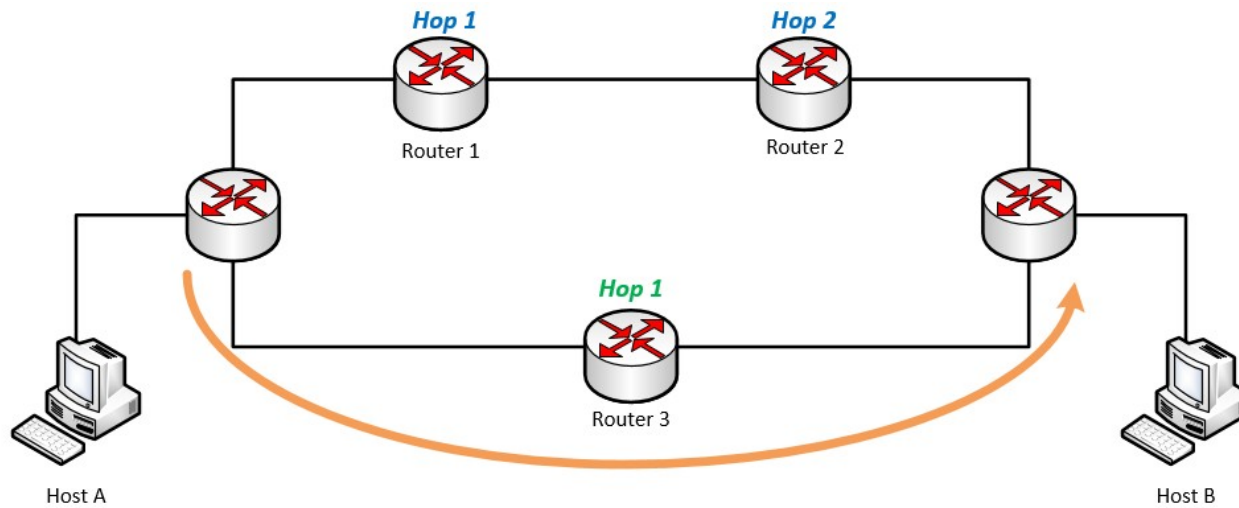


Abbildung 3: Durch Distance Vector Routing ermittelter Weg

Link State Routing

Das Link State Routing basiert auf dem Link State Algorithmus und verwendet für die Bewertung einer Route nicht die Anzahl der Hops sondern die Bandbreite und evtl. weitere Kriterien. Auch beim Link State Routing werden zwischen den Routern Informationen ausgetauscht. Die Informationen enthalten Angaben darüber, ob angeschlossene Verbindungswege betriebsbereit sind und wie die bisher erkannte Struktur des Netzes aussieht. Dieser Informationsaustausch geschieht jedoch in erheblich längeren Zeitintervallen. Werden zwischen den Zeitintervallen von einem Router Änderungen z. B. bezüglich des Status benachbarter Router erkannt, so werden diese umgehend an alle Router gemeldet. Aus allen verfügbaren Informationen generiert jeder Router ein komplettes Netzabbild. Für die Berechnung des Netzabbildes müssen die Router über eine höhere lokale Rechenleistung verfügen. Dafür ist das Nachrichtenaufkommen im Netz geringer, was wiederum die Bandbreite des Netzes weniger stark belastet.

Typische Vertreter sind das OSPF-Protokoll (Open Shortest Path First) und das Intermediate- System-to-Intermediate-System-Protokoll (IS-IS).

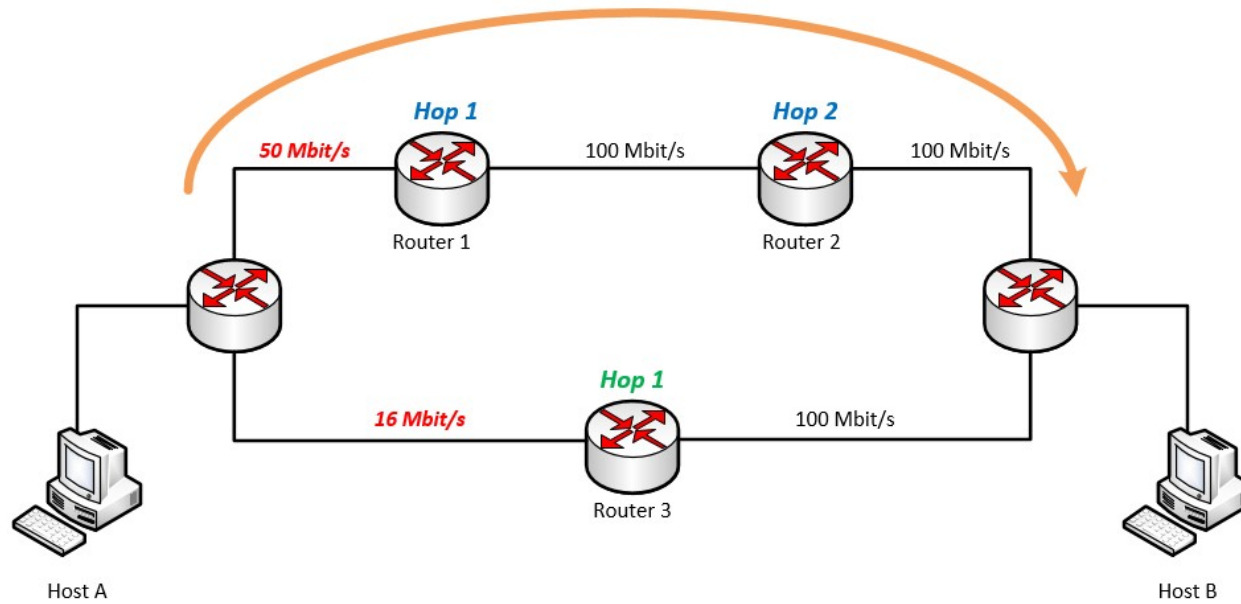


Abbildung 4: Durch Link State Routing ermittelter Weg

Die folgende Grafik ordnet die gängigsten Routingprotokolle ein:

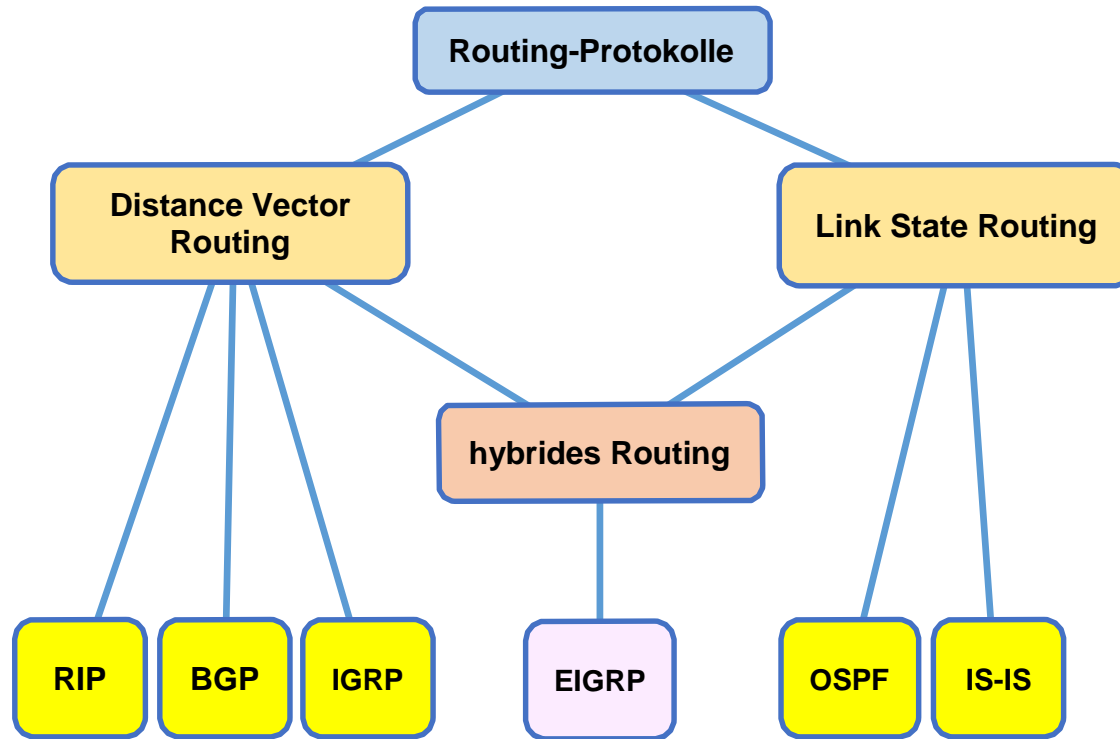


Abbildung 5: Gängige Routingprotokolle

Feinjustage Metrik

Die Metrik ist eine wichtige "Regelschraube" im Routing und insbesondere in Routing-Tabellen, die automatisch erstellt werden, da mit der Metrik eine Wertigkeit ins Spiel gebracht werden kann. Ein Netzwerkziel kann so beispielsweise mehrfach in einer Routing-Tabelle auftauchen und mit einem Wert für die Metrik kann die Bevorzugung angegeben werden. Hat eine bestimmte Route für ein Netzwerkziel eine niedrigere Metrik, so wird diese gegenüber einer Route für dasselbe Netzwerkziel bevorzugt.

Die Metrik kommt vor allem dann zum Zuge, wenn in einem Routing-Szenario auch Alternativrouten berücksichtigt werden müssen, die beispielsweise dann nahtlos zum Einsatz kommen sollen, wenn die bevorzugte Route ausfällt, zum Beispiel durch eine Leitungsunterbrechung. Solche Ausfälle können zwar auch durch Routing-Protokolle analysiert und in Routing-Tabellen berücksichtigt werden, alternative "Havarierouten" sind im Ernstfall aber erheblich schneller aktiv, praktisch innerhalb weniger Sekunden.

Verschiedene Routing-Protokolle

Routing-Protokolle unterscheiden sich nicht nur durch den verwendeten Routing-Algorithmus, sondern auch für ihren primären Verwendungszweck. Grundsätzlich wird beim Routing zwischen zwei Zielgruppen unterschieden: Den Netzwerken innerhalb eines lokalen Netzwerks oder autonomen Systemen und den autonomen Systemen im Internet untereinander. Alle Routing-Protokolle lassen sich in jeweils eine solche Gruppe einordnen; der Gruppe der Interior Gateway Protocols und der Gruppe der Exterior Gateway Protocols.

Interior Gateway Protocols (IGP)

Innerhalb eines lokalen Netzwerks oder einem autonomen System sind vor allem Routing-Protokolle gefragt, die auf die unterschiedlichsten Netzwerkstrukturen vorbereitet sind. In solchen Netzwerken finden sich häufig unterschiedliche Übertragungsgeschwindigkeiten; lokale Netzwerke mit sehr hohen Bandbreiten, DSL-Zugänge mit mittelmäßigen und vielleicht ISDN-Standleitungen mit sehr geringen Bandbreiten. Zudem arbeiten vielleicht nicht alle Segmente so eines Netzwerkes wirklich hundertprozentig zuverlässig und genau solchen "Schmutz" muss ein IGP-Protokoll auffangen können, ohne dass das restliche Netzwerk unkontrollierbar wird.

Geläufige IGP-Vertreter sind beispielsweise das *Routing Information Protocol (RIP)* und das komplexe *Open Shortest Path First (OSPF)*:

- *Routing Information Protocol (RIP)*

RIP arbeitet mit dem Distance-Vector-Algorithmus und eignet sich für kleinere Netze, in denen sich die Netzwerkstruktur nur selten ändert. Da RIP sehr gesprächig sein kann, gibt es bei häufigen Strukturänderungen regelmäßig sehr viele Routing-Änderungen, die die Router ständig versuchen, miteinander auszutauschen. Da das Routing sich ständig ändern und nicht konsistent bleibt, spricht man hier von "flappenden Routen".

- *Open Shortest Path First (OSPF)*

OSPF arbeitet mit dem Link-State-Algorithmus und eignet sich auch für größere Netze, in denen sich die Netzwerkstruktur häufiger ändert. Nachteilig äußert sich bei OSPF der erheblich komplexere Aufbau des Protokolls und der nicht zu unterschätzende Konfigurationsaufwand.

Exterior Gateway Protocols (EGP)

Für die Steuerung des Routing im Internet, also zwischen autonomen Systemen, gelten zwar letztendlich die gleichen technischen Grundlagen des Routing, jedoch auf einer völlig anderen Ebene, da die Regel gilt: Je kleiner die Routing-Tabelle, desto besser. Dies wird deutlich, wenn Sie sich vor Augen halten, dass im Internet über 145.000 Routen (Stand: September 2004) propagiert werden müssen, für jedes autonome System ein einzelner Routing-Eintrag. Tendenz steigend.

Allerdings sind Routing-Änderungen auf dieser Ebene eher überschaubar. Da buchstäblich nicht jede defekte Netzwerkverbindung in einem autonomen System den Datenverkehr des Internet sonderlich stört, beschränkt sich das Routing im Internet auf das wirklich Grundsätzliche, dementsprechend finden hier vergleichbar wenig Änderungen weltweit statt.

- Border Gateway Protocol (BGP)

BGP4 (die Zahl 4 steht hierbei für die Version 4) arbeitet mit dem Distance-Vector- Algorithmus und eignet sich für sehr große Netze mit autonomen Systemen (eben unter anderem auch für das Internet), auf deren Ebene nur geringe Änderungen stattfinden, sowohl technisch, als auch administrativ.

Quellenangaben:

- <http://www.netplanet.org/aufbau/routing.shtml>
- Brandt, F., Otten, L., Net IT, Verlag Handwerk und Technik, 2009, S.136ff