

Practical IPv6

**Ein IPv6 Tutorial mit
Cisco 2600 Routern**

HTA Horw

Rainer Meier
Käserei
6288 Schongau
skybeam@skybeam.ch

© by Rainer Meier

Klasse: 6
2002 - 2006

2005-09-23

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis	2
2. Abbildungsverzeichnis	4
3. Tabellenverzeichnis	4
4. Quellen	4
5. Links	4
6. Einführung	5
6.1. Voraussetzungen	5
6.2. Material	5
7. IPv6 allgemein.....	6
7.1. Adressierung.....	6
7.1.1. Localhost	7
7.1.2. Nicht spezifiziert (unspecified)	7
7.1.3. Link-Lokale Adressen.....	7
7.1.4. Site-Lokale Adressen	7
7.1.5. Globale Adressen (global aggregatable).....	7
7.1.6. Anycast Adressen	7
7.1.7. Automatisch berechnet (Stateless Autoconfiguration – EUI-64).....	7
7.2. Stateless-Autoconfiguration.....	7
8. Versuch Teil 1 – IPv6/IPv4 Netzwerk	9
8.1. Netzaufbau.....	9
8.2. Konfiguration Router 1	10
8.2.1. DHCP	10
8.2.2. IPv6 aktivieren.....	10
8.2.3. PC-LINK Interface	11
8.2.4. Router 2 Interface.....	12
8.2.5. Routen und RIP Konfiguration	12
8.3. Konfiguration Router 2.....	12
8.4. Konfiguration der Clients (Windows XP).....	14
9. Versuch Teil 2 – IPv6 over IPv4 Tunnel.....	15
9.1. Netzaufbau.....	15
9.2. Konfiguration Router 2	17
9.3. Konfiguration Router 3	17
10. Analyse und Tests.....	19
10.1. Ping	19
10.2. IPv6-over-IPv4 Tunnel Test.....	19
10.3. Dateifreigaben über IPv6	19
10.4. Apache	19
10.4.1. Apache downloaden/installieren	19
10.4.2. Apache IPv6 tauglich machen.....	19

10.4.3. Apache starten	20
10.4.4. Konfiguration des Clients (Browser).....	20
10.5. Installation weiterer Software.....	20
11. Anhang 1: Konfigurationsdateien.....	21
11.1. Router 1 (Teil 1 & 2).....	21
11.2. Router 2 (Teil 1).....	22
11.3. Router 2 (Teil 2).....	24
11.4. Router 3 (Teil 2).....	26

2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 IPv6 Adress-Typen.....	6
Abbildung 2 Netzaufbau Teil 1	9
Abbildung 3 IPv6 over IPv4 Tunnel.....	15
Abbildung 4 Netzaufbau Teil 2	16

3. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Quellen	4
Tabelle 2 Links	4
Tabelle 3 Materialliste.....	5

4. Quellen

Tabelle 1 Quellen

	Beschreibung
[1]	IPv6 Relevante Dokumente aus der Datenkommunikations-Vorlesung (Chapter 4)
[2]	Cisco Self-Study: Implementign Cisco IPv6 Networks (IPv6), ciscopress.com, ISBN 1-58705-086-2
[3]	IPv6, das neue Internet-Protokoll, dpunkt.verlag, 2002
[4]	Router Primer, Peter Infanger
[5]	IPv6-Net, http://www.ipv6-net.de/themen/
[6]	IPv6 HOWTO, Peter Bieringer, http://www.tldp.org/HOWTO/Linux+IPv6-HOWTO/
[RFC2462]	RFC 2462, IPv6 Stateless Address Autoconfiguration, http://www.ietf.org/rfc/rfc2462.txt
[RFC3315]	DHCPv6, Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6, http://www.ietf.org/rfc/rfc3315.txt

5. Links

Tabelle 2 Links

	Beschreibung
[packetyzer]	Packetyzer, Ethereal-basierender Netzwerk-Sniffer, http://packetyzer.sf.net/
[apache]	Apache, Webserver, http://httpd.apache.org/
[apacheV6]	Apache, IPv6 taugliche W32 Version von Apache, http://win6.jp/Apache2/
[IPv6-Soft]	IPv6 Software, Liste von IPv6-tauglicher Software, http://www.join.uni-muenster.de/Implementationen/Software.php

6. Einführung

Dieses Tutorial beschreibt exemplarisch den Aufbau eines gemischten IPv6/IPv4 Netzwerkes mit Cisco 2600 Routern. Das Dokument soll einen schnellen Einstieg in ein selbst konfiguriertes IPv6 Netzwerk geben. Das Ziel ist es zu zeigen, dass IPv6 nichts unmöglich kompliziertes ist um die ersten „Berührungspunkte“ abzubauen.

Das Dokument verzichtet absichtlich auf den Werbeblock für IPv6 da ich davon ausgehe, dass Sie bereits über die grundlegenden Vorzüge von IPv6 informiert sind. Ansonsten verweise ich auf die IPv6 Dokumente aus der Datenkommunikations-Vorlesung (Chapter 4) [1].

Das Dokument basiert hauptsächlich auf [2]. Allgemeinere Informationen zum Protokoll finden sie auch in [3].

Das Tutorial ist so ausgelegt, dass kein Konfigurationsaufwand auf der Client-Seite anfällt. Somit können auch das eigene Laptop oder weitere PC's ohne Konfigurationsaufwand an das Netz angeschlossen werden.

6.1. Voraussetzungen

Prinzipiell sind keine speziellen Vorkenntnisse notwendig. Ein fundiertes Wissen über IPv4 und Routing kann aber sicher bereits hilfreich sein. Einige grundlegende IPv6 Kenntnisse können auch aus [1] entnommen werden.

Kenntnisse im Umgang mit Cisco Geräten ist nicht unbedingt notwendig. Wer gar keine Ahnung von der Materie hat sollte sich [4] durchlesen.

6.2. Material

Folgendes Material wird für die Durchführung des Versuches benötigt

Tabelle 3 Materialliste

#	Bezeichnung	Beschreibung
3	Cisco 2600 Series Router	Für den ersten Teil werden nur zwei Router benötigt. Im zweiten Teil wird noch ein dritter Router benötigt um ein zweites IPv6 Netz über einen IPv4 Link anzubinden. Die Router sollten über zwei FastEthernet-Schnittstellen verfügen. Natürlich geht es auch mit Seriellen Schnittstellen, deren Konfiguration wird aber hier nicht behandelt.
1	Ethernet-Hub (4-Ports oder mehr)	Es kann auch ein Switch verwendet werden, allerdings erschwert dies natürlich Packet-Sniffing.
3	Ungekreuzte Ethernet-Kabel	Kabel zur Verbindung der Router mit dem Hub.
3	Gekreuzte Ethernet-Kabel	Kabel um PC's direkt an die einzelnen Teilnetze (direkt am Router) anzuschließen.
1	Seriell-Konsolen-Kabel	Kabel zur Verbindung des Konfigurations-PC's mit den Routern (zum Aufspielen der Initial-Konfiguration).

7. IPv6 allgemein

Hier werden einige Besonderheiten von IPv6 etwas genauer beschrieben, damit die nachfolgenden Versuche besser verstanden werden können.

7.1. Adressierung

IPv6 Adressen werden nicht mehr in Klassen eingeteilt. Stattdessen gibt es bei IPv6 Adress-Typen. Die folgende Grafik zeigt die verschiedenen Adresstypen:

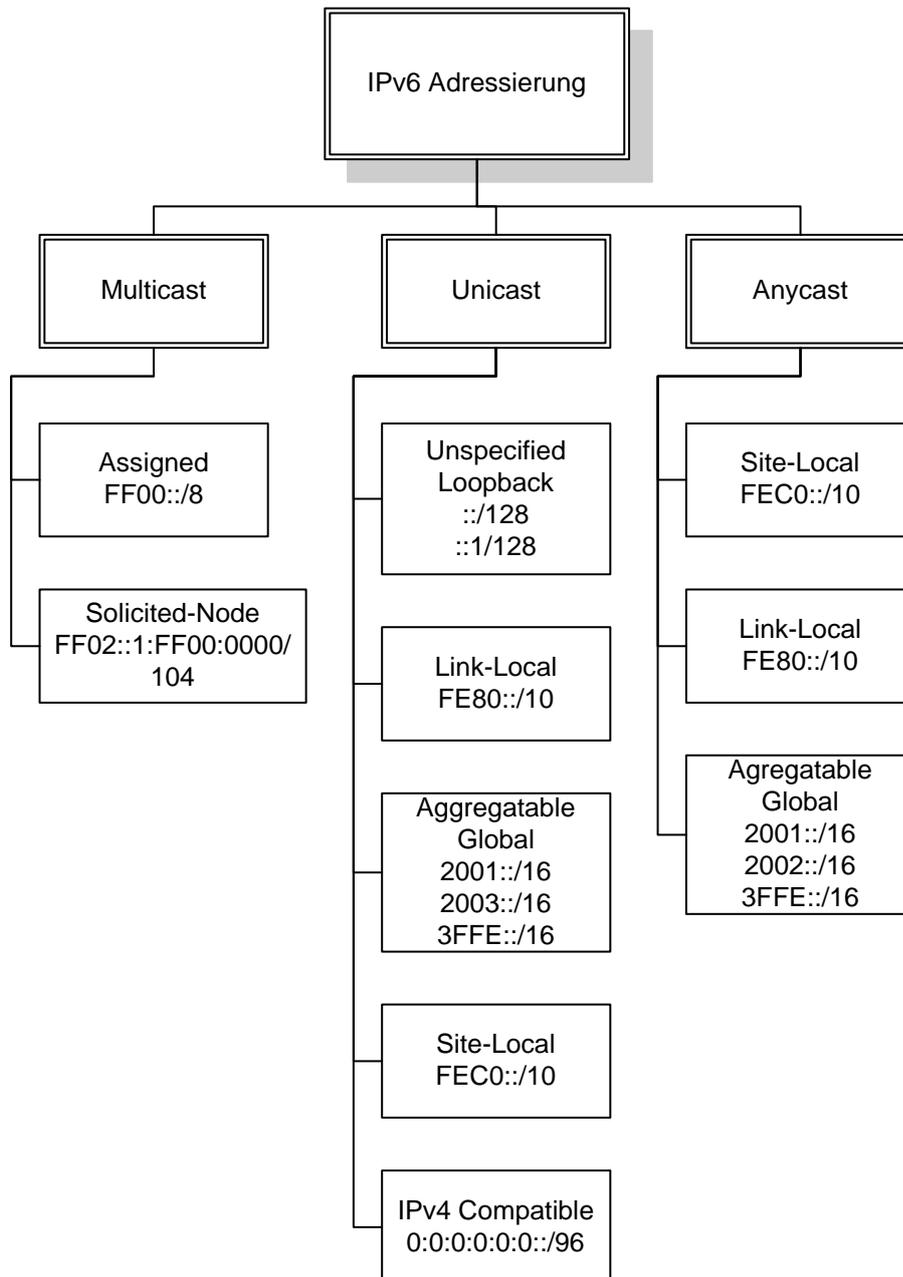


Abbildung 1 IPv6 Adress-Typen

Im folgenden werden einige Adressen kurz etwas genauer erklärt. Praktisch alle Bücher und Webseiten über IPv6 führen detaillierte Informationen zu den einzelnen Adresstypen. Entsprechende Dokumente sind in den Quellen aufgeführt. Die Adresstypen sind insbesondere in [6] detailliert beschrieben.

7.1.1. Localhost

Gegenüber IPv4 wird nicht mehr ein ganzes A-Klasse Netz für die Lokale Adresse verwendet. Die Adresse des lokalen Rechners lautet schlicht:

```
::1
```

7.1.2. Nicht spezifiziert (unspecified)

Das Analogon zur IPv4 Adresse 0.0.0.0 lautet:

```
::
```

7.1.3. Link-Lokale Adressen

Diese Adressen werden nicht geroutet und sind nur für Kommunikation auf dem aktiven, physikalischen Link gedacht:

```
fe8x:  
fe9x:  
feax:  
febx:
```

7.1.4. Site-Lokale Adressen

Diese Adressen entsprechen weitgehend den in IPv4 Netzen üblichen privaten Adressen (z.B. 10.0.0.0/8):

```
fecx:  
fedx:  
feex:  
fefx:
```

7.1.5. Globale Adressen (global aggregatable)

Diese entsprechen den heutigen öffentlichen IPv4 Adressen. Die Verteilung der Adressen scheint aber noch immer nicht ganz klar zu sein:

```
2 xxx:  
3 xxx:
```

7.1.6. Anycast Adressen

Es existiert keine analog verwendete Adresse bei IPv4. Die Adressen werden benutzt um z.B. den nächststehenden Router oder DNS-Server zu finden. Alle angesprochenen Geräte können auf einen Anycast antworten. Die Idee dahinter ist, dass der schnellste (schnellster Link, freie Ressourcen) antwortet.

7.1.7. Automatisch berechnet (Stateless Autoconfiguration – EUI-64)

Hier wird die IPv6 Adresse automatisch aus dem Prefix und der MAC-Adresse gebildet. Um die 48-bit lange MAC-Adresse in eine 64-bit Adresse umzuwandeln wird in der Mitte FFFE₁₆ eingefügt. Ausserdem wird das zweite bit des ersten MAC-Adress-Bytes invertiert.

Ein Beispiel. Die MAC-Adresse:

```
00-11-2F-58-4C-43
```

kann in folgende Link-Lokale Adresse umgewandelt werden:

```
fe80::211:2fff:fe58:4c43
```

7.2. Stateless-Autoconfiguration

Das Problem der automatischen Konfiguration von Clients wurde bei IPv6 bereits im Protokoll selbst gelöst. Dies kann in vielen Fällen einen DHCP-Server komplett überflüssig machen. Das Verfahren wird in [RFC2462] beschrieben. Allerdings sind einige wichtige Fragen wie die Zuweisung einiger

Optionen/Parameter wie z.B. auch die DNS-Server noch nicht geklärt. Aus diesem Grunde wurde in [RFC3315] DHCP für IPv6 spezifiziert.

Zur Automatischen Konfiguration werden Neighbor Solicitation und Neighbor Advertisements benutzt. Um Gateways/Router zu finden wir dann entweder auf die regelmässig gesendeten Router Advertisements gewartet oder mit Router Solicitations aktiv nach Routern gesucht. Eine gute Beschreibung dazu ist unter [5] zu finden. Deshalb begnüge ich mich hier mit einem Verweis.

8. Versuch Teil 1 – IPv6/IPv4 Netzwerk

In diesem Versuch wird ein gemischtes Netzwerk aufgebaut auf dem die Clients sowohl das IPv6 als auch das IPv4 Protokoll einsetzen können. In unserem speziellen Fall werden wir die Windows-Clients so konfigurieren, dass sie beide Protokolle beherrschen also als Dual-Stack Nodes konfiguriert sind.

8.1. Netzaufbau

Das Netz wird nach folgendem Schema aufgebaut:

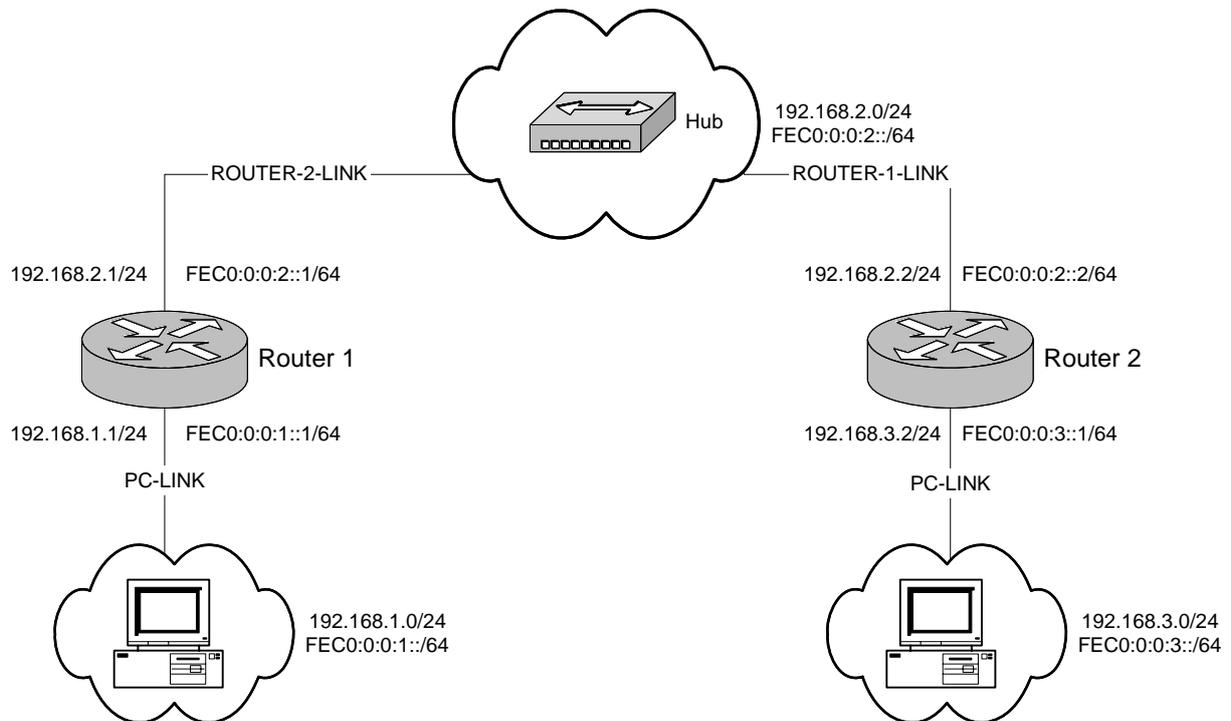


Abbildung 2 Netzaufbau Teil 1

Wie abgebildet besteht das Netzwerk aus drei Teilnetzen. In allen Netzen können sowohl IPv4 als auch IPv6 sowie IPv4/IPv6-Dual-Stack Geräte eingesetzt werden. IPv4 Geräte erhalten ihre Konfiguration über DHCP wobei IPv6 Geräte die Konfiguration über Stateless Autoconfiguration erhalten (siehe Kapitel 7.2).

8.2. Konfiguration Router 1

Zuerst konfigurieren wir mal den ersten Router. Die Konfiguration kann am einfachsten über die serielle Konsole gemacht werden.

Als erstes sollte der Host-Name geändert werden (um eine einfache Identifikation über die Konsole zu erreichen):

```
hostname router1
```

8.2.1. DHCP

Um nicht nur die IPv6-Konfiguration sondern auch die IPv4 Konfiguration der Clients zu automatisieren konfigurieren wir den DHCP-Server auf dem Router.

```
(conf) ip dhcp pool LABOR ❶
      network 192.168.1.0 255.255.255.0 ❷
      default-router 192.168.1.1 ❸
❹
(conf) ip dhcp pool LABOR2
      network 192.168.2.0 255.255.255.0
      dns-server 192.168.2.1
      default-router 192.168.2.1
```

- ❶ Definiert einen neuen DHCP-Pool mit dem namen LABOR
- ❷ Definiert das Netz, für welches die Adressen vergeben werden.
- ❸ Definiert den Default-Router, der den Clients mitgegeben wird.
- ❹ Der zweite DHCP-Pool wird nur aus Bequemlichkeit eingerichtet, da er es erlaubt auch am Hub, der eigentlich nur zur Verbindung der Router gedacht ist, einen PC anzuschliessen. Dieser bekommt dann von diesem Router automatisch eine IPv4-Konfiguration. Dies erleichtert insbesondere spontane Sniffer-Anfälle ;-)

8.2.2. IPv6 aktivieren

IPv6 muss auf Cisco-Routern standardmässig ausgeschaltet und muss noch aktiviert werden:

```
(conf) ipv6 unicast-routing ❶
      ipv6 cef ❷
```

- ❶ Aktiviert IPv6 unicast-traffic Routing auf Cisco Routern.
- ❷ Aktiviert Cisco Express Forwarding auf Cisco Routern.

Siehe dazu auch [2] auf Seite 87.

8.2.3. PC-LINK Interface

Dies ist das Interface auf dem die Clients an diesem Router angeschlossen werden. Das physikalische Interface ist dabei natürlich frei wählbar. Die aufgelistete Konfiguration stellt nur ein Beispiel dar.

```
(conf) interface FastEthernet0/0 ❶
(conf-if) description PC-LINK ❷
      ip address 192.168.1.1 255.255.255.0 ❸
      ipv6 address 2001:410:0:1::1/64 ❹
      ipv6 address FEC0:0:0:1::1/64 ❹
      ipv6 address FEC0:0:0:1::/64 eui-64 ❹
      ipv6 rip rip1 enable ❺
      ipv6 rip rip1 default-information originate ❺
      duplex auto ❻
      speed auto ❻
      no keepalive ❻
      no shutdown ❻
```

- ❶ Wechselt in den Konfigurationsmodus des gewünschten Interfaces.
- ❷ Definiert eine Beschreibung um das Interface besser von den restlichen unterscheiden zu können.
- ❸ Definiert die IPv4 Adresse und Subnetzmaske des Interfaces.
- ❹ Definiert die IPv6-Adressen des Interfaces. In diesem Beispiel wird sowohl eine global aggregatable [Globale Adressen (global aggregatable)] als auch zwei Site-Lokale [Site-Lokale Adressen] Adressen definiert. Eine der Site-Lokalen Adressen wird manuell vergeben und zusätzlich wird noch die automatisch generierte EUI-64 [Automatisch berechnet (Stateless Autoconfiguration – EUI-64)] Adresse zugewiesen.
- ❺ Da wir die Routing-Tabellen nicht manuell erstellen wollen lassen wir das RIP für uns erledigen.
- ❻ Link-Layer Einstellungen.

8.2.4. Router 2 Interface

Hier wird das Interface konfiguriert, welches nachher mit dem zweiten Router (via Hub) verbunden wird.

```
(conf) interface FastEthernet0/1 ❶
(conf-if) description ROUTER-2-LINK ❷
      ip address 192.168.2.1 255.255.255.0 ❸
      ipv6 address FEC0:0:0:2::1/64 ❹
      ipv6 address FEC0:0:0:2::/64 eui-64 ❹
      ipv6 rip rip1 enable ❺
      ipv6 rip rip1 default-information originate ❺
      duplex auto ❻
      speed auto ❻
      no keepalive ❻
      no shutdown ❻
```

- ❶ Wechselt in den Konfigurationsmodus des gewünschten Interfaces.
- ❷ Definiert eine Beschreibung um das Interface besser von den restlichen unterscheiden zu können.
- ❸ Definiert die IPv4 Adresse und Subnetzmaske des Interfaces.
- ❹ Definiert die IPv6-Adressen des Interfaces. In diesem Beispiel wird sowohl eine global aggregatable [Globale Adressen (global aggregatable)] als auch zwei Site-Lokale [Site-Lokale Adressen] Adressen definiert. Eine der Site-Lokalen Adressen wird manuell vergeben und zusätzlich wird noch die automatisch generierte EUI-64 [Automatisch berechnet (Stateless Autoconfiguration – EUI-64)] Adresse zugewiesen.
- ❺ Da wir die Routing-Tabellen nicht manuell erstellen wollen lassen wir das RIP für uns erledigen.
- ❻ Link-Layer Einstellungen.

8.2.5. Routen und RIP Konfiguration

Da wir RIP einsetzen muss dies natürlich noch konfiguriert werden:

```
(conf) router rip
      network 192.168.1.0
      network 192.168.2.0
```

Wir konfigurieren RIP für beide vom Router erreichbaren Netze.

Jetzt fehlt natürlich noch die default-route. Diese kann folgendermassen definiert werden:

```
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.2.2 ❶
ipv6 route ::/0 FastEthernet0/1 ❷
ipv6 router rip rip1 ❸
```

- ❶ Definiert die Standard-Route für IPv4.
- ❷ Definiert die Standard-Route für IPv6. Beachten Sie, dass keine Zieladresse sondern nur das Ziel-Interface angegeben wird. Über Router-Advertisements kann der Router den passenden Gateway am Interface selber finden.
- ❸ Aktiviert den RIP Prozess für IPv6.

8.3. Konfiguration Router 2

Die Konfiguration des zweiten Routers geschieht analog zur Konfiguration des ersten Routers – einfach mit unterschiedlichen Adressen. Deshalb wird hier auch nur ein Kurz-Listing der entsprechenden Konfigurationsbefehle gegeben:

```
hostname router2
ip dhcp pool LABOR
  network 192.168.3.0 255.255.255.0
```

```
    default-router 192.168.3.1
ip cef
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
interface FastEthernet0/0
  description PC-LINK
  ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
  ipv6 address 2001:410:0:3::1/64
  ipv6 address FEC0:0:0:3::1/64
  ipv6 address FEC0:0:0:3::/64 eui-64
  ipv6 rip rip1 enable
  ipv6 rip rip1 default-information originate
  no keepalive
  no shutdown
interface FastEthernet0/1
  description ROUTER-1-LINK
  ip address 192.168.2.2 255.255.255.0
  ipv6 address FEC0:0:0:2::2/64
  ipv6 address FEC0:0:0:2::/64 eui-64
  ipv6 rip rip1 enable
  ipv6 rip rip1 default-information originate
  no keepalive
  no shutdown
router rip
  network 192.168.2.0
  network 192.168.3.0
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.2.1
ipv6 route ::/0 FastEthernet0/1
ipv6 router rip rip1
```

8.4. Konfiguration der Clients (Windows XP)

Die schnellste Möglichkeit Windows XP IPv6 beizubringen führt ironischerweise selbst bei Microsoft über die Kommandozeile:

```
ipv6 install
```

Installiert den IPv6 Stack. Danach sind einige Netz-Kommandos wie tracert oder ping in einer speziellen IPv6 Version verfügbar (ping6, tracert6...). Offenbar funktionieren aber auch die „normalen“ Kommandos mit IPv6 Adressen.

Angeschlossen am PC-LINK des Routers Nummer 1 könnte die IP-Konfiguration in etwa so aussehen:

```
c:\>ipconfig
```

```
Windows-IP-Konfiguration
```

```
Ethernetadapter LAN-Verbindung 2:
```

```
Verbindungsspezifisches DNS-Suffix:
IP-Adresse. . . . . : 192.168.1.4
Subnetzmaske. . . . . : 255.255.255.0
IP-Adresse. . . . . : fec0::1:20d:61ff:fe08:3341%1
IP-Adresse. . . . . : 2001:410:0:1:706b:82b6:4355:9664
IP-Adresse. . . . . : 2001:410:0:1:20d:61ff:fe08:3341
IP-Adresse. . . . . : fe80::20d:61ff:fe08:3341%4
Standardgateway . . . . . : 192.168.1.1
                                fe80::204:c1ff:fe4d:fa60%4
```

```
Tunneladapter Teredo Tunneling Pseudo-Interface:
```

```
Verbindungsspezifisches DNS-Suffix:
IP-Adresse. . . . . : fe80::5445:5245:444f%5
Standardgateway . . . . . :
```

```
Tunneladapter Automatic Tunneling Pseudo-Interface:
```

```
Verbindungsspezifisches DNS-Suffix:
IP-Adresse. . . . . : fe80::5efe:192.168.1.4%2
Standardgateway . . . . . :
```

Dabei fallen natürlich die %# „Anhänge“ an den IPv6-Adressen auf. Diese werden von Microsoft „zoneid“ genannt und werden sowohl für Link-local (fe80::/10) als auch für Site-local (fec0::/10) Adressen vergeben. Der Grund dafür ist, dass Windows unterscheiden muss auf welcher Schnittstelle gesendet werden soll da die selbe Adresse auf mehreren Schnittstellen definiert sein kann.

9. Versuch Teil 2 – IPv6 over IPv4 Tunnel

In diesem Versuch wird das in [Versuch Teil 1 – IPv6/IPv4 Netzwerk] aufgebaute Netzwerk um einen weiteren Router erweitert. Dieser wird ein abgesetztes IPv6/IPv4 Netzwerk mit Clients über einen IPv6-over-IPv4 Tunnel verbinden. Dies erlaubt auch IPv6-only Clients über den Tunnel mit IPv6-tauglichen Clients die an den anderen Routern angeschlossen sind über zu kommunizieren.

Die Technik wird verwendet um einzelne „Inseln“ von IPv6-Netzen über das Internet oder andere IPv4 Netzwerke miteinander zu verbinden.

Da wir den Tunnel Zwischen dem Router 2 und dem neuen Router 3 aufbauen brauchen wir nur Router 2 neu zu konfigurieren bzw. den Tunnel einzurichten.

9.1. Netzaufbau

Da Bilder mehr als tausend Worte sagen hier wieder die Schematische Darstellung des Netzes welches wir jetzt aufbauen werden.

Der dritte Router wird wie folgt an das Netzwerk angeschlossen (vereinfachtes Schema):

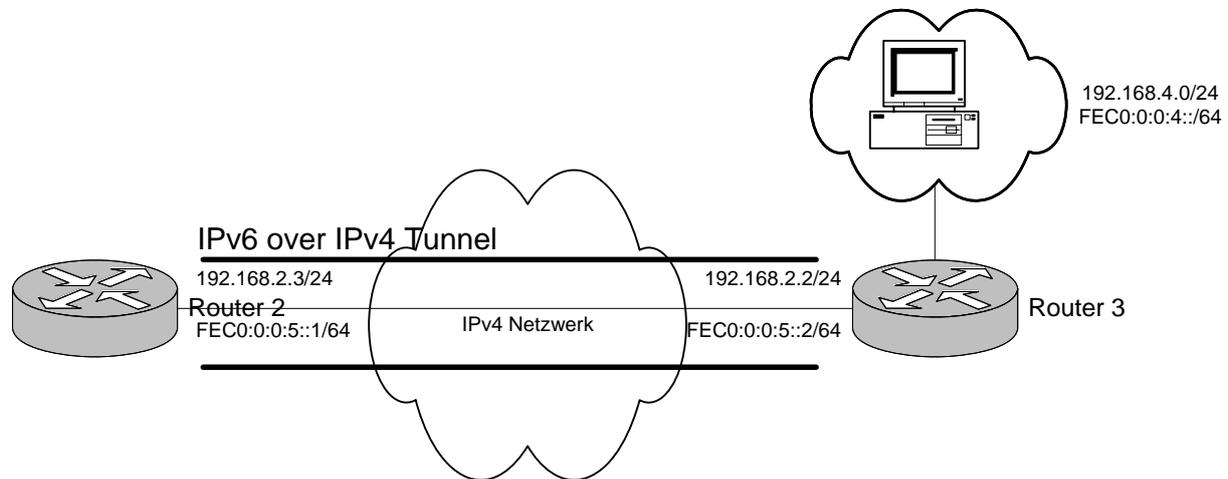


Abbildung 3 IPv6 over IPv4 Tunnel

Dabei benötigen natürlich die Tunnel-Interfaces auch eine IPv6-Adresse. Alle an diese Adresse gerouteten Pakete werden über den Tunnel an die IPv4 Adresse des gegenüberliegenden Tunnel-Endpunktes gesendet (natürlich als IPv4 Paket). Die Adresse wird also für die IPv6 Routing-Tabelle des Routers benötigt.

Hier nochmals der schematische Aufbau des gesamten Netzes:

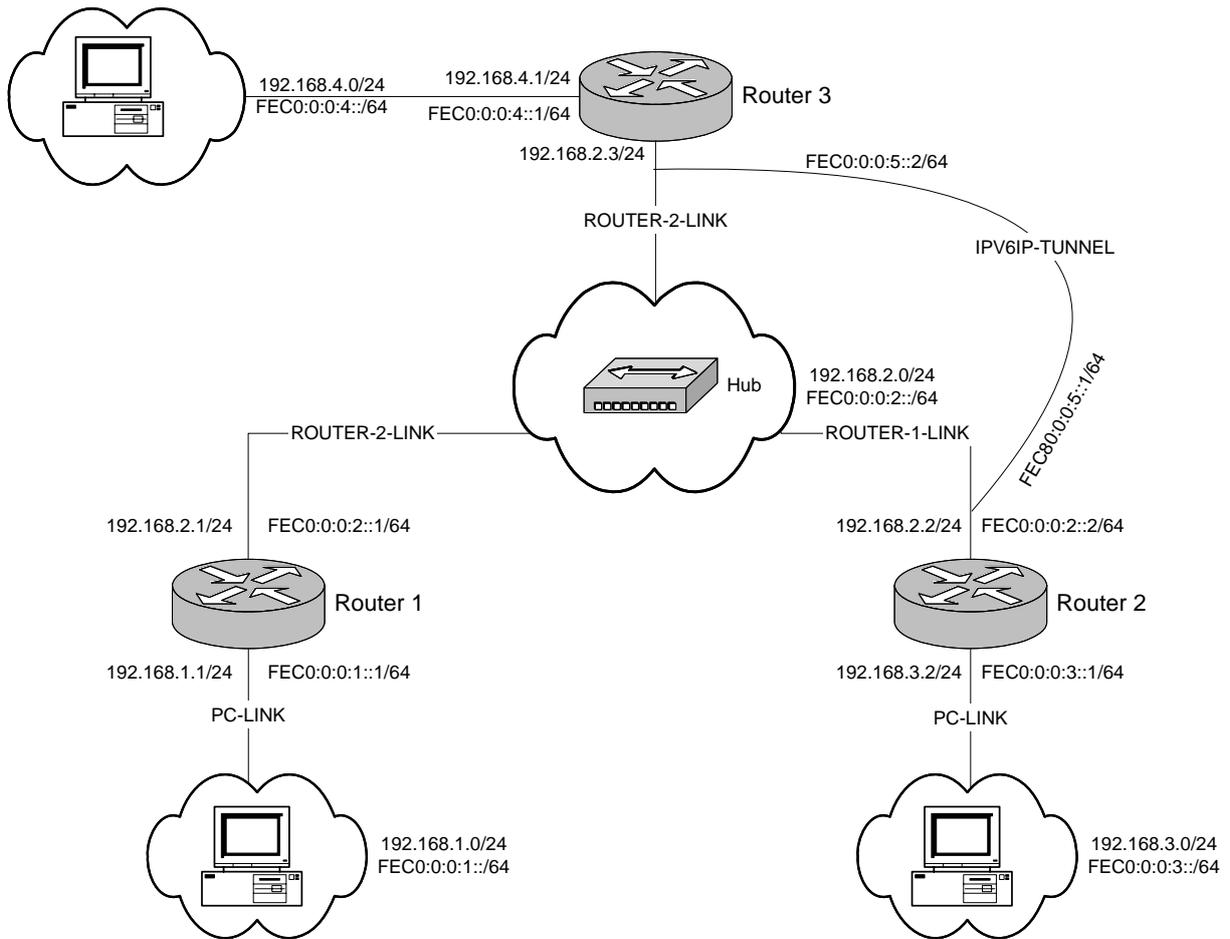


Abbildung 4 Netzaufbau Teil 2

9.2. Konfiguration Router 2

Hier muss lediglich das Tunnel-Interface zur Verbindung mit dem neuen Router konfiguriert werden:

```
(conf) interface tunnel0 ❶
      description IPV6IP-TUNNEL ❷
      ipv6 address FEC0:0:0:5::1/64 ❸
      ipv6 rip rip1 enable ❹
      ipv6 rip rip1 default-information originate ❹
      tunnel source 192.168.2.2 ❺
      tunnel destination 192.168.2.3 ❺
      tunnel mode ipv6ip ❻
```

- ❶ Wechselt in den Konfigurationsmodus des gewünschten Interfaces. Tunnel-Interfaces sind virtuelle Interfaces.
- ❷ Definiert eine Beschreibung um das Interface besser von den restlichen unterscheiden zu können.
- ❸ Ein IPv6Ip Tunnel braucht eine IPv6-Adresse die mit diesem Kommando zugewiesen wird.
- ❹ Auch für das Tunnel-Interface schalten wir RIP ein damit wir die Routing-Tabellen nicht manuell unterhalten müssen.
- ❺ Dies sind die wichtigsten Parameter für den Tunnel. Sie geben die Quell- und die Ziel-Adresse des Tunnels an (natürlich IPv4 adressen).
- ❻ Bestimmt den Modus des Tunnels. In unserem Falle ipv6ip was einem IPv6-over-IPv4 Tunnel entspricht.

9.3. Konfiguration Router 3

Da sich die Konfiguration des Routers 3 nur minimal (in der Adressierung) von der Konfiguration des Routers 2 unterscheidet wird hier nur ein Kurz-Listing aufgeführt.

```
hostname router3
!
ip dhcp pool LABOR
  network 192.168.4.0 255.255.255.0
  dns-server 192.168.4.1
  default-router 192.168.4.1
!
ip cef
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
interface FastEthernet0/0
  description PC-LINK
  ip address 192.168.4.1 255.255.255.0
  duplex auto
  speed auto
  ipv6 address 2001:410:0:4::1/64
  ipv6 address FEC0:0:0:4::1/64
  ipv6 address FEC0:0:0:4::/64 eui-64
  ipv6 rip rip1 enable
  ipv6 rip rip1 default-information originate
  no keepalive
  no shutdown
!
interface FastEthernet0/1
  description ROUTER-2-LINK
  ip address 192.168.2.3 255.255.255.0
  duplex auto
  speed auto
```

```
no keepalive
no shutdown
!
interface tunnel0
description IPV6IP-TUNNEL
ipv6 address FEC0:0:0:5::2/64
ipv6 rip rip1 enable
ipv6 rip rip1 default-information originate
tunnel source 192.168.2.3
tunnel destination 192.168.2.2
tunnel mode ipv6ip
!
router rip
network 192.168.2.0
network 192.168.4.0
!
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.2.2
!
ipv6 route ::/0 tunnel0
ipv6 router rip rip1
!
end
```

Zu beachten ist hier, dass der Tunnel natürlich in umgekehrter Richtung spezifiziert werden muss.

10. Analyse und Tests

Auf dem bestehenden Netzwerk können jetzt beliebige Dienste analysiert werden. Da alle Router über einen Hub verbunden sind kann ein Netzwerk-Analyse-Rechner einfach am Hub angeschlossen werden um Pakete im Netzwerk abzugreifen.

Dank des konfigurierten DHCP-Servers auf Router 1 muss auch für IPv4 Tests keine manuelle Konfiguration vorgenommen werden. Jeder PC kann entweder direkt am Interface „FastEthernet 0/0“ oder am zentralen Hub eingesteckt werden.

Natürlich kann auch an den PC-LINK Interfaces der Router ein Hub/Switch angeschlossen werden um mehrere PC's zu bedienen.

Nachfolgend werden ein paar Denkanstöße für mögliche Netzwerkversuche gegeben.

10.1. Ping

Schliesse je einen PC am PC-LINK von Router 1 sowie Router 2 an und sende ein IPv6 Ping an den gegenüberliegenden Rechner. Dabei kann ein Netzwerksniffer am Hub zwischen den Routern angeschlossen werden.

10.2. IPv6-over-IPv4 Tunnel Test

Schliesse je einen PC am PC-LINK von Router 2 sowie Router 3 an und sende ein IPv6 Ping an den gegenüberliegenden Rechner.

Ein Sniffer wie [packetizer] kann die versendeten Pakete abfangen und darstellen. Bei Paketen die über den Tunnel gesendet werden sieht man wie die IPv6 Pakete in IPv4 Pakete eingepackt wurden.

10.3. Dateifreigaben über IPv6

Leider scheint in der aktuellen Implementation von Microsoft die Windows Dateifreigabe (CIFS) nicht über IPv6 zu funktionieren.

10.4. Apache

Apache ist leider in der Windows-Version nicht IPv6 tauglich. Falls eine Linux-Maschine zur Verfügung steht sollte es damit automatisch klappe. Unter Windows sind dazu einige zusätzliche Schritte nötig.

10.4.1. Apache downloaden/installieren

Die aktuelle Version von Apache kann von [apache] heruntergeladen werden. Zum Zeitpunkt wo dieses Dokument geschrieben wurde war Apache 2.0.54 aktuell.

Dieser kann dann auf einem Rechner lokal installiert werden. Während der Installation werden einige Daten über den Server und Betreiber abgefragt. Diese sind für diesen Test nicht relevant und können beliebig angegeben werden.

Wichtig ist, dass Apache nach der Installation im httpd.conf die folgende Zeile enthält:

```
Listen 80
```

Diese legt fest, dass der Webserver auf allen verfügbaren Netzwerk-Schnittstellen antwortet. Alternativ kann natürlich der Listener auch nur auf die gewünschte (IPv6) Adresse konfiguriert werden.

10.4.2. Apache IPv6 tauglich machen

Wie bereits erwähnt ist Apache in der Standard-Ausführung nicht IPv6 tauglich unter Windows. Dies kann durch den Apache IPv6 Patch geändert werden. Der Patch kann unter [apacheV6] bezogen werden.

Je nach PC-Installation müssen auch die MFC dll's von dieser Webseite installiert werden.

Um den Patch zu installieren kann das Archiv einfach ins Apache-Verzeichnis entpackt werden. Dabei müssen die bestehenden Dateien natürlich überschrieben werden.

Achtung: Dies klappt nur, wenn der Apache Webserver sowie der ApacheMonitor (im System Tray) vorher beendet werden!

10.4.3. Apache starten

Danach kann der Apache Webserver ganz normal gestartet werden.

10.4.4. Konfiguration des Clients (Browser)

Der InternetExplorer 6 unterstützt IPv6 und kann auf den Webserver zugreifen. Allerdings ist es nicht möglich direkt eine IPv6 Adresse in die Adressliste einzugeben. Aus diesem Grund (und auch weil wir keinen DNS Server installiert haben) muss die IPv6 Adresse des Servers in die hosts Datei eingetragen werden:

```
c:\windows\system32\drivers\etc\hosts  
fec0::1:20d:61ff:fe08:3341    pc1
```

Danach kann im Internet Explorer der Hostname „pc1“ eingegeben werden und die Standard Willkommenseite von Apache müsste erscheinen.

Natürlich funktioniert das selbe auch für den Mozilla oder FireFox.

10.5. Installation weiterer Software

Natürlich gibt es schon eine reihe weitere Client/Server Programme, die IPv6 unterstützen. Eine recht gute liste davon gibt es unter [IPv6-Soft].

11. Anhang 1: Konfigurationsdateien

11.1. Router 1 (Teil 1 & 2)

```
!  
version 12.3  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname router1  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
!  
memory-size iomem 10  
no aaa new-model  
ip subnet-zero  
!  
!  
ip dhcp excluded-address 192.168.2.1 192.168.2.10  
!  
ip dhcp pool LABOR  
    network 192.168.1.0 255.255.255.0  
    default-router 192.168.1.1  
!  
ip dhcp pool LABOR2  
    network 192.168.2.0 255.255.255.0  
    default-router 192.168.2.1  
!  
ip cef  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 cef  
!  
interface Loopback0  
    no ip address  
    ipv6 address FEC0:0:0:9::1/128  
!  
interface FastEthernet0/0  
    description PC-LINK  
    ip address 192.168.1.1 255.255.255.0  
    duplex auto  
    speed auto  
    ipv6 address 2001:410:0:1::1/64  
    ipv6 address FEC0:0:0:1::1/64  
    ipv6 address FEC0:0:0:1::/64 eui-64  
    ipv6 rip rip1 enable  
    ipv6 rip rip1 default-information originate  
    no keepalive  
    no shutdown  
!  
interface Serial0/0  
    no ip address  
    shutdown  
    no fair-queue  
!  
interface FastEthernet0/1  
    description ROUTER-2-LINK  
    ip address 192.168.2.1 255.255.255.0  
    duplex auto  
    speed auto  
    ipv6 address FEC0:0:0:2::1/64  
    ipv6 address FEC0:0:0:2::/64 eui-64  
    ipv6 rip rip1 enable  
    ipv6 rip rip1 default-information originate  
    no keepalive  
    no shutdown  
!  
interface Serial0/1  
    no ip address  
    shutdown  
!  
router rip
```

```
network 192.168.1.0
network 192.168.2.0
!
ip http server
ip classless
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.2.2
!
!
ipv6 route ::/0 FastEthernet0/1
ipv6 router rip rip1
!
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
!
!
end
```

11.2. Router 2 (Teil 1)

```
!
version 12.3
service timestamps debug datetime msec
service timestamps log datetime msec
no service password-encryption
!
hostname router2
!
boot-start-marker
boot-end-marker
!
memory-size iomem 10
no aaa new-model
ip subnet-zero
!
ip dhcp pool LABOR
  network 192.168.3.0 255.255.255.0
  dns-server 192.168.3.1
  default-router 192.168.3.1
!
ip cef
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
!
interface Loopback0
  no ip address
  ipv6 address FEC0:0:0:9::1/128
!
interface FastEthernet0/0
  description PC-LINK
  ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
  duplex auto
  speed auto
  ipv6 address 2001:410:0:3::1/64
  ipv6 address FEC0:0:0:3::1/64
  ipv6 address FEC0:0:0:3::/64 eui-64
  ipv6 rip rip1 enable
  ipv6 rip rip1 default-information originate
  no keepalive
  no shutdown
!
interface Serial0/0
  no ip address
  shutdown
  no fair-queue
!
interface FastEthernet0/1
  description ROUTER-1-LINK
  ip address 192.168.2.2 255.255.255.0
  duplex auto
  speed auto
  ipv6 address FEC0:0:0:2::2/64
  ipv6 address FEC0:0:0:2::/64 eui-64
  ipv6 rip rip1 enable
  ipv6 rip rip1 default-information originate
```

```
no keepalive
no shutdown
!
interface Serial0/1
no ip address
shutdown
!
router rip
network 192.168.2.0
network 192.168.3.0
!
ip http server
ip classless
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.2.1
!
ipv6 route ::/0 FastEthernet0/1
ipv6 router rip rip1
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
login
!
end
```

11.3. Router 2 (Teil 2)

```
!  
version 12.3  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname router2  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
memory-size iomem 10  
no aaa new-model  
ip subnet-zero  
!  
ip dhcp pool LABOR  
    network 192.168.3.0 255.255.255.0  
    dns-server 192.168.3.1  
    default-router 192.168.3.1  
!  
ip cef  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 cef  
!  
interface Loopback0  
    no ip address  
    ipv6 address FEC0:0:0:9::1/128  
!  
interface FastEthernet0/0  
    description PC-LINK  
    ip address 192.168.3.1 255.255.255.0  
    duplex auto  
    speed auto  
    ipv6 address 2001:410:0:3::1/64  
    ipv6 address FEC0:0:0:3::1/64  
    ipv6 address FEC0:0:0:3::/64 eui-64  
    ipv6 rip rip1 enable  
    ipv6 rip rip1 default-information originate  
    no keepalive  
    no shutdown  
!  
interface Serial0/0  
    no ip address  
    shutdown  
    no fair-queue  
!  
interface FastEthernet0/1  
    description ROUTER-1-LINK  
    ip address 192.168.2.2 255.255.255.0  
    duplex auto  
    speed auto  
    ipv6 address FEC0:0:0:2::2/64  
    ipv6 address FEC0:0:0:2::/64 eui-64  
    ipv6 rip rip1 enable  
    ipv6 rip rip1 default-information originate  
    no keepalive  
    no shutdown  
!  
interface tunnel0  
    description IPV6IP-TUNNEL  
    ipv6 address FEC0:0:0:5::1/64  
    ipv6 rip rip1 enable  
    ipv6 rip rip1 default-information originate  
    tunnel source 192.168.2.2  
    tunnel destination 192.168.2.3  
    tunnel mode ipv6ip  
!  
interface Serial0/1  
    no ip address  
    shutdown  
!  
router rip  
    network 192.168.2.0
```

```
network 192.168.3.0
!
ip http server
ip classless
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.2.1
!
ipv6 route ::/0 FastEthernet0/1
ipv6 router rip rip1
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
!
end
```

11.4. Router 3 (Teil 2)

```
!  
version 12.3  
service timestamps debug datetime msec  
service timestamps log datetime msec  
no service password-encryption  
!  
hostname router3  
!  
boot-start-marker  
boot-end-marker  
!  
memory-size iomem 10  
no aaa new-model  
ip subnet-zero  
!  
ip dhcp pool LABOR  
    network 192.168.4.0 255.255.255.0  
    dns-server 192.168.4.1  
    default-router 192.168.4.1  
!  
ip cef  
ipv6 unicast-routing  
ipv6 cef  
!  
interface Loopback0  
    no ip address  
    ipv6 address FEC0:0:0:9::1/128  
!  
interface FastEthernet0/0  
    description PC-LINK  
    ip address 192.168.4.1 255.255.255.0  
    duplex auto  
    speed auto  
    ipv6 address 2001:410:0:4::1/64  
    ipv6 address FEC0:0:0:4::1/64  
    ipv6 address FEC0:0:0:4::/64 eui-64  
    ipv6 rip rip1 enable  
    ipv6 rip rip1 default-information originate  
    no keepalive  
    no shutdown  
!  
interface Serial0/0  
    no ip address  
    shutdown  
    no fair-queue  
!  
interface FastEthernet0/1  
    description ROUTER-2-LINK  
    ip address 192.168.2.3 255.255.255.0  
    duplex auto  
    speed auto  
    no keepalive  
    no shutdown  
!  
interface tunnel0  
    description IPV6IP-TUNNEL  
    ipv6 address FEC0:0:0:5::2/64  
    ipv6 rip rip1 enable  
    ipv6 rip rip1 default-information originate  
    tunnel source 192.168.2.3  
    tunnel destination 192.168.2.2  
    tunnel mode ipv6ip  
!  
interface Serial0/1  
    no ip address  
    shutdown  
!  
router rip  
    network 192.168.2.0  
    network 192.168.4.0  
!  
ip http server  
ip classless
```

```
ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.2.2
!
ipv6 route ::/0 tunnel0
ipv6 router rip rip1
!
line con 0
line aux 0
line vty 0 4
  login
!
end
```