

1. Einleitung



... seid ihr eigentlich schon bei der IPv6 Umstellung?

... hör auf, das ist doch alles nur ein Marketing-Gag der Hersteller, um neue Hardware zu verkaufen!

Aus diesem Zwiegespräch sollte man sich besser heraushalten. Aber die grundlegende Fragestellung ist schon eine Wichtige: Was ist IPv6 und braucht man das? Nachfolgende Darstellung soll Ihnen helfen, IP Version 6 (IPv6) grundlegend zu verstehen.

2. IP Grundlagen



Das Internetprotokoll (IP) und die damit verbundenen IP-Adressen, egal ob IPv4 oder IPv6, identifizieren Geräte (Knoten) in Netzwerken eindeutig. Die adressierbaren Knoten sind damit in einem Netz erreichbar. Bei der Kommunikation innerhalb eines paketvermittelnden Netzes können beispielsweise Switches und Router Datenpakete (IP Datagram) von einem Absender (Quelle) zu einem Empfänger (Senke) leiten.

3. IPv4 Grundlagen

Eine IPv4-Adresse ist grundsätzlich 32 Bit lang und wird über 4 Oktetts von je 1 Byte dargestellt. Somit ist der Vorrat an Adressen leicht errechenbar: 2^{32} – es sind 4.294.967.296 Knoten.

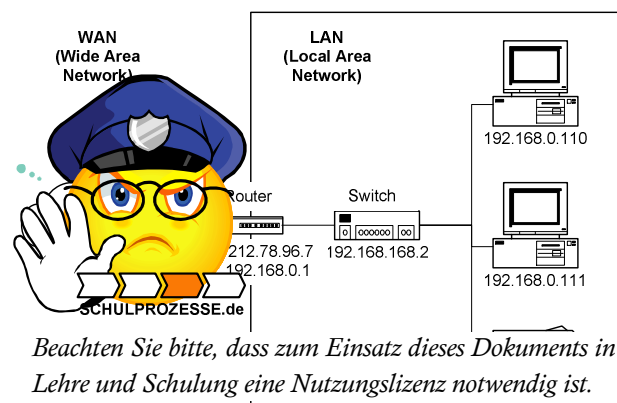
Eine typische IP-Adresse könnte wie folgt aussehen:

192	168	0	30
-----	-----	---	----

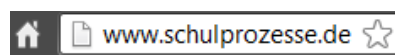
IPv4 Adressen sind in Klassen eingeteilt. Die Grundidee dieser Klassen ist die Aufteilung der Adresse in einen Netzwerkteil und direkt ansprechbare Knoten. Diese Einteilung ist notwendig, damit Datenpakete ihren Weg durch das Netzwerk ohne zentrale Steuerungsinstanz finden. Bei der Beispieladresse verweisen die ersten drei Oktetts auf das Netz (Net-ID) und lediglich das letzte Oktett auf Knoten (Host-ID) innerhalb des Netzes. Eine weitere Bitfolge, die

Subnetzmaske, unterstützt diese Einteilung in Net- und Host-ID. Hier werden alle Bits einer IP-Adresse, die zur Net-ID gezählt werden, durch eine 1 markiert. Dadurch wird ein klassenloses Routing¹ bzw. die Bildung von Teilnetzen möglich.

Bei unserer Beispieladresse ergibt sich aber noch eine Besonderheit, denn sie ist für ein LAN bestimmt, das heißt, mit dieser Adresse kann lediglich ein Knoten innerhalb eines privaten Netzwerks, wie beispielsweise ein Unternehmensnetzwerk, bestimmt werden. Adressen innerhalb dieses privaten Adressbereichs können in jedem LAN für Knoten neu vergeben werden, was u. a. ein Grund dafür ist, dass IPv4 Adressen so lange gereicht haben. Zur Kommunikation im großen weiten Internet (WAN) stehen separate Adressen zur Verfügung, die in der Regel von einem Provider an Kunden verteilt werden.



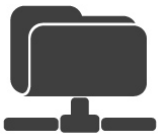
Und da sich kaum einer solch schwierige Zahlenkonstrukte merken kann, werden diese durch die sogenannten Uniform Resource Locators (URL) umgewandelt. Somit sähe eine Internetadresse dann ggf. so aus:



Zur Kommunikation mehrerer Knoten wird das IPv4 Transportprotokoll genutzt, das auf der dritten Ebene des ISO-OSI Modells arbeitet. Dieses unverschlüsselte Protokoll nutzt einen sogenannten Header, um versandtechnisch wichtige Steuerungsdaten der Datagramme zu speichern. Dafür sind 20 bis 60 Bytes vorgesehen. Ein Datagramm darf max. 65.535 Byte groß sein, größere Datenpakete werden

¹ Classless Inter-Domain Routing (CIDR)

von vorn herein oder von einem Router aufgeteilt (fragmentiert).



Soweit – so gut. In Zeiten, in denen das Internet entwickelt wurde (80er Jahre), war das eine immens große Zahl an Adressen. Kein Mensch hat damals an die rasante Verbreitung des „ARPANET“ geglaubt, zumal die abgegrenzte Zielgruppe dieses sich selbst organisierenden Netzes das Militär und später die Forschung war. Mit der Einführung einer grafischen Nutzungsoberfläche mittels eines Browsers (http), sowie der Verwendung der Hyperlinks war der Siegeszug dieses neuen, herstellerunabhängigen Mediums nicht zu stoppen. Spätestens als Mobiltelefone den Weg in das Internet fanden, explodierte die Zahl der verwendeten IP-Adressen und der Zahlenraum wurde zunehmend knapper. Es war an der Zeit, sich um eine Adressierungsalternative wie beispielsweise IPv6 Gedanken zu machen.

4. IPv6 – Aufbau

Im Gegensatz zur Version 4 steht der Version 6 ein deutlich erweiterter Adressraum zur Verfügung.² Eine IPv6 Adresse besteht aus 128 Bit! Gemäß Wikipedia³ soll das reichen, um jeden Quadratmillimeter der Erdoberfläche mit mind. 600 Billionen IP-Adressen auszustatten.

Es ist sicherlich leicht nachvollziehbar, dass eine IPv4 Adresse mit seinen 4 Bytes gerade noch einigermaßen zu merken ist. Dass das aber bei einer Adresse mit 16 Bytes⁴ relativ umständlich erscheint, liegt auf der Hand. Aus diesem Grund werden IPv6-Adressen über das Hexadezimal-System in Form von 8 Blöcken dargesellt, wodurch sich folgende Darstellung ergibt:

```
2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7344
```

Sofern ein Block führende Nullen hat, dürfen diese entfernt werden. Sobald zwei Nullblöcke nacheinander auftreten, können diese einmalig durch zwei Doppelpunkte „:“ dargestellt werden.

```
2001:db8:85a3::8a2e:370:7344
```

Browser sind in der Lage, statt einer URL eine IP-Adresse direkt zu nutzen. Jedoch gibt es im Vergleich zu IPv4 unterschiedliche Bedeutungen des Doppelpunkts. Browser interpretieren diesen als Trennung von IPv4-Adresse und Portnummer⁵. Daher sind IPv6-Adressen in eckigen Klammern einzugeben, z. B.:

```
http://[2001:db8:85a3::8a2e:370:7344]:21
```

Innerhalb von **Windowsnetzen** umschreibt die Uniform Naming Convention (UNC), wie Netzwerkadressen auszusehen haben, z. B. \\IP-Adresse\Freigabename\Pfad. Diese UNC erlaubt aber keine Doppelpunkte in IP-Adressen, da diese als Trennzeichen vorgesehen sind. Microsoft reagierte auf dieses Problem, indem Doppelpunkte der IP V6 durch Bindestriche ersetzt wurden, z. B.:

```
\\2001-db8-85a3--8a2e-370-7344\public\docs
```



Was bei der IPv4-Adresse zur Einteilung des Netz- und Hostanteils die Subnetzmaske übernimmt, stellt bei der IPv6 Adresse die Präfixlänge dar. Der Begriff Präfix bedeutet so viel wie „Vorsilbe“ und kann in unserem Fall als Begrenzung gedeutet werden. Dieser Präfix begrenzt demnach den Netzwerk- vom Hostteil. Standardmäßig sind die ersten 64 Bit für das Netz und die letzten 64 Bit für die Hosts vorgesehen. Um das zu verdeutlichen, hilft die CIDR-Schreibweise:

```
2001:0db8:85a3:0000:0000:8a2e:0370:7344 / 64
```

Der Netzanteil dieser Adresse ist folglich:

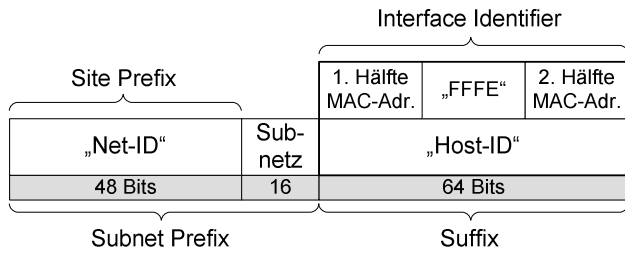
```
2001:0db8:85a3:0000
```

Der nachfolgende Suffix oder auch Interface Identifier bezeichnet den Host und kann auf Grundlage der MAC-Adresse eines Knotens gebildet werden. Dabei wird die MAC-Adresse in zwei Hälften⁶ aufgeteilt und durch den Hexadezimalcode „FFFE“ getrennt.

Die Grafik verdeutlicht noch einmal den schematischen Aufbau der IPv6-Adresse.

² IPv5 wurde nur zu experimentellen Zwecken genutzt.
³ <http://de.wikipedia.org/wiki/IP-Adresse>
⁴ 128 / 8 Bits

⁵ Eine Portnummer ordnet Datenpakete einer Anwendung zu, beispielsweise Port 80 für den Webbrowser.
⁶ Achtung: Das siebte Bit im ersten Byte wird umgekehrt.



Und wie sieht es zukünftig mit privaten IP-Adressen aus? Bei der Vielzahl der zur Verfügung stehenden Adressen könnte man doch eigentlich auf private Netzwerke verzichten. Die Möglichkeit, dennoch solche Netze einzurichten begründet sich aus der Tatsache, dass weder bei IPv4 noch bei IPv6 private Adressen das lokale Netzwerk verlassen (geroutet werden) sollen. Bei IPv6 werden LAN über Unique Local Addresses (ULA) realisiert. Auch hier kommen wieder Präfixe zum Einsatz. Der Adressbereich „fd“ identifiziert dabei ein Privatnetz und generiert zufällig erstellte ULA.



Damit das IPv6-Protokoll (siehe auch ergänzende Grafiken am Ende der Lektion) trotz der Vergrößerung ein schnelles Protokoll bleibt, sind die Steuerungsfunktionen im Header aufgeteilt. Wesentliche Informationen, wie die Absender- und Empfängeradresse werden im IPv6 Header mit einer Größe von 40 Byte gespeichert. In einem erweiterten Extension Header können weitere Daten gespeichert werden. Ein möglicher Authentication Header sichert die Authentizität des Absenders, das Encapsulating Security Payload eine Verschlüsselung des Datenverkehrs.



Durch die Vielzahl der IP-Adressen wäre es rein theoretisch möglich, jedem Nutzer weltweit eine eigene, dauerhaft gültige IP-Adresse zuzuweisen.

Die Datenschützer schlagen bei dieser Idee die Hände über den Kopf zusammen. Aus diesem Grund sieht die Privacy Extension vor, die nach einem zufälligen Prinzip einen Interface Identifier erzeugt, das ein Host nicht auf Grundlage seiner MAC-Adresse rückverfolgbar ist. Darüber hinaus hat der zufällig erstellte Interface Identifier nur eine begrenzte Gültigkeitsdauer. Trotz dieser Maßnahme werden Nutzer niemals vollständig anonym im Internet „surfen“ können.

5. Selbstständige IP-Zuweisung

Benötigt ein Knoten eine IPv6 Adresse, vergibt sie sich selbst zunächst eine lokale Adresse (link local). Dabei sind die ersten 64 Bit nach einem festen Schema vergeben. Diese besteht sie aus einem 16-Bit-Präfix (fe80:), gefolgt von 48 Bit Nullen. Die nächsten 48 Bit bestehen aus der i. d. R. weltweit einmaligen, kodierten MAC-Adresse des Knotens. Zur Absicherung folgt nach der Selbstzuweisung der Adresse ein Neighbor Solicitation, in der abgefragt wird, ob eine gleiche Adresse schon im LAN verwendet wird.

Nach ähnlichem Prinzip erhält der Knoten eine öffentliche IPv6-Adresse. Dabei liefert der Router den Präfix des öffentlichen Adressblocks.⁷ Aus dem Präfix und dem Suffix (kodierte MAC-Adresse des Knotens) entsteht die öffentliche IPv6-Adresse, die allerdings wie bei der lokalen Adresse durch eine Duplicate Address Detection noch verifiziert wird.⁸

6. Vorteile von IPv6

Neben der stark gewachsenen Anzahl von IP-Adressen ergeben sich, wie zum Teil bereits beschrieben, mit den neuen Adressen und Protokollen weitere Vorteile:

- verbesserte Netzwerksicherheit und die Möglichkeit der Informationsverschlüsselung
- Schnelligkeit durch einen effizienten, relativ kleinen Header
- ermöglicht über das Stateless Address Auto-configuration (SLAAC) einen selbstständigen Aufbau einer Internetverbindung
- Abkehr von DHCP Diensten automatisierten Konfigurationen

Die automatische Vergabe im Header sorgen bei Multimedeaanwendungen für einen kontinuierlichen Datenfluss

Die Anwendung von Mobilgeräten in wechselnden Netzen durch Mobile IPv6“
Beachten Sie bitte, dass zum Einsatz dieses Dokuments in der Lehre und Schulung eine Nutzungslizenz notwendig ist.

⁷ Dazu schickt der Knoten eine Solicitation Message auf der Multicast-Adresse FF02::2 (ähnlich einem Broadcast). Der Router liefert den Präfix und die Paketgröße (MTU).

⁸ Informationen wie DNS-Adresse, Hostname u. a. werden von Diensten wie DHCPv6 übergeben.

7. Der Weg von IPv4 nach IPv6

Damit IPv6 funktioniert, müssen Verarbeitungsgeräte im Netzwerk umgestellt werden, was überwiegend einen Austausch bedeutet. Somit hat die Anmerkung im Eingangsgespräch doch ein wenig Berechtigung.

Die Änderung der Protokolle muss sukzessive erfolgen, das heißt, für einen längeren Zeitraum werden die beiden Protokolle wie folgt betrieben:

- Gerätschaften müssen im Idealfall zwei „Sprachen“ sprechen (Parallelbetrieb beider Protokolle – Dual Stack)
- IP Adressen werden von und nach IPv4 / IPv6 übersetzt
- Datenpakete werden auf Teilstücken der Verbindung getunnelt, d. h., IPv4 Adressen werden „verpackt“ und über IPv6 teilweise transportiert, bis das Zielnetzwerk wieder IPv4 verwendet

Insbesondere das Tunneling verdient eine genauere Betrachtung. Bei der Methode 6to4 werden über einen Tunnel IPv6 Pakete über IPv4 transportiert. Dabei wird ein 48 Bit großes IPv6 Netz initiiert. Dieses Netz teilt sich im Hexadezimalsystem in drei Blöcke⁹, wobei der erste den Wert 2002 annimmt und als Prefix dient:

2002:__:__: ...

Die verbleibenden zwei Blöcke nehmen die IPv4 Adresse auf. Diese muss dazu zunächst von einem Dezimal- bzw. Binärwert in einen Hexadezimalwert umgewandelt werden. Auf unser Beispiel von Seite 1 bezogen heißt das:

192	168	0	30
-----	-----	---	----

c0	a8	00	1e
↓	↓	↓	↓

2002 : c0a8 : 001e :

So verpackt kann das IPv6 Paket von einem öffentlichen IPv4 Knoten zu einem anderen 6to4 Netz über ein IPv4 Zielnetz bzw. direkt zu einem IPv6 Netz (6to4 Relay) gesendet werden.

⁹ = 48 / 16 Bit

8. Ergänzende Grafiken

IPv4 Header

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Vers. 4				Internet Header Length				Type Of Service (tos)								Total Length (TL)															
Identification								Flags				Fragment Offset																			
Time To Live (TTL)				Protocol				Header Checksum																							
Source IP-Address																															
Destination IP-Address																															
IP-Options																															
Data																															

IPv6 Header

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32				
Vers.		Flow Label		Length																								Next Header				Hop Limit			
Source Address																																			
Destination IP-Address																																			

Beachten Sie bitte, dass zum Einsatz dieses Dokuments in Lehre und Schulung eine Nutzungslizenz notwendig ist.

9. Fragen zur Thematik

1. Wozu dient das IP?
2. Was ist ein Datagramm?
3. Wie viele Bits sind für IPv4 und für IPv6 Adressen reserviert?
4. Warum ist die Verwendung von privaten Netzen bei IPv4 in Bezug auf den Vorrat an IP-Adressen so wichtig?
5. Welche Gründe sprechen trotz der großen Anzahl von IPv6 Adressen für private Netzwerke?
6. Wie findet die Idee der Subnetzmasken ihre Umsetzung bei IPv6?
7. Welche Nachteile könnten mit dem Dual-Stack verbunden sein?
8. Die MAC-Adresse Ihres PC wird per ipconfig/all wie folgt angezeigt: 00:23:54:1D:DC:69. Der 64 Bit Präfix der IPv6 Adresse lautet FE80::211. Wie ist Ihre vollständige IPv6-Adresse?
9. Wandeln Sie die IPv4 Adresse 222.19.105.197 zwecks Tunneling in eine hexadezimale IPv6 Adresse um.
10. Wandeln Sie das IPv6 Fragment 2002:7519:4F81 in IPv4 um.
11. Welche Bedenken könnten Datenschützer bei der flächendeckenden Einführung von IPv6 haben?