

Grundlagen der IPv6-Adressierung

Im Rahmen der Umgestaltung hin zu Industrie 4.0 will die CarPAG sich auch Gedanken zum zukünftigen Einsatz von IPv6-Adressen in ihrem Netzwerk machen. Da bei der CarPAG noch keiner Erfahrung mit IPv6 besteht, sollen Sie sich zunächst in die IPv6-Thematik einarbeiten, später eine *IPv6-Migrations-Strategie* für die CarPAG erarbeiten und Ihre Kollegen anschließend im Rahmen eines Vortrages informieren.

Arbeiten Sie zunächst wieder die folgenden IPv6-Grundlagen durch und machen Sie die Aufgaben.

Das Internet Protokoll Version 6 (IPv6)

Die stark wachsende kommerzielle Nutzung des Internets Mitte der 1990er machte schnell klar, dass spätestens bis zur Jahrtausendwende alle öffentlichen IPv4-Adressen aufgebraucht werden sein würden und damit das Internet nicht mehr wachsen könnte. Eine Reihe von Arbeitsgruppen sollten Lösungen entwickeln. Die Einen konzentrierten sich auf den Erhalt von IPv4 und verwendeten mehrfach genutzte private Adressen in Verbindung mit NAT (Network Address Translation). Diese Verfahren ermöglichen es uns bis heute IPv4 zu nutzen, haben aber erhebliche Nachteile. Andere Arbeitsgruppen arbeiteten also lieber an einer zukunftssträchtigeren Strategie: dem Ersatz von IPv4 durch IPv6, das nicht nur mehr Adressen bereitstellen können sollte, sondern auch andere Probleme von IPv4 gleich mit lösen sollte.

Da eine schlagartige Umstellung des Internets von IPv4 auf IPv6 organisatorisch unmöglich ist, hat man sich gleichzeitig auf die Problematik eines lang andauernden Umstellungsvorgangs (*Migration*) eingestellt und entsprechenden Verfahren entwickelt.

Die Umstellung dauert bis heute an!

Darstellung von IPv6-Adressen

IPv6-Adressen (Internet Protocol Version 6) bestehen aus 128 Bit, also viermal so viel wie bei IPv4. Allerdings bedeutet jedes zusätzliche Bit eine Verdoppelung des Adressraumes. Die Anzahl der möglichen IPv6-Adressen ist daher unaussprechlich groß.

Ein Beispiel für eine öffentliche (global eindeutige) IPv6-Adresse wäre

2001:0db8:1234:01ab:0000:0000:0000:01b4

Wie bei IPv4-Adressen werden Gruppen (diesmal acht statt vier) und ein Trennzeichen (diesmal der Doppelpunkt statt dem Punkt) verwendet. Dies soll wieder die Lesbarkeit erhöhen.

Außerdem wurde das *Hexadezimalsystem* (Sechzehnersystem) statt dem Dezimalsystem benutzt. Dieses hat im Gegensatz zum Dezimalsystem den Vorteil, dass eine Ziffer (Stelle) immer genau für vier Bit steht. Die Arbeit mit Netzmasken wird dadurch erleichtert.

Die Buchstaben A bis F ergänzen die üblichen Ziffern 0 bis 9 um sechzehn Werte mit einer einzigen Stelle darstellen zu können.

Die einzelnen Ziffern (*Digits*) stehen jeweils für die folgenden Bitkombination:

0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
A	1010
B	1011
C	1100
D	1101
E	1110
F	1111

Es können Klein- oder Großbuchstaben verwendet werden. Eine vierstellige Hexadezimalzahl (wie in den Gruppen der IPv6-Adresse oben) wird auch als *Hextett* (in Anlehnung an Oktett bei IPv4) bezeichnet.

Aufgabe 1: Stellen Sie die folgenden Hexadezimalzahlen binär dar:

ab10	_____
1234	_____
10	_____
cafe	_____
fe80	_____

Da der riesige Adressraum von IPv6 kaum ausgenutzt wird, können IPv6-Adressen viele Nullen enthalten. Diese können im Rahmen von *Kurzschreibweisen* der besseren Lesbarkeit halber weggelassen werden. Hierbei gelten zwei Regeln:

Regel 1: Führende Nullen in den einzelnen Gruppen können weggelassen werden.

2001:0db8:1234:01ab:0000:0000:0000:01b4

wird zu

2001:db8:1234:1ab:0:0:0:1b4

Regel 2: Genau eine Folge von 0-Gruppen kann ausgelassen werden.

2001:db8:1234:1ab:0:0:0:1b4

wird zu

2001:db8:1234:1ab::1b4

Die Kurzform enthält dann weniger als die normalen 7 Doppelpunkte. Wegen der Eindeutigkeit kann das Weglassen von 0-Gruppen nur einmal in einer IPv6-Adresse verwendet werden. Es ist nicht festgelegt, welche Folge von 0-Gruppen weggelassen wird, wenn es mehrere Möglichkeiten gibt. Es ist sinnvoll, die längste Folge oder bei gleich langen Folgen die erste Folge wegzulassen. Der doppelte Doppelpunkt '::' kann auch am Anfang oder am Ende stehen.

Aufgabe 2.1: Schreiben Sie in Kurzform:

2001:0db8:1234:0000:0000:0000:0000:0000

2001:0db8:1234:0000:0000:0000:0000:001a

2001:0db8:1234:0000:0000:01ab:0000:0000

2001:0db8:1234:0000:2222:0000:0000:0000

fe80:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001

Aufgabe 2.2: Schreiben Sie in Langform:

2001:db8:12::1

2001:db8:1234::cd22:ab11

fe80::a0

2001:db8:12:0:1:2:3:1

::

::1

Schauen Sie sich auch ITN 12.2 an!

Wird eine IPv6-Adresse in einer URL verwendet, so wird sie in eckige Klammern gesetzt:

[https://\[2001:db8:1234:1ab::1b4\]](https://[2001:db8:1234:1ab::1b4])

Netzmasken und IPv6

Wie IPv4-Adressen bestehen IPv6-Adressen aus einem Netzteil und einem Hostteil. Die Trennlinie wird wieder durch eine Netzmaske angegeben. Es wird nur noch die modernere (CIDR-) Schreibweise für Netzmasken benutzt, also /0 bis /128.

Wegen des riesigen IPv6-Adressraumes muss man aber bei den Subnetz-Größen nicht sparen. IPv6-Subnetze für Endgeräte haben daher immer die Größe /64. Die Trennlinie liegt also genau in der Mitte:

2001:0db8:1234:01ab|0000:0000:0000:01b4/64

Bei der Kurzschreibweise ist das aber nicht sofort zu erkennen:

2001:db8:1234:1ab::1b4/64

Die Anzahl der möglichen Hosts bei /64 ist immer noch unaussprechlich groß und könnte technisch bei Weitem nicht ausgeschöpft werden. Der Hostteil der Adresse wird auch als *Interface-ID* bezeichnet. Verwendet man automatisch generierte Interface-IDs (siehe unten), so sind die benutzten Hostadressen nicht fortlaufend, vielmehr ist der Adressraum nur 'dünn' (*sparse*) mit tatsächlich existierenden Hosts besetzt. Ein 'Durchprobieren' aller Adressen mit ping (*ping sweep*) um existierende Hosts aufzuspüren, würde sehr lange dauern!

Der Netzteil der Adresse wird als *Prefix* bezeichnet, die Netzmaske als Prefix-Länge (*prefix length*). Die Netzadresse kann wieder gebildet werden, wenn der Hostteil (Interface-ID) auf Null gesetzt wird.

Die Adresse

2001:db8:1234:1ab::1b4/64

gehört demnach zum Netz

2001:db8:1234:1ab::/64

Aufgabe 3: Geben Sie jeweils die Netzadresse an:

2001:db8:14::13/64

2001:db8:17f1:871c:27::1e9/64

2001:db8:1234:55aa:ae1:125d:12cb:fa43/64

2001:db8::1/64

In Verbindung mit hierarchischem Routing können auch andere Netzmasken als /64 auftauchen. Hierbei wird der hintere Teil des Prefix für die Nummerierung einzelner Subnetze benutzt. Erhält man zum Beispiel von seinem ISP ein /48er IPv6-Netz, so bleiben 16 Bits bis zu /64. Es können also 65536 Endgeräte-Subnetze gebildet werden.

Bildung der Interface-ID

Der Hostteil einer IPv6-Adresse (Interface-ID) kann von Hand eingegeben oder automatisch gebildet werden. Hierbei kann zum Beispiel die (eindeutige) *MAC-Adresse* des Interfaces benutzt werden. Da diese aber nur 48 Bit hat, wird sie nach dem *EUI-64 Verfahren* auf 64 Bit verlängert, indem in der Mitte 16 Bit mit dem Wert FFFE eingeschoben werden:

MAC	00 : 11 : 22 : 33 : 44 : 55
Interface-ID	0211 : 22ff : fe33 : 4455

Die 2 in der ersten Gruppe ist kein Fehler. Das Bit mit dem Stellenwert 2 im ersten Byte der Interface-ID (U/L-Bit) gibt an, ob die ID global koordiniert ist (was man bei MAC-Adressen unterstellt). Es wird daher invertiert (RFC5342).

Die vorderen drei Byte einer MAC-Adresse (sog. OUI) lassen Rückschlüsse auf den Hersteller zu (siehe z.B. MAC Suche in Google). Nach EUI-64 gebildete global gültige IPv6-Adressen enthalten also Informationen über die verwendete Hardware. Dies wird als Datenschutz- und Sicherheitsproblem gesehen. Statt der EUI-64 Methode wird für Hosts daher heute oft lieber eine Zufallszahl als Interface-ID benutzt.

Die automatische Bildung der Interface-ID ist Bestandteil einer ganzen Liste von Automatik-Funktionen, die die Einführung von IPv6 vereinfachen sollen. So senden zum Beispiel Router, die in einem Subnetz als *Default-Gateway* fungieren sollen, regelmäßig das Prefix des Subnetz in Form von *Router Advertisements* (RAs) aus. Die Hosts bilden sich dann passende globale Adresse automatisch (Stateless Address Autoconfiguration, SLAAC).

Adresstypen bei IPv6

Bei IPv6-Adressen unterscheidet man wie bei IPv4 Unicastadressen und Multicastadressen. Allerdings gibt es keine Broadcastadressen! Die Funktion von Broadcastadressen wird über Multicast nachgeahmt.

IPv6-Unicastadressen kommen in drei Varianten vor:

Globale *Unicastadressen* (Global Unicast Address, GUA) sind weltweit eindeutig zugeteilte Adressen. Man erkennt Sie daran, dass die derzeit mit einer 2 beginnen:

2001:db8:1234:1ab::1b4

Der Bereich 2001:db8::/32 ist nach RFC3849 für Dokumentations-Zwecke reserviert und wird im Internet nicht verwendet. Sie werden oft in Beispielen benutzt, da man bei 'echten' Adressen eigentlich den 'Besitzer' um Erlaubnis fragen müsste.

Hosts, die am Internet teilnehmen sollen, haben bei IPv6 immer GUAs. Private Adressen und NAT wollte man (mit allen ihren Problemen) bei IPv6 von Anfang an vermeiden. Allerdings gibt es auch Situationen, die *private Adressen* erfordern (z.B. für Netze, die nicht direkt mit dem Internet verbunden sind). Hierzu stehen Unique-Local Adressen

(ULA) im Bereich fc00::/7 bereit. In der Praxis sollen nur die zweite Hälfte (fd00::/8) für unkoordinierte Zwecke benutzt werden. Die Anwendung ist aber eher selten.

Der dritte Unicast-Adresstyp sind die Link-Local Adressen (LLA). Diese beginnen mit fe80 (genauer: fe80::/10). Ihr Gültigkeitsbereich ist auf ein Layer 2 - Segment (also bis zum nächsten Router) begrenzt. Sie werden für Netzwerk-Funktionen benutzt. LLAs sind im Gegensatz zu GUAs *nicht routebar*.

In der Praxis hat ein typischer Host (z.B. ein PC) normalerweise zwei GUAs und eine LLA. Die eine GUA wechselt häufig und wird als Absender z.B. zum Surfen benutzt. Die zweite GUA ist permanent und kann z.B. zur Fernwartung benutzt werden. Zusätzlich existiert meist noch ein Loopback-Interface, das die Adresse ::1/128 benutzt ('localhost').

Multicastadressen beginnen mit ff (genauer: ff00::/8) und haben keine Netzmaske. In der Multicastadresse ist ein Gültigkeitsbereich (z.B. Subnetz, Firmennetz, global) sowie eine Gruppenadresse enthalten. Die Anwendungen sind die gleichen wie bei IPv4 aber auch der Ersatz für die weggelassenen Broadcastadressen. So können zum Beispiel alle Hosts im lokalen Subnetz über die All Nodes -Gruppe ff02::1 erreicht werden. Multicastadressen werden nur als Zieladressen benutzt.

Aufgabe 4: Geben Sie den Adresstyp an:

fe80::1	_____
2001:db8:1234::166	_____
ff02::2	_____
fd00:22::518	_____
::1	_____