

3 Das verbindungslose Vermittlungsprotokoll IP

In diesem Kapitel lernen Sie das verbindungslose Vermittlungsprotokoll IP näher kennen. Nach dem Durcharbeiten dieses Kapitels sollen Sie verstehen, warum es verschiedene Klassen von Internet-Adressen gibt. Sie sollen in der Lage sein, ein IP-Netz in mehrere IP-Teilnetze zu unterteilen und dafür eine geeignete Netzmaske zu definieren. Sie sollen beschreiben können, wie die verbindungslose Paketvermittlung in jedem Rechner abläuft. Daraus sollen Sie die wesentlichen Eigenschaften des IP-Protokolls folgern können. Eine immer wichtiger werdende Form der Kommunikation ist Multicast, womit ein Paket an mehr als einen Rechner gesendet werden kann. Sie sollen darlegen können, welche Vorteile IP-Multicast besitzt, wie es funktioniert und welche zusätzlichen Fähigkeiten ein Rechner benötigt, um an einer Multicast-Kommunikation teilzunehmen. Sie sollen den Zweck des ICMP-Protokolls erläutern können, mit dem u.a. Fehlersituationen im Internet kommuniziert werden. Schließlich sollen Sie das Problem der zunehmenden Adressenknappheit verstanden haben sowie mögliche Maßnahmen gegen dieses Problem wie Adressenabbildung, klassenloses Weiterleiten von IP-Paketen und die Entwicklung eines neuen IP-Protokolls schildern können.

Lernziele

3.1 IP-Adressen

Wie im Abschnitt 2.2 bereits beschrieben wurde, verbindet das Internet Rechner, die an unterschiedliche Netze angeschlossen sind. Um die Pakete an einen Zielrechner schicken zu können, muss jeder Rechner eine eindeutige Adresse besitzen. Wie z.B. bei Postleitzahlen oder bei Telefonnummern, die aus einer Vorwahl, einer Anschlussnummer und evtl. einer Durchwahl bestehen, ist es von Vorteil, wenn diese Internet-Adressen strukturiert sind im Gegensatz zu so genannten flachen Adressen, die man z.B. erhalten würde, wenn man jedem neu an das Internet angeschlossenen Rechner eine laufende Seriennummer zuweisen würde. Durch die Strukturierung der Postleitzahlen z.B. kann man so bei der Verteilung der Briefe in einem Briefzentrum bereits anhand der ersten beiden Ziffern einer Postleitzahl erkennen, zu welchem Briefzentrum der entsprechende Brief weitergeleitet werden muss, oder ob der Brief direkt an eine Postauslieferungsstelle dieser Region transportiert werden muss. Dadurch wird die Briefsortierung in einem Briefzentrum erleichtert, denn es sind nur maximal 100 Fälle zu unterscheiden (mit zwei Dezimalziffern können 100 unterschiedliche Werte

**Hierarchisch
strukturierte und
flache Adressen**

Struktur von IP-Adressen

codiert werden - dabei werden bei dieser groben Abschätzung die unterschiedlichen regionalen Postauslieferungsstellen als ein einziger Fall betrachtet) anstatt 100.000 (entsprechend für alle fünf Ziffern).

Die Adressen von Rechnern im Internet spielen vor allem in der IP-Schicht eine Rolle, da diese Schicht für die Weiterleitung der IP-Pakete über mehrere Router hinweg zuständig ist. Die Adressen werden deshalb auch IP-Adressen genannt. IP-Adressen sind in ähnlicher Weise wie die Postleitzahlen hierarchisch aufgebaut: Sie bestehen aus einer Netzkennung (net identification oder kurz netid) und einer Rechnerkennung (host identification oder kurz hostid). Die Netzkennung identifiziert eindeutig ein Netz im Internet, das ja ein Netz von Netzen ist. Ein solches Einzelnetz ist dadurch charakterisiert, dass alle daran angeschlossenen Rechner direkt miteinander kommunizieren können. Dies ist z.B. der Fall für alle Rechner, die an demselben Ethernet hängen oder für die beiden Rechner, die über eine Punkt-zu-Punkt-Leitung miteinander verbunden sind. Alle Rechner, die an demselben Netz angeschlossen sind, haben IP-Adressen mit identischer Netzkennung. Umgekehrt gilt, dass die Netzkennungen der IP-Adressen von Rechnern, welche an unterschiedlichen Netzen hängen, auch unterschiedlich sein müssen. Rechner, denen IP-Adressen mit unterschiedlicher Netzkennung zugewiesen worden sind, können nicht direkt miteinander, sondern nur über einen oder mehrere dazwischenliegende Router kommunizieren.

In Abbildung 3.1 ist das Netz von Netzen aus Abbildung 2.3 nochmals zu sehen, dieses Mal allerdings mit einer Nummerierung der Netze und einer Zuweisung von IP-Adressen an die Rechner. Dabei verwenden wir noch keine echten IP-Adressen, sondern vereinfachte Adressen der Form *netz.rechner*, wobei *netz* die Netzkennung und *rechner* die Rechnerkennung darstellt.

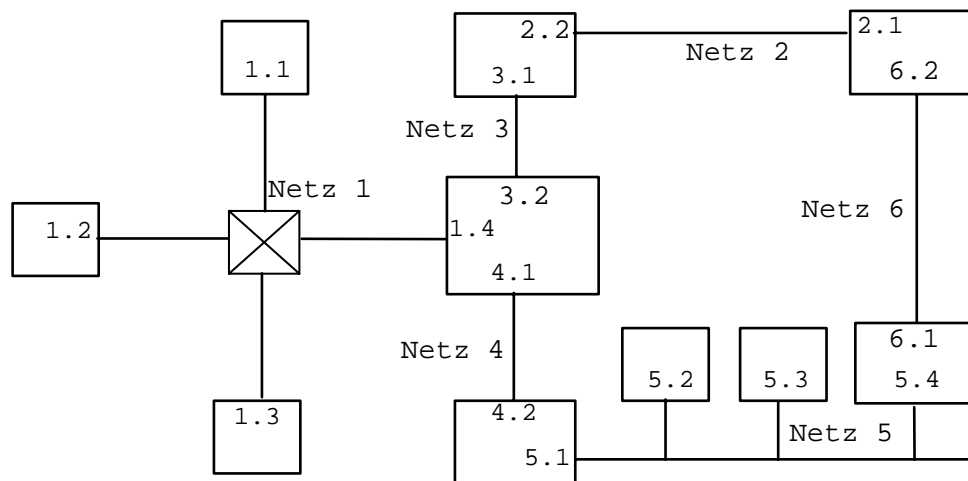


Abbildung 3.1: Vergabe von hierarchischen Adressen in einem Netz von Netzen

Beachten Sie insbesondere die Adressen der IP-Router, die gleichzeitig an mehreren Netzen angeschlossen sind und deren Aufgabe es ist, Pakete von einem in das andere Netz weiterzuleiten. Diese Router haben so viele IP-Adressen wie Netzanbindungen, d.h. für jede Netzanbindung wird dem IP-Router eine entsprechende IP-Adresse zugewiesen. Damit identifiziert eine IP-Adresse streng genommen also keinen Rechner, sondern einen Netzanschluss eines Rechners. Wir werden aber dennoch weiter – wie allgemein üblich – von IP-Adressen eines Rechners sprechen, wobei damit immer der entsprechende Netzanschluss gemeint ist.

In den 70er Jahren entschied man sich für 4 Bytes lange IP-Adressen. Wegen der Strukturierung der IP-Adressen kann aber der gesamte Adressraum von $2^{32} = 4$ Milliarden adressierbaren Rechnern bei weitem nicht ausgenutzt werden. Hat z.B. ein Netz nur zwei Rechner (wie bei einer Punkt-zu-Punkt-Standleitung), so werden nur zwei Adressen dieses Netzes genutzt. Es stellte sich daher die Frage, wie viele Bits sollen für die Netzkennung und wie viele Bits sollen für die Rechnerkennung innerhalb einer IP-Adresse reserviert werden. Im Falle der Punkt-zu-Punkt-Leitung bräuchte man nur ein Bit für die Rechnerkennung, während man in Netzen großer Firmen mit Tausenden von Rechnern wesentlich mehr Bits für die Rechnerkennung benötigt. Da es für jede starre Aufteilung von Netz- und Rechnerkennung Beispiele gibt, bei der gerade diese Aufteilung ungünstig ist, entschied man sich für eine flexible Aufteilung.

Adressen von
IP-Routern

IP-Adressklassen
(A, B, C und D)

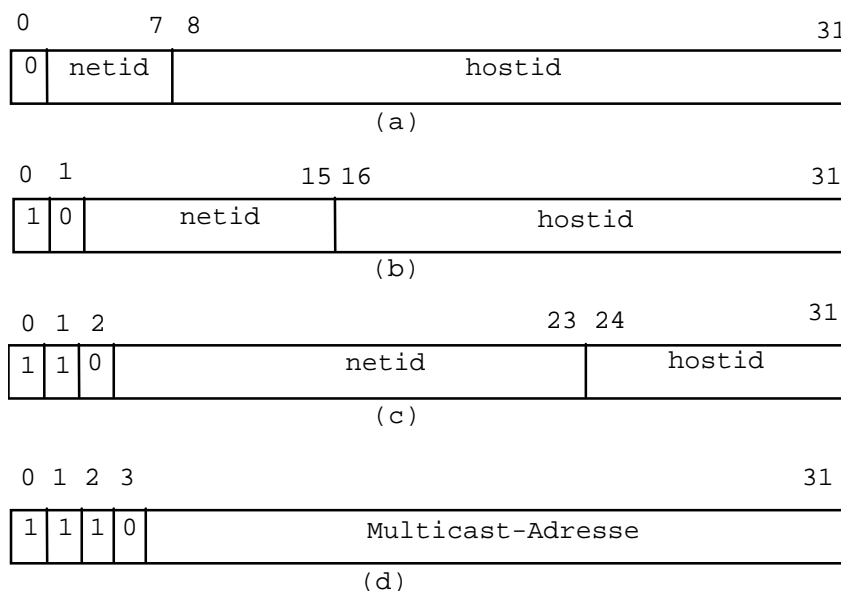


Abbildung 3.2: IP-Adressen der Klasse A (a), der Klasse B (b), der Klasse C (c) und der Klasse D (d)

Bei den IP-Adressen der Klasse A sind zur Netzkennung 1 Byte und zur Rechnerkennung 3 Bytes vorgesehen. Adressen der Klasse B bestehen aus je 2 Bytes Netz- und Rechnerkennung. Bei IP-Adressen der Klasse C bezeichnen 3 Bytes das IP-Netz und 1 Byte den Rechner. Um eine IP-Adresse eindeutig einer der Adressklassen zuordnen zu können, wurde folgende Konvention vereinbart: Das erste Bit der Klasse-A-Adressen ist 0, Adressen der Klasse B beginnen mit den Bits 1 und 0 und solche der Klasse C mit 1, 1 und 0. Darüber hinaus gibt es noch IP-Adressen der Klasse D. Diese Adressen bezeichnen nicht einen einzelnen Rechner, sondern eine ganze Gruppe von Rechnern. Das Senden einer Nachricht an eine Gruppe wird Multicast (Gruppenkommunikation, siehe 3.4) genannt. Adressen der Klasse D bezeichnet man daher als Multicast-Adressen im Gegensatz zu den Adressen der Klassen A, B und C, die immer nur einen einzigen Rechner (genauer Netzanschluss) bezeichnen und deshalb auch Unicast-Adressen genannt werden. Multicast-Adressen beginnen mit der Bitkombination 1110. Sie besitzen keine weitere Struktur. In Abbildung 3.2 sind die vier Adressklassen dargestellt.

Punktierte Dezimalschreibweise von IP-Adressen

Da eine 32 Bit lange IP-Adresse für uns Menschen relativ unübersichtlich ist, werden die 4 Bytes einer IP-Adresse einzeln - durch Punkte getrennt - in Dezimalschreibweise notiert (punktierte Dezimalschreibweise). Da das erste Bit einer IP-Adresse der Klasse A immer 0 ist, ist das erste Byte bei einer Klasse-A-Adresse höchstens 127. Entsprechend ist der Wert des ersten Bytes bei Klasse-B-Adressen zwischen 128 und 191, bei Klasse-C-Adressen zwischen 192 und 223. Klasse-D-Adressen werden durch Werte ab 224 gekennzeichnet. So ist zum Beispiel die IP-Adresse 143.93.53.7 eine Adresse der Klasse B. Folglich gehört der entsprechende Rechner zum IP-Netz 143.93 oder 143.93.0.0. Wie dieses Beispiel zeigt, können IP-Netze ebenfalls mit 4 Bytes notiert werden, wobei in diesem Fall die Bits des Rechnerkennungsteils ausschließlich auf Nullen gesetzt sind. Eine solche IP-Adresse, welche ein IP-Netz bezeichnet, ist als Adresse für einen Rechner nicht zugelassen.

Broadcast-Adressen

Das Gegenstück der Netzadressen, in denen alle Bits des Rechnerkennungsteils auf 0 gesetzt sind, sind IP-Adressen, in denen alle Bits des Rechnerkennungsteils auf 1 gesetzt sind. In obigem Beispiel ergibt dies die Adresse 143.93.255.255. Solche Adressen werden Broadcast-Adressen genannt. Mit ihnen werden alle Rechner des entsprechenden Netzes (im Beispiel: des Netzes 143.93.0.0) angesprochen.

Zusammenfassung

Strukturierte Adressen haben gegenüber flachen Adressen den Vorteil, dass beim Weiterleiten von Paketen weniger Fälle unterschieden werden müssen. Von daher sind auch die IP-Adressen hierarchisch strukturiert. Je nach Aufteilung der vier Bytes in Netz- und Rechnerkennung unterscheidet man Adressen des Typs A, B und C. Die IP-Adressen bezeichnen keinen Rechner, sondern einen Netzanschluss eines Rechners. Folglich besitzen Router mit mehreren Netzanschlüssen auch entsprechend viele IP-Adressen. Zum Adressieren von mehr als einem Rechner existieren Multicast- und Broadcast-Adressen. IP-Adressen werden in der Regel in der punktierten Dezimalschreibweise angegeben.



Übungsaufgaben

- 3.1 Warum gibt es unterschiedliche IP-Adressklassen?
- 3.2 Geben Sie Klasse, Netz- und Rechnerkennung folgender IP-Adressen an:
223.222.221.220
148.148.148.19
17.18.19.20
- 3.3 Wie viele unterschiedliche Netzadressen der Klasse A, der Klasse B und der Klasse C gibt es? Wie viele Rechner können an einem Netz der Klasse A, der Klasse B und der Klasse C höchstens angeschlossen sein? Beachten Sie dabei, dass Rechnerkennungen, deren Bits ausschließlich aus Nullen oder Einsen bestehen, keine zulässigen Kennungen sind.
- 3.4 Ersetzen Sie die hierarchischen Netzadressen aus Abbildung 3.1 durch „echte“, von Ihnen erfundene IP-Adressen! Nehmen Sie dabei an, dass die Netze 1 und 5 IP-Adressen der Klasse B und die restlichen Netze IP-Adressen der Klasse C besitzen!
- 3.5 Was ist der Unterschied zwischen Unicast-, Multicast- und Broadcast-Adressen?
- 3.6 Multicast-Adressen gehören zu der Adressklasse D. Zu welcher Adressklasse gehören Broadcast-Adressen?