

3. Die Internetschicht

Das Internet ist eigentlich nur *ein besonders großes* Internet. Unter einem Internet versteht man den Zusammenschluß verschiedener Netze. Die im Kapitel Netzwerktechnologien beschriebenen Arten von lokalen Netzen sind zueinander inkompatibel. Das fängt bei der Art der Verkabelung, den Spannungspegeln und Signalformen an, aber zieht sich durch bis zu der Form der Frames und der Zugriffskontrolle auf das Medium.

Das Designziel von TCP/IP war, wie bereits erwähnt, alles mögliche, das es so an Netzen gibt, zu verbinden. Auf Grund der Inkompatibilität der Netze untereinander musste also eine Abstraktion her, die diese Netze nur zum Transport nutzt. In der Tat ist es einem IP-Datagramm recht egal, auf welcher Art von Netzwerkschicht es sitzt. Wie in Abschnitt 1.3 angesprochen ist die IP-Schicht für die Übertragung von Host zu Host zuständig, wälzt den Vorgang der Übermittlung jedoch auf die Netzwerkschicht ab.

Um eine Übertragung über Netzgrenzen hinweg zu ermöglichen bedarf es zweier Features, die das Internet Protocol bietet:

- Ein logisches, netzübergreifendes Adressierungs-Schema
- Eine Möglichkeit für die Datagramme, ihren Weg zu finden

Jedem dieser beiden Punkte wird im Folgenden ein kurzer Abschnitt gewidmet. Anschließend wird das Address Resolution Protocol vorgestellt, das die Schnittstelle zwischen dem Internet Protocol und einer konkreten Netzwerktechnologie herstellt, in unserer Betrachtung soll dies Ethernet sein. Darauf folgend gibt es eine ausführliche Beschreibung des Internet Protocols.

3.1. Adressierung in Internets

Um die Wanderung von einem Punkt zu einem anderen zu ermöglichen muß es möglich sein, den Weg dorthin zu bestimmen. Um dies zu ermöglichen, sind Internet-Adressen nicht willkürlich vergeben, sondern ihr Aufbau folgt einer gewissen Logik. So besteht jede Adresse aus einem Netzanteil und einem Hostanteil.

Ursprünglich wurden Netze in drei Klassen, A, B und C unterteilt. In Klasse-A-Netzen sind 8 Bit für die Netzadresse reserviert, in Klasse-B-Netzen 16 und in Klasse-C-Netzen 24 Bit. Es hat sich jedoch gezeigt, daß diese Adressierung zu unflexibel war. Ein Klasse-A-Netz mit 16 Millionen möglichen Hostadressen ist einfach zu groß, um es sinnvoll komplett zu belegen.

Um eine IP-Adresse in den Netzteil und Hostteil zu zerlegen verwendet man die sogenannte *Netzmaske*. Doch zuerst einmal zur Darstellung der IP-Adressen. Im Internet Protocol Version 4, wie wir es zur Zeit nutzen, sind 32 Bit für eine Adresse vorgesehen. Daraus ergeben sich rund 4 Milliarden Adressen (um genau zu sein: $2^{32} = 4294967296$), das erschien aus damaliger Sicht für „alle Zeiten“ ausreichend. Wie in Kapitel 3.3 zu sehen sein wird, erwies sich dies als Trugschluß. Die nächste Generation des Internet Protocols, Version 6, räumt diesen Mißstand aus, und sieht 128 Bit (also $2^{128} =$ eine 3 mit 38 Nullen und etwas Zerquetschtes) Bit vor. Die Anzahl Adressen ist erstmal so unverstellbar groß,

3. Die Internetschicht

... Die Erde ist groß, oder? Jetzt stellen Sie sich mal einen Quadratmillimeter vor, so ein winziges Stückchen. Mit dem Adreßraum von IPv6 ließe sich jedem dieser winzigen Stückchen nicht eine, nicht zehn oder hundert, sondern mehr als 600 Billionen Adressen verpassen. Aus jetziger Sicht also erstmal genug...

Doch nun zurück zum Aufbau der Adressen. In IPv4 gibt es also 32 Bit lange Adressen, die üblicherweise in der „dotted decimal“ Form geschrieben werden, jeweils zu 8 Bit gruppiert und als Dezimalzahlen ausgedrückt, die durch Punkte getrennt sind.

Die Adresse 192.168.1.1 beispielsweise sähe binär folgendermaßen aus:

192	168	1	1
11000000	10101000	00000001	00000001

Nach der alten Klasseneinteilung wäre dies eine Klasse-C-Adresse. Um die Klasse zu bestimmen werden die höchstwertigen Bits herangezogen und nach folgender Tabelle zugeordnet:

High Order Bits	Class	Range	Bits/Net	Bits/Host
0	A	0.0.0.0 - 127.255.255.255	7	24
10	B	128.0.0.0 - 191.255.255.255	14	16
110	C	192.0.0.0 - 223.255.255.255	21	8
1110	D	224.0.0.0 - 239.255.255.255		
11110	E	240.0.0.0 - 255.255.255.255		

Die Klassen D und E kamen später hinzu. Klasse D beinhaltet alle Multicast-Adressen, Klasse E ist für zukünftige Verwendungen reserviert.

Die übliche Netzmaske für ein Klasse-C-Netz ist 255.255.255.0. Das heißt: alle Bits, die den Hostanteil ausmachen, werden auf 0 gesetzt, alle Bits des Netzanteils auf 1. Durch einfache UND Verknüpfung aus IP-Adresse und Netzmaske erhält man den Netzanteil, durch das Verknüpfen mit der invertierten Netzmaske (auch *Hostmaske* genannt) erhält man den Hostanteil. Die folgende Tabelle veranschaulicht dies:

IP-Adresse	11000000	10101000	00000001	00000001
Netzmaske	11111111	11111111	11111111	00000000
Verknüpfung	11000000	10101000	00000001	00000000

IP-Adresse	11000000	10101000	00000001	00000001
Hostmaske	00000000	00000000	00000000	11111111
Verknüpfung	00000000	00000000	00000000	00000001

Die Netzadresse ist also 192.168.1.0, die Hostadresse 0.0.0.1.

Jetzt wird auch klar, warum ein Klasse-C-Netz nur 256 Hosts enthalten kann. Aber aus den genannten Gründen der Inflexibilität ist man zu den klassenlosen Adressen übergegangen. Hierbei wird der Adresse die „Breite“ der Netzmaske mitgegeben. So wäre z.B. eine Adresse wie 192.168.14.189/27 so zu verstehen, daß die IP-Adresse 192.168.14.189 (also nach „alter“ Regel eine Klasse-C-Adresse) lautet, und die Netzmaske aus 27 Einsen gefolgt von 32 - 27 = 5 Nullen besteht.

IP-Adresse	11000000	10101000	00001110	10111101
Netzmaske	11111111	11111111	11111111	11100000
Verknüpfung	11000000	10101000	00001110	10100000

IP-Adresse	11000000	10101000	00001110	10111101
Hostmaske	00000000	00000000	00000000	11100000
Verknüpfung	00000000	00000000	00000000	00011101

Der Netzanteil ist also 192.168.14.160, der Hostanteil 0.0.0.29. In ein solches Netz passen $2^5 = 32$ Hosts.

Nun gibt es noch pro Netz zwei besondere Adressen, die nicht für Hosts verwendet werden dürfen. Dies ist einmal die Netzadresse, hier sind alle Bits des Hostanteils Null, und die Broadcast-Adresse, bei der alle Bits des Hostanteils auf Eins stehen.

Die Broadcast-Adresse bezeichnet jeden Host im Netzwerk. Datagramme, die an diese spezielle Adresse gesendet werden, sollen also von jedem Host in diesem Netz „gesehen“ werden. Die Broadcast-Adresse für dieses Netz wäre also mit dem Hostteil 0.0.0.31 versehen, macht als ganze Adresse 192.168.14.191.

Während Broadcast-Adressen und Netzadressen bei der klassischen Klasseneinteilung sehr einfach zu erkennen waren (immer das letzte, die letzten beiden, oder die letzten drei Felder auf 0 bzw. 255), ist dies bei klassenlosen Adressen also nicht mehr gegeben, dies kann leicht zu Verwirrung führen, weil das binäre Zählen (noch) nicht zu des Menschen Stärken zu zählen ist.

Dies waren die speziellen Hostadressen, aber es gibt auch spezielle Netzadressen. Während die meisten IP-Adressen weltweit eindeutig sein müssen, und daher zentral von der ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers, Nachfolger IANA) vergeben werden, gibt es drei Bereiche, die für eine private Nutzung freigegeben sind. Diese Netze wurden schon seit Anbeginn des Internet Protocols festgelegt und sind daher wenig überraschend in Klasse A, B und C Netze eingeteilt. Im Einzelnen sind dies:

- Ein Klasse-A-Netz, 10.0.0.0
- Klasse-B-Netze von 172.16.0.0 bis 172.31.0.0
- Klasse-C-Netze von 192.168.0.0 bis 192.168.255.0

Diese lokalen Netze können beispielsweise in Privathaushalten oder firmenintern genutzt werden, sodaß hier keine teuren „richtigen“ IP-Adressen benötigt werden. Eine weitere Anwendung wird im Kapitel 3.3 angesprochen.

3.2. Das Routing in Internets

Das zweite Feature des Internet Protocols, das es für die Entwicklung großer Netze geeignet macht, ist das Routing. Das bedeutet, daß ein IP-Datagramm seinen Weg zum Ziel findet.

Die IP-Adressen haben geographisch gesehen nichts mit den Zielen zu tun. Anhand der Netzadressen kann aber darauf geschlossen werden, über welche Wege man dort hin kommt. Das ist ein bißchen ein graphentheoretisches Problem, aus Sicht der Pakete gibt es nur Ecken (Router) und Kanten (Leitungen), die irgendwie zusammenhängen, aber über Längen und Position weiß niemand etwas.

Jeder Router weiß anhand seiner Routing-Tabelle, wie er mit Datagrammen, die eine bestimmte Zieladresse haben, verfahren muß. Ein Router, der ein LAN mit der großen Welt verbindet weiß