

Das Internet der Dinge – der Beginn einer neuen Ära

Am 20. Dezember 1990 wurde am CERN die erste Seite des World Wide Web aufgeschaltet. Da die zugrunde liegende Internet-Technologie zur Vernetzung von Computern aus den 1970er-Jahren stammte, war die Anzahl der global eindeutigen Adressen auf rund 4 Milliarden beschränkt. Die unerwartet rasche Anwendung des World Wide Web durch die Allgemeinheit liess jedoch den Adressenvorrat in nur knapp drei Jahrzehnten dahinschmelzen. Die weltweite Einführung viel längerer Adressen läuft momentan auf Hochtouren und wird das «Internet der Dinge» ermöglichen.

1989 schrieb der damals 34-jährige britische Physiker Timothy John Berners-Lee am europäischen Kernforschungszentrum CERN seine Vision von einem weltweit verbundenen Informationssystem nieder. Der Zeitpunkt war günstig für seine Idee, denn das globale Internet begann in Europa Fuss zu fassen und ein Jahr zuvor wurde die erste Internet Protocol Verbindung (IP Verbindung) zwischen Europa und den USA in Betrieb genommen. Gleichzeitig wurde das Domain Name System DNS eingeführt (siehe unten).

Berners-Lee entwickelte auf der Basis des bereits existierenden Hypertext-Prinzips seine HyperText Markup Language HTML und verband diese mit dem Internet. Zu diesem Zweck konzipierte er ein System zur Übertragung von HTML-Dokumenten, das HyperText Transfer Protocol HTTP. Um anklickbare Links zu ermöglichen, schuf er die universellen Dokumentadressen (sog. URL = Uniform Resource Locator). Weiter programmierte er den ersten Webbrowser und einen Webserver, der seine erste Webseite im Dezember 1990 zur Verfügung stellte. Ende April 1993 übergab das CERN das World Wide Web der Öffentlichkeit und bewirkte damit eine weltweit explosive Ausdehnung seiner Anwendung.

Im Gegensatz zu Analogtelefonen, die Schallwellen direkt in elektrische Spannungen umwandeln, arbeiten Computer digital. Die kleinste Informationseinheit ist das Bit, das in Zahlen ausgedrückt 0

oder 1 sein kann. Wie ein Bit physikalisch realisiert wird, ist dabei völlig unbedeutend. Zur Datenübertragung werden die einzelnen Bits auf viele Frequenzbereiche verteilt und gleichzeitig übermittelt, um die Übertragungsgeschwindigkeit zu erhöhen. Ein privater Internet-Anschluss kann heute 20-30 Megabits pro Sekunde empfangen. Um handlichere Zahlen zu bekommen, werden jeweils 8 Bits zu einem Byte zusammengefasst und im Sechzehnersystem geschrieben (vgl. Kasten 1).

Die übliche Übermittlungseinheit im Internet sind 1500 Bytes lange Pakete. Analog zu Postpaketen enthalten diese eine Zieladresse, einen Absender, einen zu transportierenden Inhalt und sind versichert. Sowohl Zieladresse wie Absender bestanden bisher aus je 4 Bytes. Der Dateninhalt ist normalerweise auf 1448 Bytes limitiert und die Versicherung ist eine Prüfsumme am Ende des Paketes über alle vorhergehenden Bytes. Diese Prüfsumme wird durch den Empfänger nachgerechnet und mit der empfangenen verglichen. Stimmen beide nicht überein, muss der Absender das Paket noch einmal schicken. Bei schlechten Verbindungen kann dies den Datendurchsatz drastisch reduzieren.

Funktionsweise des Internet

Um die Homepage der NGZH aufzurufen, tippt man ins Adressfenster eines Browsers <http://www.ngzh.ch>. Da es sich um HTML-Dokumente handelt, muss die dafür passende Übertragungsvorschrift gewählt

Kasten 1: Hexadezimaldarstellung

Die dreistellige Zahl 158 hat im Binärsystem 8 Stellen: $158 = 1001\ 1110b$.

Die 8 Bits bilden ein Byte und werden mit zwei hexadezimalen Zeichen geschrieben: $1001b = 9h$, $1110b = Eh$. Es gilt also: $158 = 9Eh$. Im Hexadezimalsystem wählt man für die 16 notwendigen Zeichen 0...9, A...F. Um Verwechslungen zu vermeiden, kennzeichnet man Hexadezimalzahlen mit «h» (z.B. ist $11h = 17$).

Kontrolle: $9Eh = 9 \times 16 + 14 = 158$

Der maximale Wert eines Byte ist $FFh = 255$.



Tim Berners-Lee am CERN 1994. Seine erste Webseite von 1990 kann auf <http://info.cern.ch> besucht werden.

werden, also das Hypertext Transport Protocol http (es existieren viele verschiedene Transport Protokolle wie beispielsweise das File Transfer Protocol ftp für das Versenden von Dateien). www.ngzh.ch ist die statische und global eindeutige Internetadresse (Domain Name), die aber nicht für Datenpakete verwendet werden kann. Deshalb bittet der Browser einen Domain Name Server (DNS) um die Übersetzung dieser Textadresse in eine Zahl, die von Zeit zu Zeit wechseln kann, also dynamisch ist. Durch eine entsprechende Mitteilung des Homepage-Servers an den DNS ist dieser in der Lage, dauernd die aktuelle Zahlenadresse zu liefern.

Tippt jemand in Argentinien <http://www.ngzh.ch> in seinen Browser, wird ein voreingestellter DNS angefragt, der die aktuelle Zahlenadresse nicht kennt. Auf Grund der Endung `.ch` wird dieser das Anfragepaket an einen Server liefern, der das Paket nach Europa schicken kann. Und so geht die Reise des Paketes weiter, bis es schliesslich unseren DNS findet, der die aktuelle Zahlenadresse zurückmeldet. Dabei ist der Rückweg vielfach nicht identisch mit dem Hinweg. Nun ist der Browser in Argentinien im Besitz der aktuellen Zahlenadresse und kann ein Anfragepaket an den NGZH-Server senden, das z.B. den Download des Neujahrsblattes 1921 anfordert. Für den Download werden mehrere hundert Pakete benötigt, von denen jedes autonom seinen Weg zum

Internet-Nutzer in Argentinien sucht. Da die Reisezeiten unterschiedlich ausfallen, kommen die Pakete nicht in der richtigen Reihenfolge an und der Browser muss diese anhand einer mitgeschickten Laufnummer richtig zusammensetzen.

Lokale Netze mit Internet verbinden

Der Internet-Nutzer in Argentinien sitzt an seinem Laptop, der mit einem Router verbunden ist. In seinem lokalen Netz (Local Area Network, LAN) seien zusätzlich ein Drucker, eine Webkamera, ein Smartphone und ein Desktop-Computer mit dem Router verbunden. Wie finden nun die Neujahrsblatt-Pakete den Weg zum Laptop, der eine lokale Adresse hat, die ausserhalb des LAN unbekannt ist? Am Einfachsten wäre die Zuteilung einer globalen Adresse für jedes Gerät, nur wären dadurch die knappen 4-Byte-Internetadressen schon lange ausgegangen. Deshalb behelf man sich mit sog. Ports (2 Bytes lang), die ebenfalls in den Paketen transportiert werden.

Ports sind auch notwendig, um bestimmte Geräte in einem lokalen Netz vom globalen Internet her anzusprechen. Zu diesem Zweck werden im Router lokale Adressen mit Ports verbunden. Einer Webkamera mit der lokalen Adresse 192.168.1.20 wird beispielsweise der Port 8080 zugeordnet. Für eine Kontaktaufnahme mit der Kamera vom Feriendomizil aus muss dann zusätzlich zur globalen Adresse

des Heimnetzes noch der Port angegeben werden, was z.B. so aussehen kann: `https://myhome.internet-box.ch:8080`. Das s nach http bedeutet, dass es sich um eine verschlüsselte Verbindung handelt, myhome ist ein weitgehend beliebig wählbarer Name des Heimnetzes und internet-box.ch ist der DNS von Swisscom, bei dem das Heimnetz angemeldet wurde. Der Router sendet seine Zahlenadresse an diesen Server, sobald sich diese ändert. Der Router weiss auch, dass alle Pakete mit dem Port 8080 an die Webkamera gesendet werden müssen und vertauscht in jedem ankommenden Paket die globale Adresse des Heimnetzes mit der lokalen Adresse der Kamera (sog. address translation).

IPv6-Adressen führen zum «Internet der Dinge»

2017 war der Adressvorrat des Swisscom Bluewin Internetanbieters so klein, dass als Notmassnahme viele Kunden in ein zusätzliches lokales Netz verschoben wurden. Vom globalen Internet her gesehen bekamen alle diese Kunden dieselbe 4-Byte-Adresse. Beim Surfen oder Mailen merken diese nichts vom zusätzlichen Router. Im Falle einer Webkamera ist diese aber nicht mehr vom Internet her auffindbar, weil die globale Internetadresse des zusätzlichen Routers nicht mehr übereinstimmt mit der Adresse des Heimnetz-Routers. Die Swisscom ist deshalb seit einigen Jahren daran, ihr Netz schrittweise auf die neuen Adressen umzubauen.

Der Übergang von den Adressen der Version 4 (IPv4) mit 4 Bytes zur Version 6 (IPv6) mit 16 Bytes ist weltweit in vollem Gange. Heutige Browser und Router kommen mit beiden Adresstypen klar und viele wichtige Server sind mit beiden Adresstypen ansprechbar. Jede Telecom fährt jedoch ihre eigene Übergangsstrategie. Die Swisscom hat sich für die Rapid Deployment Strategie 6RD entschieden, die darin besteht, Pakete mit IPv6-Adressen in solche mit IPv4-Adressen einzupacken, sodass die IPv4-Infrastruktur weiterhin benutzt werden kann. Dies vermindert die notwendigen Investitionen nicht, vergrössert aber das Zeitfenster für den Übergang. Ein Beispiel einer IPv6-Adresse ist im **Kasten 2** erklärt.

Kasten 2: Die neuen IPv6-Adressen

`2A02:1205:34EC:10D0:2665:11FF:FEE1:57A6`

2A0 ist reserviert für «normale» Internetdienste und weltweit gleich.

2120 wurde durch den europäischen Internet-Registrar reserviert für Bluewin.

`534EC10D0` sind 36 Bits, über die Bluewin frei verfügen kann. Dies sind mehr als alle IPv4-Adressen, nämlich rund 64 Milliarden. Als Übergangslösung hat Bluewin für die führenden 32 Bits die alten IPv4-Adressen eingesetzt (also wie üblich dezimal geschrieben 83.78.193.13). Die abschliessende 0 wurde zum Auffüllen benutzt.

`266511FFFEE157A6` sind 8 Bytes oder rund $1,6 \times 10^{19}$ Adressen, die im lokalen Netz verfügbar sind. Als statische lokale Adressen wählen heutige Computer die 6 Bytes der MAC-Nummer (MAC = Media Access Control) des Gerätes und füllen in der Mitte mit FFFE auf. Weiter wird zum führenden MAC-Byte 2 addiert.

Die für den Internet-Nutzer wichtigste Neuigkeit sind die letzten 8 Bytes, die dem Heimnetz zur Verfügung stehen. Dies sind 256^8 oder rund $1,6 \times 10^{19}$ Adressen! Damit könnten in jeder Sekunde eines Menschenlebens 4 Milliarden neue, global eindeutige Internetadressen Computergeäten, Dokumenten, Gegenständen mit Chips oder Strichcode-Marke, etc. zugeordnet werden. Niemand kann heute abschätzen, welche Innovationen damit möglich sein werden. Nach der Übergangsphase müssen keine Ports mehr verwaltet werden und die lokalen 192.168.x.x-Adressen fallen ebenfalls weg. Momentan erfolgt die Vergabe statischer lokaler Adressen automatisch auf der Basis der Media Access Control Nummer (MAC), die in allen heutigen Computergeäten hardwaremässig implementiert ist. Da jede der 6 Bytes langen MAC-Nummern weltweit nur einmal vergeben wird, stellen sie eine Identitätskarte für jeden Computer dar. So wird sichergestellt, dass nie zwei Geräte dieselbe Adresse bekommen.

Fritz Gassmann

Der Autor ist Physiker und arbeitete früher am Paul Scherrer Institut PSI in Villigen.