

20 Verkehrsknoten von digitalen Datenpaketen

In Frankfurt am Main steht der größte Internet-Knotenpunkt Deutschlands, der *Deutsche Commercial Internet Exchange* (DE-CIX). DE-CIX trägt zu einem schnellen, zuverlässigen und kostengünstigen Internet bei.



Wenn Sie als Verbraucher einen Film von einem digitalen Medienunternehmen wie Netflix ansehen, erhalten Sie diesen Film von Ihrem eigenen Internet-Provider. Aber wie bekommt der Internet-Provider den Film von Netflix? Das geschieht beim Frankfurter Deutsche Commercial Internet Exchange, kurz DE-CIX (<https://www.de-cix.net/>). Viele Großstädte in der Welt haben ihren eigenen Internet Exchange. Diese Internet Exchanges sind so konzipiert, dass angeschlossene Kunden digitale Daten kostengünstig, effizient und zuverlässig miteinander austauschen können. Kunde A tut dies nicht direkt und getrennt mit den Parteien B, C und D, sondern über einen solchen Verkehrsknoten gleichzeitig mit B, C und D.

Der DE-CIX ist der weltweit größte kommerzielle Internet-Knoten. Er wurde 1995 offiziell gegründet und befand sich im ehemaligen Telegramm-Postamt, das schon ans Glasfasernetz angeschlossen war. DE-CIX ist nach angeschlossenen Internetdiensteanbietern der viert- und nach Verkehrsaufkommen der größte Internetknoten der Welt (Stand: April 2019).

Was der Hamburger Hafen für die Schifffahrt und der Flughafen Frankfurt für die Luftfahrt ist, das ist DE-CIX für den Internetverkehr.

Ethernetswitch

Bei DE-CIX müssen Netzwerkingenieure den Datenfluss zwischen allen Kunden optimieren. Sie verwenden Geräte, die Daten von einem Sender auf der Vorderseite empfangen, z.B. Netflix, und die gleichen Daten an den richtigen Empfänger auf der Rückseite senden, z.B. Ihren Internet-Provider.

Diese Geräte werden als *Ethernet-Switches* bezeichnet: große Schränke voller Kabel. DE-CIX verfügt über Zugangs-Ethernet-Switches, die direkt mit einem Kunden verbunden sind, und Kern-Ethernet-Switches, die die Zugangs-Switches miteinander verbinden. Die Verwendung von zwei Arten von Switches hat den Vorteil, dass DE-CIX auf diese Weise mehrere Möglichkeiten schafft, Daten von A nach B zu senden. Dies verringert das Risiko von Staus bei hohem Verkehrsaufkommen und erhöht die Zuverlässigkeit, falls eine der Straßen unerwartet ausfällt. Dabei muss das Problem gelöst werden, wie man die Kunden so über den ersten Typ von Ethernet-Switch aufteilen kann, dass die Kosten so niedrig wie möglich sind, während die Geschwindigkeit und Zuverlässigkeit des Datenverkehrs so hoch wie möglich sein muss.



Um dieses Problem zu lösen, kann man mathematische Methoden der *Kombinatorik* verwenden. Die Berechnung aller möglichen Verbindungen zwischen allen angeschlossenen Kunden würde eine unpraktische Menge an Rechenzeit in Anspruch nehmen. Die Kombinatorik hilft, schnell gute Lösungen zu finden. Dabei machen viele Kombinationen, die in der Theorie möglich sind, in der Praxis keinen Sinn. So wäre es beispielsweise sehr teuer, nur einen großen Kunden an eine Zugangsvermittlungsstelle anzuschließen, weil der gesamte Verkehr dieses Kunden dann von DE-CIX zu anderen Vermittlungsstellen transportiert werden müsste. Die Algorithmen, die in der Software verwendet werden, können dies berücksichtigen. Eine einfache Sortierung, die das Problem sehr viel einfacher macht, besteht darin, Kunden, die viele Daten miteinander austauschen, so weit wie möglich an denselben Ethernet-Switch anzuschließen.

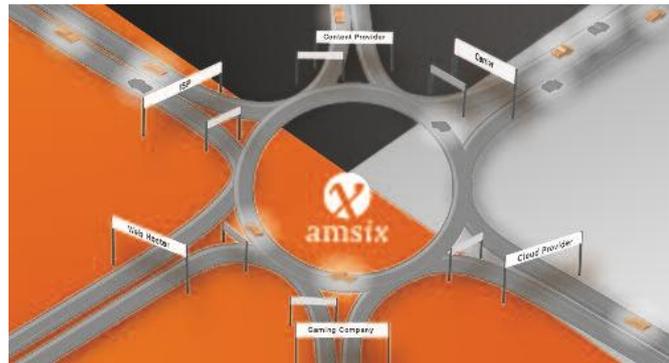


Abbildung 23: DE-CIX funktioniert wie ein Kreisverkehrsplatz für den Internetverkehr: Über DE-CIX kann Kunde A alle anderen Kunden gleichzeitig erreichen.

Graphentheorie

Ein zweites Problem, das hier mathematisch gelöst wird, hat mit der proaktiven Prüfung zu tun, ob Verbindungen zwischen Ethernet-Switches noch ordnungsgemäß funktionieren. Zu diesem Zweck wird die *Graphentheorie* verwendet, die mathematische Theorie der Netzwerke, die Knoten verbinden. So kann festgestellt werden, wie mit möglichst wenigen Testgeräten noch alle Verbindungen überprüft werden können. Der Algorithmus, der dafür verwendet wird, ist eine Variante des berühmten *Dijkstra-Algorithmus*, der zum Beispiel auch in der Navigationssoftware in Autos verwendet wird.

Die Menge des über den DE-CIX abgewickelten Internetverkehrs wächst jedes Jahr deutlich an, so dass jedes Jahr mehr Ethernet-Switches installiert werden müssen. Dies geschieht gewöhnlich in den ruhigen Sommermonaten. Im Jahr 2019 beträgt die Spitzenkapazität des DE-CIX nicht weniger als acht Terabit pro Sekunde - in der Größenordnung von zehntausend Mal schneller als das, was Sie als Verbraucher zu Hause haben. Und dank einer deutlichen Überkapazität und der Verteilung von Ethernet-Switches über unzählige physische Standorte in Frankfurt und vielen anderen Austauschpunkten in Deutschland und weltweit wird eine schnelle und robuste Internet-Infrastruktur geschaffen. Durch die Lockdown-Maßnahmen während der COVID-19-Pandemie stieg der Datenverkehr am DE-CIX seit Anfang/Mitte März 2020 weiter an, speziell im Bereich Videokommunikation und im Bereich Gaming.