

HET INTERNET IS TOE AAN EEN NIEUWE ARCHITECTUUR

Een schitterend

Een halve eeuw nadat het eerste zaadje ervoor werd geplant, is internet alomtegenwoordig: meer dan de helft van de wereld maakt er gebruik van. Maar nu is het tijd voor vernieuwing. 'Het internet moet op de schop; daar is geen ontkomen aan.'

tekst dr. ir. drs. Bennie Mols

ongeluk

Dit jaar vijftig jaar geleden werd aan de westkust van de VS het eerste computernetwerk geboren. Dat netwerk heette het ARPANET, vernoemd naar onderzoeksfinancier ARPA, later omgedoopt tot DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency). Op 29 oktober 1969, drie maanden nadat de eerste mens op de maan landde, werd het eerste bericht over het ARPANET gestuurd. Weinig poëtisch waren dat de letters 'LO'. Dat had 'LOG' moeten zijn, van 'LOGIN', maar bij het versturen van de letter G crashte het netwerk. Aan het einde van dat jaar verbond het ARPANET vier computers van vier universiteiten met elkaar.

Het ARPANET was het zaadje dat zou uitgroeien tot ons huidige internet, inmiddels gebruikt door 55 % van de wereldbevolking. Hoe verliep die voorgeschiedenis? En kunnen we de komende jaren met die ARPANET-basis nog wel verder? Of wordt het hoog tijd dat we het internet grondig onder handen nemen?

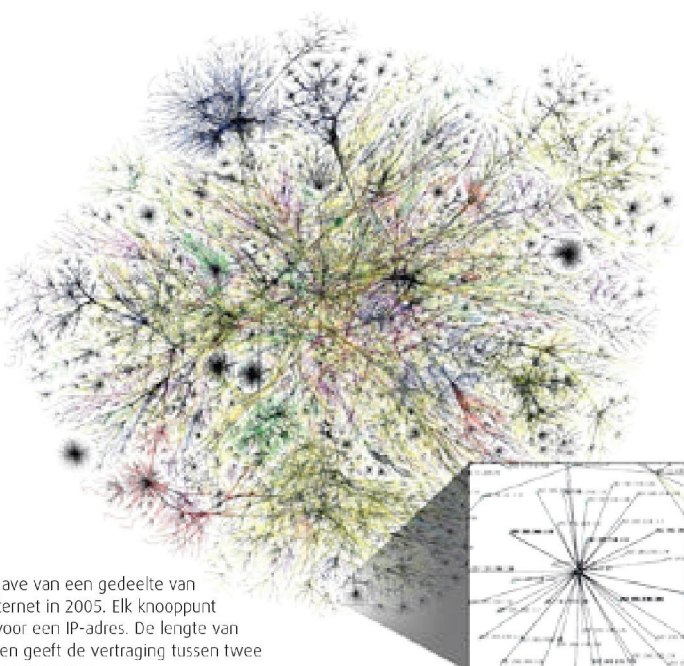
Pratende computers

'Het ironische is dat we destijds een telefoonlijn gebruikten om een nieuwe technologie te testen die later het telefoonnetwerk overbodig zou maken', vertelde Leonard Kleinrock onlangs op een symposium in Washington DC ter gelegenheid van vijftig jaar ARPANET. Kleinrock zat letterlijk aan de knoppen toen 'LO' werd verstuurd. 'Een uur na 'LO', met enkele aanpassingen in het systeem, hebben we het volledige bericht wel succesvol verzonden. Dat ging zo: 'Heb je de L?' ... 'Ja', hoorden we aan de andere kant van de telefoonlijn. 'Heb je de O?' ... 'Ja', klonkt het weer. 'Heb je de G?' Dat was een monumentale test.'

Waarom bouwden ze eigenlijk dat ARPANET? 'Computers waren in de jaren zestig erg duur, dus het idee van een netwerk van computers die elkaars rekenkracht konden delen, lag voor de hand', vertelde Stephen Crocker op hetzelfde symposium in Washington. 'En er was ook het idee van samenwerking tussen mensen op afstand. Deze twee ideeën hingen in de lucht.' Internetpionier Vint Cerf voegde er een derde motivatie aan toe: 'Twee invloedrijke onderzoekers in die tijd, Joseph Licklider en Douglas Engelbart, meenden dat computers de intellectuele mogelijkheden van mensen konden vergroten. Ze konden dus meer doen dan alleen rekenen.'

Die ideeën mogen dan in de lucht hebben gehangen, toch was het nog verre van duidelijk waarvoor het ARPANET precies zou worden

Illustratie The Opie Project/CC BY 2.5



Weergave van een gedeelte van het internet in 2005. Elk knooppunt staat voor een IP-adres. De lengte van de lijnen geeft de vertraging tussen twee knooppunten weer.

gebruikt, behalve dan voor het uitwisselen van bestanden en het gebruiken van computerkracht elders. Kleinrock herinnert zich: 'Voor mij was duidelijk dat computers vroeg of laat met elkaar moesten kunnen praten, maar daarvoor was geen technologie beschikbaar. Het telefoonnetwerk was ontoereikend. Ik besloot om een wiskundige theorie van datanetwerken te ontwikkelen. Toen ik die had uitgewerkt, gaf niemand er iets om. Er was geen toepassing. Telefoonbedrijf AT&T zei dat het niet zou werken. En zelfs als het wel zou werken, wilden ze er niets mee te maken hebben. Er was geen bedrijfsmodel.'

De beginjaren van het internet waren magisch, vertelde internetpionier Roberth Kahn aan het einde van het symposium: 'DARPA deed als onderzoeksfinancier iets wat vandaag de dag heel moeilijk zou zijn: een enorm project financieren zonder te weten waarvoor het zou worden gebruikt. Ik denk niet dat je dat nu nog voor elkaar zou krijgen. Er heerste gewoon een gevoel dat er goede dingen konden gebeuren vanuit een netwerk van computers en mensen.'

Het is haast toverkunst dat ons huidige internet nog steeds draait op een architectuur die in de jaren zestig en zeventig is ontwikkeld. Het is

dan ook hoog tijd om over te stappen op een fundamenteel nieuwe architectuur, vindt ir. Kees Neggers, voormalig directeur van SURFnet, het computernetwerk voor hoger onderwijs en onderzoek in Nederland. Hoewel hij al zeven jaar met pensioen is, ligt het internet hem nog steeds na aan het hart.

'Internet is een schitterend ongeluk', zegt Neggers, die als Nederlandse internetpionier is opgenomen in de Internet Hall of Fame. 'Het is zeer succesvol en we kunnen niet meer zonder. Maar we moeten het zien als een prototype. Het is bedacht om onderzoekers die elkaar vertrouwden op een paar computers met elkaar te laten samenwerken.' Het is dus helemaal niet ontworpen om wereldwijd te worden uitgerold, vervolgt hij. 'En het is al helemaal niet bedacht voor real-timediensten zoals Skype of Netflix. Internet moet op de schop; daar is geen ontkomen aan.'

Pleisters plakken

Vanaf begin jaren zeventig werd het ARPANET geleidelijk uitgebreid. In augustus 1972 had het al 29 knooppunten en in 1973 volgden de eerste knooppunten buiten de VS: in het Verenigd Koninkrijk en Noorwegen. Het was toen ook al duidelijk dat het communicatieprotocol waarmee het ARPANET in 1969 was gestart verbetering behoeft. Daarom ontwikkelden Vint Cerf van Stanford University en Bob Kahn van DARPA in 1973 het Transmission Control Protocol (TCP). In Frankrijk bedacht Louis Pouzin een alternatief. In 1976 werd internationaal overeenstemming bereikt over een gezamenlijk protocol.

Neggers: 'Helaas besloten ze toen bij DARPA dat ze al te ver waren met hun TCP-protocol en dat ze daarmee door zouden gaan. Maar TCP bleek nog lang niet af. In 1978 werd de derde versie gesplitst in TCP en IP om in 1981 te worden voltooid als het internetprotocol TCP/IPv4. Op

50 JAAR INTERNET

1969

1971

1973

1982

1983



Het eerste zaadje van ons huidige internet: het ARPANET, bedoeld als computernetwerk voor universitaire onderzoekers.

Programmeur Ray Tomlinson stuurt de eerste e-mail tussen twee computers van het ARPANET. Hij gebruikt ook als eerste het @-teken in een e-mailadres.

Vint Cerf en Bob Kahn ontwikkelen het Transmission Control Protocol (TCP). Samen met het Internet Protocol (IP) vormt dit TCP/IP, een open standaard die alle vormen van communicatie tussen alle soorten netwerken mogelijk maakt.

Eunet begint met een centraal Unix-netwerkknooppunt in Amsterdam. Er zijn inmiddels duizend computers aangesloten op het internet.

ARPANET gaat over op het TCP/IP-protocol en wordt opgesplitst in een militair netwerk en een algemeen onderzoeknetwerk. Daarmee is het huidige internet geboren.

DE RUGGENGRAAT VAN HET INTERNET

Om informatie te versturen tussen verschillende computers, moeten er afspraken zijn over hoe die informatie wordt verstuurd. Die afspraken zitten in het Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP). TCP/IP zit ingebouwd in elke computer en elk tussenstation waar het internetverkeer langs loopt. Zo vormt het de ruggengraat van internet. Het protocol knipt alle verstuurde gegevens op in pakketjes. Elk pakketje krijgt een etiket waarop staat waar het vandaan komt en waar het naartoe moet. Vervolgens worden de pakketjes als in een estafette van het ene naar het andere tussenstation overgedragen tot ze uiteindelijk bij de ontvanger aankomen. Pakketjes van dezelfde zending, ofwel hetzelfde bestand, kunnen daarbij via verschillende wegen bij de ontvanger belanden.



foto: Hollandse Hoogte

Internetpionier Vint Cerf ontwikkelde samen met Bob Kahn in de jaren zeventig het Transmission Control Protocol (TCP).

1 januari 1983 werd het netwerkprotocol van het ARPANET uitgefaseerd en overal vervangen door TCP/IP.

In TCP/IP worden de IP-adressen zowel tussen netwerken als binnen netwerken gebruikt. 'Internet is dus geen echt internet, in de zin van een netwerk van netwerken. Dat had geen groot probleem hoeven zijn, want het ARPANET was nooit bedoeld om lang te gebruiken. Internationaal werd er doorgewerkt aan de benodigde definitieve internationale standaarden. Men dacht dat daarmee in de toekomst alles beter zou worden.' Helaas kon men het door jarenlange ruzies tussen de klassieke telefoonbedrijven en de opkomende computerbedrijven niet op tijd eens worden over nieuwe standaarden voor datacommunicatie, vertelt Neggers. 'Tegelijkertijd groeide het internet als kool, al snel ook buiten de betrouwbare ARPANET-omgeving. Dat kwam doordat TCP/IP een open-source-protocol was en DARPA had gezorgd voor diverse implementaties.'

Het is deze ARPANET-architectuur die volgens Neggers de bron is van diverse fundamentele problemen met ons huidige internet: 'Slechte veiligheid, slechte betrouwbaarheid, slechte schaalbaarheid en ongeschiktheid voor vele nieuwe toepassingen. We hebben het tot nu toe alleen overleefd door voortdurend pleisters te plakken, door steeds grotere computerkracht en door er veel bandbreedte tegenaan te gooien.'

In feite kan elke computer in het huidige internet elke andere computer bereiken. Internetadressen zijn eenvoudig te achterhalen. Dat maakt het extreem makkelijk voor kwaadwillenden om bijvoorbeeld een DDOS-aanval uit te voeren of om in te breken. Veel veiliger zou het zijn wanneer elk belangrijk netwerk een apart eilandje zou worden in een netwerk van netwerken en dat al die eilandjes netjes met elkaar kunnen praten. De eilandjes hebben dan een eigen adresboek en de verbindingen tussen de eilanden hebben ook een eigen adresboek.

Slechte schaalbaarheid is vooral een probleem voor hen die het internet draaiende moeten houden, maar slechte betrouwbaarheid raakt natuurlijk alle gebruikers. Denk aan het blijven hangen van filmpjes die je bekijkt of het stokken van een Skypegesprek. 'TCP/IP controleert pas bij de ontvanger of alle datapakketjes van een bestand ook

1986

1988

1989

1991

1993

1995

1998

NSFnet, het netwerk van de Amerikaanse National Science Foundation, gaat van start, evenals SURFnet, het netwerk voor hoger onderwijs en onderzoek in Nederland.

Het Centrum Wiskunde & Informatica (CWI) in Amsterdam wordt als eerste in Nederland verbonden met het internet.

Bij CERN in Genève zet Tim Berners-Lee een voorstel op papier voor wat uitgroeit tot het World Wide Web.

De eerste website wordt gelanceerd: info.cern.ch. Via deze url is de site nog steeds te bekijken.

CERN kondigt aan dat het World Wide Web voor iedereen gratis te gebruiken zal zijn.

Zoekmachine Yahoo, internetwinkel Amazon en veilingssite eBay worden opgericht.

Stanford-promovendi Sergey Brin en Larry Page richten Google op, het bedrijf achter de zoekmachine die nu voor meer dan 90 % van de zoekopdrachten wordt gebruikt.



Tim Berners-Lee, bedenker van het World Wide Web, in het computer-centrum van het deeltjesinstituut CERN, waar hij destijds werkzaam was

INTERNET VERSUS WWW

Het internet is het wereldwijde netwerk van computers die informatie met elkaar kunnen uitwisselen. Dat is te zien als een fysiek netwerk dat gebruikmaakt van hardware zoals netwerkkapitaal, kabels, glasvezels en communicatiesatellieten. In het alledaagse spraakgebruik is het woord internet echter een synoniem geworden voor wat eigenlijk het World Wide Web (WWW) is. Feitelijk is het WWW slechts een van de toepassingen die gebruikmaken van het internet. Andere toepassingen zijn bijvoorbeeld e-mail, internet-telefonie, Skype en het zogeheten *dark web*, een deel van het web dat onzichtbaar is voor gewone zoekmachines.

netjes zijn aangekomen', zegt Neggers. 'De hierop volgende terugkoppeling is echter te traag voor een wereldwijd netwerk met steeds meer reeltimetoe toepassingen. Het kan zijn dat er onderweg een pakketje is kwijtgeraakt of dat er pakketjes in een opstopping terecht zijn gekomen. Dan zit er voor de ontvanger niets anders op dan een bericht naar de afzender te sturen om die pakketjes nogmaals te sturen. Maar bij een erge opstopping kan hij de afzender mogelijk niet meer bereiken. En zelfs als de ontvanger de afzender nog wel kan bereiken, kan deze weinig anders doen dan opnieuw zenden. De afzender weet niet of de opstopping nog bestaat, misschien zelfs erger is geworden, of juist al lang is opgelost. Dat levert een heel instabiel systeem. Kwaliteitsgaranties geven voor internetverkeer is daarmee praktisch onmogelijk. Wanneer het internet verder groeit en steeds diverser wordt gebruikt, zal de betrouwbaarheid alleen nog maar verder afnemen.'

Enorme cyberaanval

Opvallend genoeg was al tijdens de ARPANET-ontwikkeling in grote lijnen bekend hoe een betere internet-netwerkachitectuur eruit zou kunnen zien. 'En intussen weten we nog veel meer', zegt Neggers. 'In 2007 ontwikkelde een andere internetpionier van het eerste uur, John Day, in zijn boek *Patterns in Network Architecture* de fundamenteën van een nieuwe architectuur: RINA, een afkorting van Recursive Internetwork Architecture. RINA lost de fundamentele problemen van TCP/IP op en presteert veel beter als het gaat om veiligheid, betrouwbaarheid en schaalbaarheid.'

Waarom wordt dit dan nog niet toegepast? 'Niemand kan dit alleen invoeren en er zijn veel gevestigde belangen', zegt Neggers. 'Een heleboel mensen verdienen hun brood met het plakken van pleisters op

het huidige internet. En landen gebruiken kwetsbaarheden van het internet maar al te graag om te spioneren of zelfs als wapen. Misschien dat mensen de noodzaak pas gaan inzien na een enorme cyberaanval of een crash die veel schade toebrengt.'

Toch is Neggers optimistisch dat het internet in de komende decennia wordt vervangen door een betere versie. 'We zijn ook in staat geweest van kanalen en karrensporen over te stappen op netwerken van spoorrails en autowegen. Partijen die kritische infrastructuur beheren – denk aan ziekenhuizen, elektriciteitsmaatschappijen en waterschappen – zouden kunnen kiezen voor die nieuwe architectuur. Dat worden dan aparte, zelfstandig beheerde, veilige netwerken. Ze kunnen dan zelf kiezen met wie ze willen koppelen en of ze wel of niet aan de rest van het internet willen hangen.'

We kunnen dus naast het bestaande internet geleidelijk een nieuw internet laten groeien dat veel veiliger, betrouwbaarder en schaalbaarder is, stelt Neggers. 'De noodzaak is er, technisch weten we hoe het moet ... Waarom doen we het dan niet? Je kunt je toch niet voorstellen dat straks zelfrijdende auto's en het Internet of Things afhankelijk zijn van het huidige, krakkemikkige internet?' |

50 JAAR INTERNET

2000



De beurswaarde van internet-bedrijven, die de jaren daarvoor snel was toegenomen, stort ineens. De *dot-com*-luchtbel spat uit elkaar.

2001



De gratis, door gebruikers geschreven internet-encyclopedie Wikipedia wordt opgericht. De site groeit uit tot een van de meest bezochte op internet.

2004



Mark Zuckerberg en medestudenten richten de sociale netwerksite Facebook op. Een jaar later volgt YouTube, nog een jaar later Twitter.

2007



Apple introduceert de eerste iPhone, waarna mobiel internet snel in veel landen wordt uitgerold.

2019



50 jaar na de introductie van het ARPANET is 55 procent van de wereldbevolking aangesloten op het internet.