

Sleutelboek
Computernetwerken



3.0

Marc Goris

De afbeeldingen in dit boek werden ofwel zelf aangemaakt ofwel ontleend van rechtenvrije bronnen. Van sommige afbeeldingen kon de oorspronkelijke bron niet achterhaald worden. Mogelijke rechthebbenden kunnen zich tot de auteur wenden via de website www.sleutelboek.eu.

© Marc Goris 2023

Uitgegeven door de auteur in eigen beheer.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, op welke wijze ook, zonder de uitdrukkelijke voorafgaande en schriftelijke toestemming van de auteur. Informatie over kopieerrechten en de wetgeving met betrekking tot de reproductie vindt u op www.reprobel.be.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced, stored or made public by any means whatsoever, whether electronic or mechanical, without prior permission in writing by the author.

ISBN 978 94 0369 674 4

NUR 120

Voorwoord

Dit cursusboek werd oorspronkelijk ontwikkeld voor gebruik in de studierichting informaticabeheer in alle schoolnetten van het Vlaamse secundair onderwijs. Toch vindt dit boek een veel ruimere verspreiding: het sluit immers ook perfect aan bij het programma van bepaalde opleidingsonderdelen in sommige opleidingen in het hoger en het volwassenenonderwijs. Ook in Nederland vindt dit boek zijn weg in het MBO-onderwijs. Dit boek belicht de bouw en werking van computernetwerken. Alles werd in een zo eenvoudig mogelijke taal geschreven en vaktermen worden uitvoerig verklaard.

Dit is de derde versie van het oorspronkelijke Sleutelboek Computernetwerken dat verscheen in 2013. Het is weer helemaal bij de tijd. Dit boek is ook in vierkleurendruk verkrijgbaar. Het staat niet op zichzelf. Toepassingen, bijkomende informatie, actuele ontwikkelingen, multimediatekstbestanden en oefeningen zijn terug te vinden op de website die bij dit boek hoort: www.sleutelboek.eu. Het is belangrijk te weten dat het boek niet volledig is zonder de website, en de website niet volledig zonder het boek. Beide vullen elkaar dus aan.

Dit boek is het tweede deel van een tweeluik. Het eerste deel behandelt de bouw en werking van computerhardware. Meer informatie over dat boek vindt u ook op de bovenstaande website.

Dit boek heet niet zomaar "Sleutelboek". Die naam betekent echt wel iets. Enerzijds vormt dit boek voor studenten en hobbyisten de sleutel tot meer inzicht in de bouw en de werking van netwerken. Ze veronderstelt geen voorkennis – dit in tegenstelling tot veel gespecialiseerde werken. Dat betekent ook dat nergens in het boek onnodig gedetailleerd op technische details wordt ingegaan. Over het OSI reference model bijvoorbeeld zijn halve encyclopedieën geschreven. Dit boek beperkt zich tot de noodzakelijke kennis om de bouw, functie en werking van een computernetwerk te kunnen plaatsen en begrijpen.

In zijn tweede betekenis verwijst het begrip "Sleutelboek" ook naar praktijkwerk. Er is aandacht voor praktijk-oefeningen waarbij er daadwerkelijk gesleuteld zal worden aan computernetwerken.

Dit Sleutelboek bespreekt geen specifieke software, maar uiteraard wordt er wel regelmatig naar verwezen. Wanneer dat gebeurt legt het boek geen keuze op: netwerkbesturingssystemen of andere software worden enkel in algemene termen besproken. Verwacht bijvoorbeeld geen stap-voor-stap-gids voor het configureren van een netwerkswitch. Wel vind je op de website links naar webpagina's waar je die informatie snel kan vinden.

Met de beruchte modernisering is de studierichting informaticabeheer in het Vlaamse onderwijs ter ziele gegaan. In de plaats kwamen enkele ICT-studierichtingen op verschillende niveaus (arbeidsmarktgericht en doorstroom-finaliteit). Dit boek sluit aan bij de nieuwe studierichtingen Applicatie- en Databeheer en Informatica en Communicatiewetenschappen. Voor de studierichting Datacommunicatie en Netwerkinstallaties werd het Sleutelboek Netwerktechniek ontwikkeld. Ook die vind je terug op www.sleutelboek.eu.

Een bijzonder woord van dank gaat uit naar Bart Coninckx, netwerkexpert en zaakvoerder van Bits 'n Tricks (<http://www.bitsandtricks.com>) voor zijn meer dan waardevol advies.

Marc Goris

Inhoudstafel

| | |
|---|-----------|
| 1. Inleiding..... | 7 |
| 1.1 Het doel van computernetwerken | 8 |
| 1.2 Schema van zenden en ontvangen..... | 9 |
| 1.3 Telecommunicatienetwerken | 11 |
| 1.4 Van analoog naar binair..... | 20 |
| 1.5 Transmissietypes | 22 |
| 1.6 Transmissiesnelheden..... | 24 |
| 2. Opbouw en werking van netwerken | 27 |
| 2.1 Netwerktopologieën..... | 28 |
| 2.2 Het OSI reference model..... | 31 |
| 2.3 Communicatieprotocollen | 35 |
| 2.3.1 Toegangsprotocollen | 36 |
| 2.3.2 Overdrachtsprotocollen..... | 38 |
| 2.3.3 Toepassingsprotocollen | 48 |
| 3. Netwerkhardware | 53 |
| 3.1 Netwerkkarten | 54 |
| 3.2 Transmissiemedia en connectoren | 55 |
| 3.2.1 Kenmerken van netwerkbekabeling..... | 55 |
| 3.2.2 Coaxiale kabel..... | 55 |
| 3.2.3 Twisted pair | 56 |
| 3.2.4 Glasvezelkabel | 61 |
| 3.2.5 Powerline communicatie | 63 |
| 3.2.6 WiFi | 64 |
| 3.2.7 Alternatieve draadloze technieken | 67 |
| 3.3 Netwerkverdeeldozen..... | 70 |
| 3.3.1 Repeater en hub | 70 |
| 3.3.2 Switch | 71 |
| 3.3.3 Bridge | 73 |
| 3.3.4 Router..... | 74 |
| 3.3.5 Wireless network access point | 74 |
| 4. Servers | 77 |
| 4.1 Client/server-verwerking..... | 78 |
| 4.2 Serverhardware | 81 |
| 4.3 Serverdiensten | 83 |
| 4.3.1 DHCP-server..... | 83 |
| 4.3.2 Domeincontroller | 87 |
| 4.3.3 Fileserver (bestandsserver)..... | 89 |
| 4.3.4 Mailserver | 90 |

- 4.3.5 Printserver 91
- 4.3.6 Application server (toepassingsserver)..... 91
- 4.3.7 Webserver (informatieserver) 92
- 4.4 Netwerkbesturingssystemen94
- 5. Netwerkbeveiliging 95**
- 5.1 Veiligheidsproblemen van een netwerk96
- 5.2 Beveiligingsbeleid..... 100
- 5.3 Beveiliging van draadloze netwerken 101
- 5.4 De firewall..... 104
- 5.5 De proxyserver 106
- 5.6 Virtuele netwerken107
- 5.6.1 VLAN 107
- 5.6.2 VPN 109
- 6. Het internet..... 111**
- 6.1 Een beknopte geschiedenis van het internet..... 112
- 6.2 De werking van het internet 115
- 6.2.1 IP-routering 115
- 6.2.2 DNS-adressering..... 117
- 6.3 De toegang tot het internet 120
- 6.4 Diensten op het internet..... 121
- 6.4.1 Het wereldwijde web 121
- 6.4.2 E-mail 124
- 6.4.3 Nieuwsgroepen (usenet)..... 125
- 6.4.4 E-commerce..... 126
- 6.4.5 Internettelefonie..... 127
- 6.4.6 Internet of Things..... 128
- 6.5 Cloud computing 130
- Literatuurlijst 135**
- Woordenlijst 137**

1. Inleiding

Wat je leert in dit hoofdstuk

- ▶ Het doel van computernetwerken
- ▶ Het schema van zenden en ontvangen
- ▶ De indeling van telecommunicatienetwerken op basis van geografische spreiding, schakeltechnieken, datacommunicatietechnologieën en hiërarchie
- ▶ De verschillen tussen analoge, digitale en binaire datatransmissie
- ▶ De verschillen tussen modulatietechnieken: amplitude-modulatie, frequentie-modulatie en fase-modulatie
- ▶ Het verschil tussen parallelle en seriële gegevensoverdracht
- ▶ Het uitdrukken van transmissiesnelheden

1.1 Het doel van computernetwerken

Al in de jaren 1960 ontstond de behoefte om de toenmalige computers in netwerken te laten samenwerken. Meer daarover lees je in hoofdstuk 6.1 over de geschiedenis van het internet. Tegenwoordig zijn computernetwerken niet meer weg te denken in bedrijven, scholen, organisaties en zelfs thuis. Computers samenbrengen in netwerken heeft immers tal van voordelen:

- ▶ **Gemeenschappelijk gebruik van gegevens:** vanop een computer in een netwerk kunnen gegevens beschikbaar worden gesteld voor andere computers. Omdat die gegevens centraal bewaard worden, werken alle gebruikers steeds met de meest recente gegevens en bestaan er geen conflicten met verschillende versies van bijvoorbeeld een centraal gegevensbestand.
- ▶ **Gemeenschappelijk gebruik van apparatuur:** scanners, printers en andere randapparaten kunnen door meerdere computers in een netwerk gebruikt worden.
- ▶ **Gemeenschappelijk gebruik van software:** programma's kunnen beschikbaar worden gemaakt op een server. Andere computers op het netwerk kunnen van deze programma's gebruik maken zonder dat ze lokaal moeten geïnstalleerd zijn. Op deze manier kan bespaard worden op schijfruimte en verwerkingscapaciteit van werkstations maar het veronderstelt wel een voldoende krachtige server.
- ▶ **Eenvoudiger systeembeheer:** via een netwerk is het makkelijker om als systeembeheerder de software op computers up-to-date te houden, om back-ups te maken, enz. Door een efficiënte planning kan een systeembeheerder veel tijd besparen.
- ▶ **Beveiliging:** via een netwerk kan een systeembeheerder gegevens centraal beveiligen, toegangen aanmaken en gebruikersrechten bepalen voor de gebruikers van het netwerk. Ook de beveiliging tegen virussen en hackers is makkelijker in een netwerk dan bij computers die elk apart op het internet zijn aangesloten.
- ▶ **Elektronische communicatie:** via een netwerk kunnen gebruikers elektronisch communiceren, of dat nu via e-mail is, al chattend of via voice-over-IP (netwerktelefonie).
- ▶ **Gemeenschappelijk gebruik van een internettoegang:** via een netwerk kan een internettoegang worden gedeeld voor meerdere computers op het netwerk.
- ▶ **Financiële besparing:** met behulp van een computernetwerk kan een bedrijf veel efficiënter werken. Bovendien kunnen ICT-middelen efficiënter worden beheerd. Dat levert een besparing op die al snel heel wat groter is dan de investeringskost in een computernetwerk.
- ▶ **Verhoging van rekenkracht:** in sommige omgevingen, zoals universiteiten en andere onderzoekscentra, kunnen computers via een netwerk hun rekencapaciteit bundelen voor rekentaken die te complex zijn voor een enkel computersysteem.

1.2 Schema van zenden en ontvangen

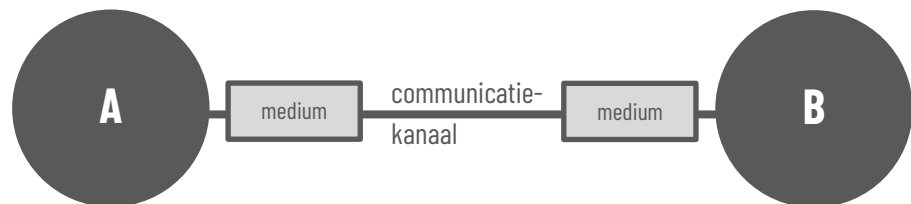
Elke communicatie verloopt steeds volgens dit schema:



Als A en B mensen zijn, dan is het communicatiekanaal de gemeenschappelijke taal. Als A een computer is en B is een printer, dan is het communicatiekanaal een printerkabel.

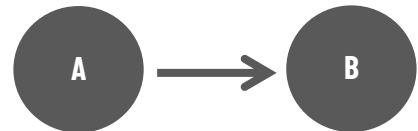
medium

Vaak staan er tussen A en B hindernissen in de weg die rechtstreekse communicatie onmogelijk maken. Een hulpmiddel dat deze hindernissen opheft, wordt een medium genoemd. Zo kunnen mensen die zich niet in elkaars buurt bevinden geen gesprek voeren. Maar met een telefoon wordt dat wel mogelijk. In dat geval is de telefoon het medium. Op dezelfde manier hebben computers een netwerkkaart nodig als medium voor onderlinge communicatie. Het communicatieschema ziet er dan zo uit:



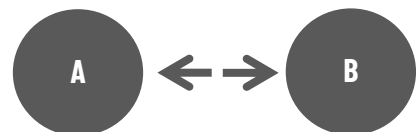
simplex

Wanneer er slechts communicatie mogelijk is in één richting, spreken we van simplex communicatie. Een voorbeeld van simplex communicatie zijn radio- of televisie-uitzendingen.



half-duplex

Soms is communicatie mogelijk in twee richtingen, maar niet tegelijkertijd. Dat noemen we half-duplex communicatie en dat is bijvoorbeeld het geval bij het communiceren via walkie-talkies.



duplex

Meestal kan er tegelijk in beide richtingen gecommuniceerd worden. Dat heet dan duplex communicatie. Telefoneren of chatten zijn vaak gebruikte vormen van duplex communicatie. Om duidelijk het onderscheid te maken met half-duplex communicatie spreekt men soms ook van full-duplex, al is die "full"-toevoeging eigenlijk overbodig.



full-duplex

In netwerken kan de communicatie tussen computers nog op een andere manier benoemd worden, afhankelijk of ze verloopt tussen twee, meerdere of zelfs alle computers. We spreken dan over castings.

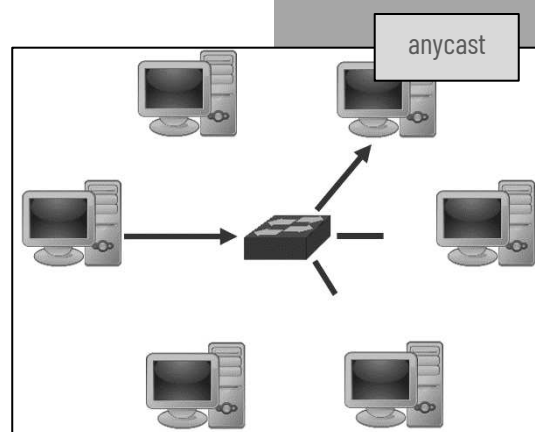
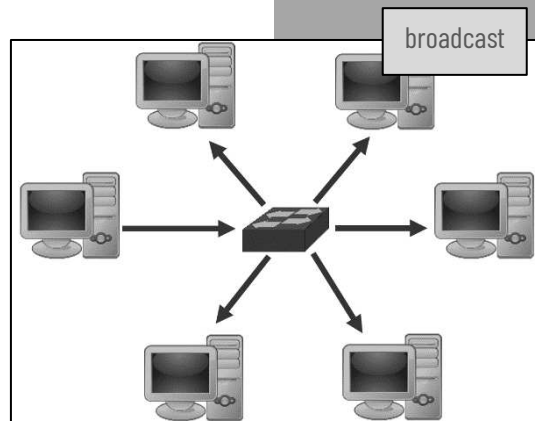
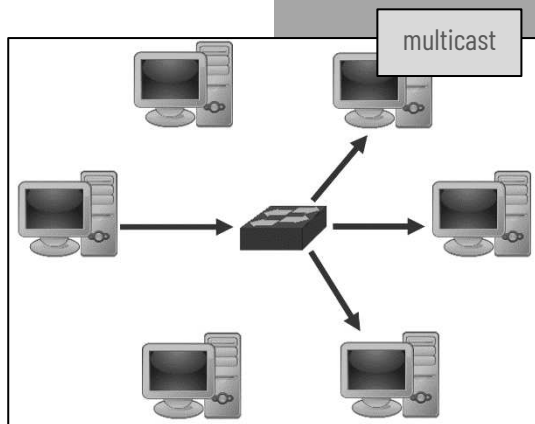
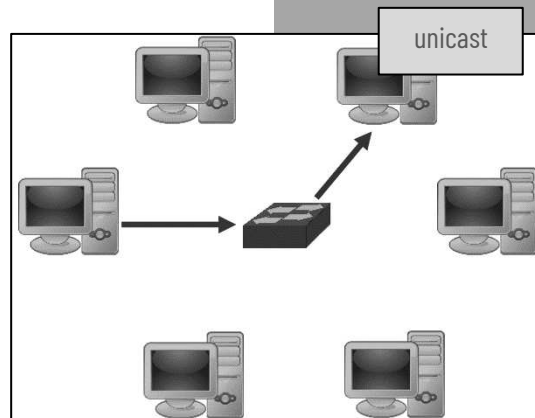
Wanneer een bericht wordt verzonden van een computer in een netwerk naar één andere, specifieke computer, wordt dat een unicast-bericht genoemd. Elke rechtstreekse communicatie tussen twee computers verloopt op die manier, bijvoorbeeld wanneer je een bestand van de ene computer kopieert naar de andere.

Een bericht dat wordt verzonden van een computer in een netwerk naar verschillende andere computers tegelijk, heet een multicast-bericht. Dat gebeurt bijvoorbeeld wanneer er op verschillende computers tegelijk dezelfde livestream wordt bekeken.

Als een bericht wordt verzonden van een computer in een netwerk naar alle andere computers tegelijk, dan is dat een broadcast-bericht. Dat doen computers bijvoorbeeld wanneer ze zich aanmelden op een netwerk en op zoek gaan naar een server die hen een IP-adres kan geven.

Een anycast-bericht tenslotte wordt verzonden van een computer in een netwerk naar de gemakkelijkst te bereiken computer met een bepaalde functie. Dat kan gebeuren wanneer je een website wil raadplegen die op verschillende servers gehost wordt. De server die het makkelijkst te bereiken is zal reageren en de website tonen.

casting



1.3 Telecommunicatienetwerken

Computernetwerken kunnen op verschillende manieren ingedeeld worden:

- ▶ Op basis van de geografische spreiding
- ▶ Op basis van de hiërarchie tussen de netwerkcomponenten
- ▶ Op basis van de schakeltechniek
- ▶ Op basis van de datacommunicatietechnologie

Indeling op basis van de geografische spreiding

LAN – local area network

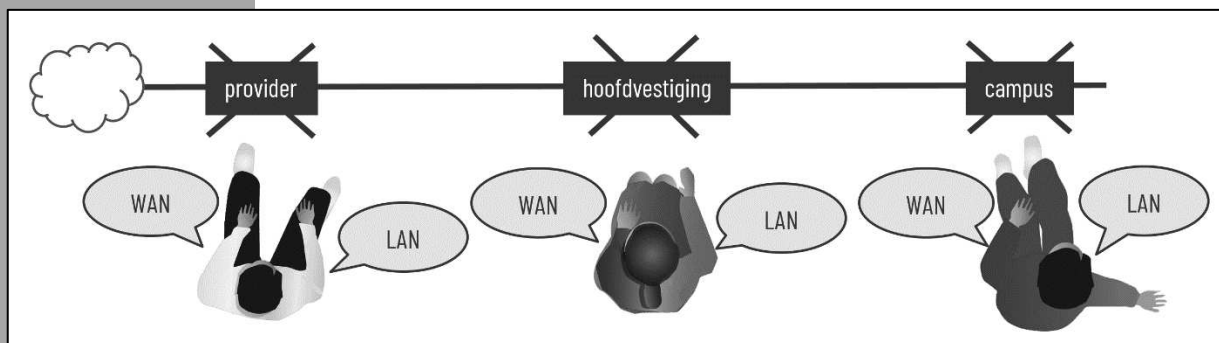
Een computernetwerk dat zich beperkt tot een klein geografisch gebied wordt een LAN (local area network) genoemd. Vervolgens de meeste computernetwerken zijn van dit type: je thuisnetwerk, het netwerk op je school of het netwerk op de campus van een bedrijf, een ziekenhuis, enz.

WAN – wide area network

Een computernetwerk dat zich uitstrekt over een groot geografisch gebied wordt een WAN (wide area network) genoemd. Het bekendste WAN is het internet, maar ook een bedrijfsnetwerk dat verschillende vestigingen over een grote afstand met elkaar verbindt, kan een WAN genoemd worden.

De begrippen LAN en WAN worden door netwerkbeheerders vaak gebruikt om het onderscheid te maken tussen het netwerk dat ze zelf beheren en het grotere netwerk waarvan dat deel uitmaakt. Dat wordt duidelijker met een voorbeeld. Een school bestaat uit een hoofdvestiging en drie andere campussen in de stad. Elke campus heeft z'n eigen netwerkbeheerder om het lokale netwerk in die campus te onderhouden.

Voor de netwerkbeheerder van zo'n campus is het netwerk binnen de campus het LAN en is de netwerkverbinding met de hoofdvestiging het WAN. Voor de netwerkbeheerder van de hoofdvestiging vormen de verbindingen met de verschillende campussen het LAN en is de verbinding met de internetprovider het WAN. En voor de netwerkbeheerder van de provider is de netwerkverbinding met de school het LAN, terwijl de verbindingen met internetrouters van andere providers het WAN vormen.

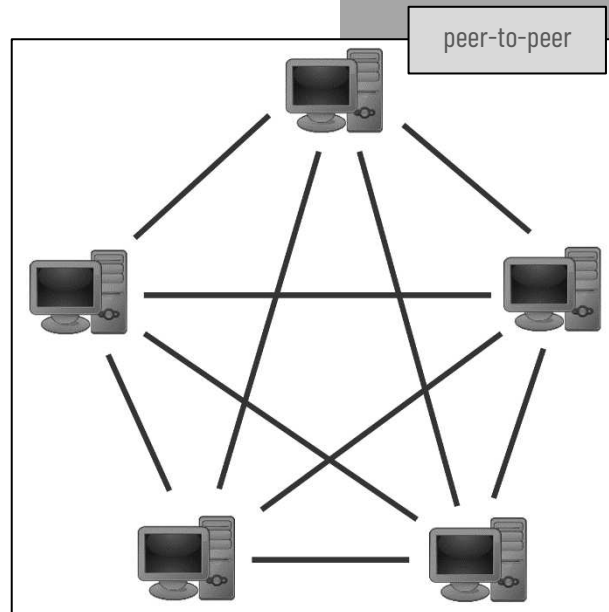


Indeling op basis van de hiërarchie tussen de netwerkcomponenten

In een peer-to-peer netwerk (in het Nederlands sporadisch een evenknie-netwerk genoemd) nemen alle computers een evenwaardige plaats in tegenover elkaar. De werkstations communiceren rechtstreeks met elkaar zonder tussenkomst van een server. In een dergelijk netwerk vervult elke computer een deel van de netwerktaken. Zo kan een werkstation diensten aanbieden aan andere computers in het netwerk, zoals het toegang geven tot een gedeelde printer of opslagcapaciteit delen. We spreken hier van een gedecentraliseerd netwerktype.

Een peer-to-peer netwerk is vrij eenvoudig te realiseren en is relatief goedkoop, want je hebt er geen dure netwerkapparatuur voor nodig. Wanneer één computer uitvalt, blijft het netwerk nog operationeel. Daar staat tegenover dat een peer-to-peer netwerk moeilijker te onderhouden is, dat de beveiliging op elke computer apart moet worden ingesteld en dat de consistentie van gegevens moeilijker te waarborgen is – dat wil zeggen: als gegevens verspreid staan over verschillende computers, en die gegevens worden los van elkaar gewijzigd, is het moeilijk vast te stellen welke de meest recente of correcte gegevens zijn. Een peer-to-peer netwerk is doorgaans minder stabiel en enkel geschikt voor zeer kleine netwerkjes.

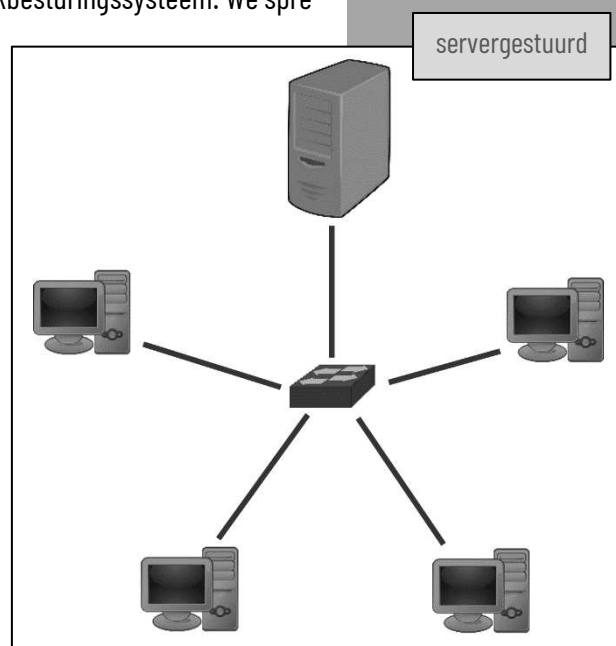
evenknie-netwerk



In een servergestuurd netwerk is er een duidelijke hiërarchie tussen werkstations en servers. Een krachtige computer, die server wordt genoemd, beheert het hele netwerk. Alle communicatie tussen de werkstations vindt steeds plaats met behulp van die server. Die dient daarvoor te beschikken over een netwerkbesturingssysteem. We spreken hier van een gecentraliseerd netwerktype, want dit soort netwerken maken een centraal netwerkbeheer en een centrale beveiliging een stuk makkelijker dan in een peer-to-peer netwerk. Netwerkdiensten zijn makkelijker op te zetten en te beheren en de consistentie van gegevens is makkelijker te waarborgen. Een servergestuurd netwerk is geschikt voor zowel grote als kleine netwerken.

Een servergestuurd netwerk is wel duurder omdat er specifieke netwerkapparatuur voor nodig is, zoals een router of een switch. Het instellen en onderhouden van die apparatuur en van een server, vergt meer specifieke kennis van netwerken. Tenslotte kunnen de server, de router en de switch maar beter betrouwbaar zijn, want als een van die toestellen uitvalt, kan het ganse netwerk onbeschikbaar worden.

servergestuurd



Indeling op basis van de schakeltechniek

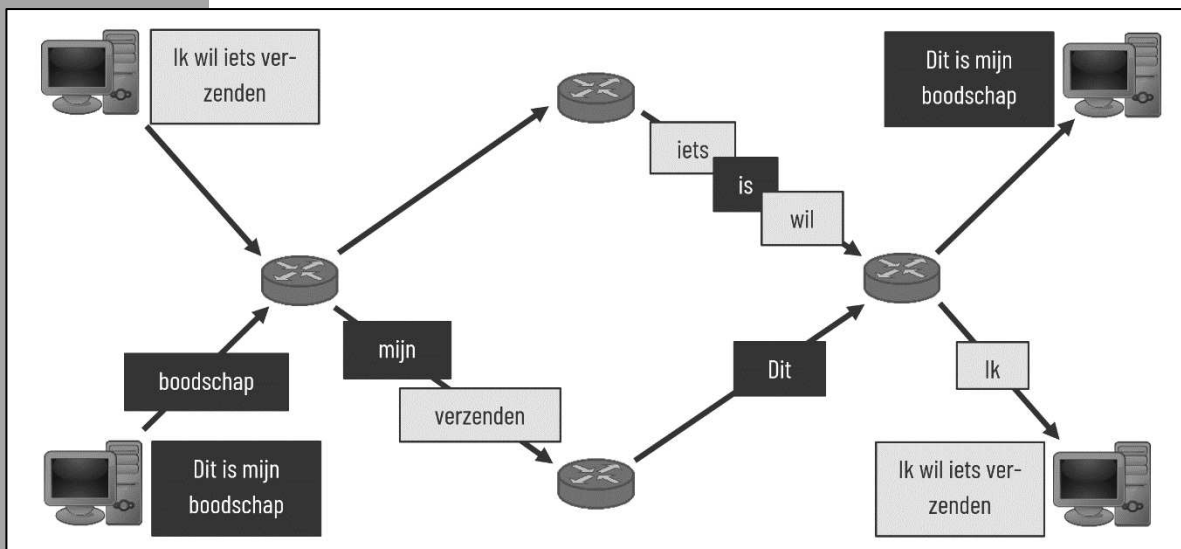
switching

Digitale informatie die over computernetwerken wordt rondgestuurd, wordt opgedeeld in pakketjes. In een computernetwerk zijn vaak heel wat verschillende computers tegelijk actief. De pakketjes van de diverse computers maken gebruik van dezelfde datacommunicatielijnen. De manier waarop die gemeenschappelijk datacommunicatielijnen worden gedeeld, heet switching. Daarvoor bestaan verschillende technieken:

- ▶ Packet switching (pakketschakeling)
- ▶ Circuit switching (circuitenschakeling)
- ▶ Message switching (berichtschaakeling)

packet switching
pakketschakeling

Bij packet switching (pakketschakeling) wordt elk pakketje voorzien van een tag waarin onder meer het adres van de ontvanger zit en de volgorde van de verschillende pakketjes in het volledige bericht. Vanuit verschillende computers worden de pakketjes willekeurig door elkaar verstuurd naar de ontvangers. Schematisch ziet er dat zo uit:

cell switching
tijdschakeling

Pakketjes die tussen twee computers verstuurd worden, hoeven niet noodzakelijk dezelfde route te volgen over het netwerk. Sterker nog: ze hoeven niet eens in dezelfde volgorde aan te komen als ze verstuurd zijn. Software zorgt ervoor dat de pakketjes correct worden opgesplitst en weer samengesteld. Bij oudere netwerken moesten de pakketten allemaal exact even groot zijn. Men sprak dan van cell switching (tijdschakeling). Moderne pakketgeschakelde netwerken laten een variabele pakketgrootte toe.

multiplexing

FDM – frequency division multiplexing
STDM – synchronous time division multiplexing

De techniek om eenzelfde datacommunicatielijns op te delen voor verschillende gelijktijdige communicatiestromen, wordt multiplexing genoemd. Wanneer de verschillende verbindingen aparte frequenties gebruiken die ver genoeg uit elkaar liggen om elkaar niet te storen, spreken we van frequency division multiplexing (FDM). Wisselen de verschillende verbindingen elkaar op een vast tijdsinterval af, dan heet dat synchronous time division multiplexing (STDM). Efficiënter is het als die tijdsinterval variabel is. Zo kan er een langere tijd toebedeeld worden aan een verbinding waarbij meer gegevens

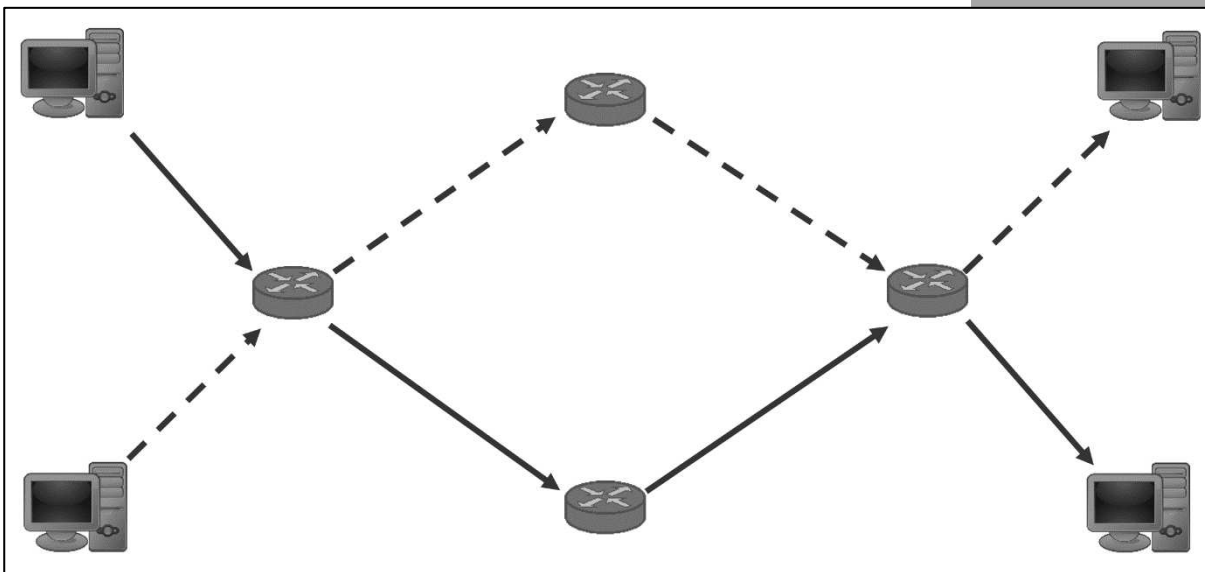
moeten doorgestuurd worden dan bij een andere verbinding. Dat wordt dan asynchronous time division multiplexing (ATDM) genoemd.

Bij circuit-switching (circuitschakeling) opent de zender een speciaal toegewezen communicatiekanaal met de ontvanger voor er gegevens verzonden worden. Wel kunnen verschillende communicatielijnen gebruik maken van dezelfde knooppunten op een netwerk. De verbinding tussen zender en ontvanger blijft open, ook als er even geen informatie wordt verstuurd, tot een signaal wordt gegeven om de verbinding af te sluiten.

Deze techniek is vooral geschikt voor interactieve communicatie die niet onderbroken mag worden, zoals bij telefoonverbindingen. Voorwaarde is wel dat de snelheid van het zenden en ontvangen op elkaar afgestemd is.

ATDM – asynchronous time division multiplexing

circuit-switching
circuitschakeling



Bij message-switching (berichtschaakeling) wordt een bericht wel opgedeeld in pakketjes, maar die worden als één bericht aanzien en in één geheel verzonden. Doorgaans verloopt die verzending niet rechtstreeks: het bericht wordt eerst van de zender naar een knooppunt gestuurd, waar het tijdelijk wordt opgeslagen (gebufferd). Pas nadat het volledige bericht ontvangen werd, wordt het doorgestuurd naar het volgende knooppunt, waar het eveneens gebufferd wordt alvorens het weer door te sturen. Bij elk knooppunt kan een controle gebeuren om na te gaan of er onderweg geen pakketjes van het bericht verloren gegaan zijn. Dit gaat zo verder tot de informatie bij de ontvanger terecht komt. Die manier van verzenden van informatie wordt ook store-and-forwarding genoemd.

message-switching
berichtschaakeling

store-and-forwarding

Het voordeel is dat dezelfde informatie op die manier naar verschillende ontvangers kan gestuurd worden, maar het nadeel is dat interactieve communicatie niet mogelijk is omdat de vertragingstijd tussen verzenden en ontvangen te groot is. Deze manier van werken wordt tegenwoordig niet meer op fysiek niveau toegepast. Op toepassingsniveau werkt bijvoorbeeld het versturen en ontvangen van e-mail wel op deze manier.

Indeling op basis van de datacommunicatietechnologie

In de loop van de geschiedenis ontstonden vanuit specifieke behoeften diverse communicatietechnologieën. Sommige van deze technologieën worden verder in dit boek nog gedetailleerder besproken, maar hier volgt alvast een korte beschrijving van de verschillende technologieën.

telefoonnetwerk



Het telefoonnetwerk bestaat uit telefooncentrales, telefoontoestellen en de bekabeling. De telefooncentrale zorgt voor het starten en verbreken van verbindingen tussen twee abonnees. Wanneer die abonnees op verschillende centrales zijn aangesloten, bestaat de totale verbinding uit een keten van centrales die met elkaar verbonden worden. De centrales zorgen er ook voor dat de opgebouwde verbindingen in stand worden gehouden zolang de abonnees dit wensen en registreren de aard en de duur van de verbindingen. Dat is belangrijk om achteraf de kosten van de verbinding aan de gebruikers te kunnen aanrekenen.

Het telefoonnetwerk was oorspronkelijk ontwikkeld als een analogoos netwerk. De akoestische spraaksignalen werden door de microfoon in het telefoontoestel omgezet in een elektrisch signaal. Aan de ontvangerskant werd dat elektrisch signaal door de luidspreker weer omgezet in een akoestisch signaal. Digitale communicatie via een klassieke telefoonlijn veronderstelde dus dat digitale gegevens eerst moesten worden omgezet naar analoge gegevens en bij de ontvanger opnieuw moesten worden omgezet naar digitale gegevens. Dit proces wordt moduleren en demoduleren genoemd en wordt uitgevoerd door een modem (zie 1.4).

dial-up line
leased line

Abonnees konden kiezen tussen geschakelde of kieslijnen (dial-up lines) en gehuurde lijnen (leased lines). De eerste soort was interessant voor wie slechts af en toe gebruik maakt van datacommunicatie via het telefoonnetwerk, zoals thuisgebruikers. Grote bedrijven die intensief gebruik maakten van de telefoon voor datacommunicatie kozen eerder voor een gehuurde lijn.

De frequentie op een telefoonlijn was beperkt (tussen 300 en 3400 Hz), waardoor de gegevens-overdrachtssnelheid erg traag verliep. Datacommunicatie via een klassieke telefoonlijn was bovendien niet erg betrouwbaar: storingen op de telefoonlijn kwamen vaak voor en zorgden er regelmatig voor dat verbindingen plots uitvielen. Het klassieke telefoonnet wordt vaak ook aangeduid met de afkorting PSTN (public switched telephone network), of wat meer spottend POTS (plain old telephone system).

PSTN – public switched telephone
network
POTS – plain old telephone system

ISDN (integrated services digital network) was een uitbreiding op het bestaande telefoonnet. Hierbij werd het signaal – zowel spraak als data – in digitale vorm verstuurd in plaats van analogoos. De telefooncentrales werden daarvoor speciaal aangepast in de jaren 1980 en 1990.

ISDN – integrated services digital
network

Met ISDN ging de gegevensoverdracht een stuk sneller dan via een klassieke telefoonlijn. Bovendien was de verbinding stabiel. Ze viel dus minder makkelijk weg. ISDN maakte ook nieuwe diensten op het telefoonnetwerk mogelijk: