

# Sleutelboek Computernetwerken



2.0

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](http://www.sleutelboek.eu).

© Marc Goris 2017

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](http://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 6367 228 3

NUR 120

## Voorwoord

Dit cursusboek is in de eerste plaats geschreven 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 kan dit boek ongetwijfeld zijn weg vinden in het onderwijs. Dit boek belicht de opbouw en werking van computernetwerken. Alles werd in een zo eenvoudig mogelijke taal geschreven en vaktermen worden uitvoerig verklaard.

Dit is een eerste herwerkte versie van het oorspronkelijke Sleutelboek Computernetwerken dat verscheen in 2013. Het boek werd vier jaar later grondig geactualiseerd en is dus helemaal bij de tijd. Dit boek is ook in goedkopere vorm in zwartafdruk verkrijgbaar.

Dit boek 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](http://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, het Sleutelboek Computerhardware 2.0, behandelt de bouw en werking van computersystemen en randapparatuur. 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 de computer. 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 netwerkprotocollen bijvoorbeeld zijn halve encyclopedieën geschreven. Dit boek beperkt zich tot de noodzakelijke kennis om de bouw, functie en werking van een computernetwerk en het internet te kunnen begrijpen.

In zijn tweede betekenis verwijst het begrip “Sleutelboek” ook naar praktijkwerk. Er is aandacht voor praktijkoefeningen waarbij er daadwerkelijk geëxperimenteerd wordt met netwerken. Deze praktijkoefeningen staan op de werkbladen bij dit Sleutelboek.

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

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

Marc Goris



# Inhoudstafel

<b>1. Inleiding</b> .....	<b>7</b>
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
<b>2. Opbouw en werking van netwerken</b> .....	<b>27</b>
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
<b>3. Netwerkhardware</b> .....	<b>53</b>
3.1 Netwerkkarten .....	54
3.2 De von Neumann architectuur .....	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.....	60
3.2.5 Powerline communicatie.....	61
3.2.6 WiFi.....	62
3.2.7 Alternatieve draadloze technieken .....	64
3.3 Netwerkverdeeldozen .....	67
3.3.1 Repeater en hub.....	67
3.3.2 Switch .....	68
3.3.3 Bridge .....	70
3.3.4 Router .....	70
3.3.5 Wireless network access point .....	71
<b>4. Servers</b> .....	<b>73</b>
4.1 Client/server-verwerking .....	74
4.2 Serverhardware.....	77
4.3 Serverdiensten.....	79
4.3.1 DHCP-server .....	79
4.3.2 Domeincontroller.....	83
4.3.3 Fileserver (bestandserver).....	85
4.3.4 Mailserver.....	86
4.3.5 Printserver.....	86
4.3.6 Application server (toepassingsserver) .....	87
4.3.7 Webserver (informatieserver).....	88
4.4 Netwerkbesturingssystemen.....	89

<b>5. Netwerkbeveiliging</b> .....	<b>91</b>
5.1 Veiligheidsproblemen van een netwerk .....	92
5.2 Beveiligingsbeleid .....	97
5.3 Beveiliging van draadloze netwerken .....	98
5.4 De firewall .....	100
5.5 De proxyserver .....	102
5.6 Virtuele netwerken.....	103
<b>6. Het internet</b> .....	<b>105</b>
6.1 Een beknopte geschiedenis van het internet .....	106
6.2 De werking van het internet.....	109
6.2.1 IP-routing .....	109
6.2.2 DNS-adressering.....	111
6.3 De toegang tot het internet .....	114
6.4 Diensten op het internet .....	115
6.4.1 Het wereldwijde web .....	115
6.4.2 E-mail.....	118
6.4.3 Nieuwsgroepen (usenet) .....	119
6.4.4 Chatten (IRC).....	120
6.4.5 E-commerce .....	120
6.4.6 Internettelefonie .....	121
6.4.7 Internet of Things .....	123
6.5 Cloud computing.....	125
<b>Literatuurlijst.....</b>	<b>129</b>

# 1. Inleiding

Waarin je leert dat het ene computernetwerk het andere niet is.

## 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 modulatie technieken: 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 worden op een server. Andere computers op het netwerk kunnen van deze programma's gebruik maken zonder 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 (netwerktelefoonie).
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:

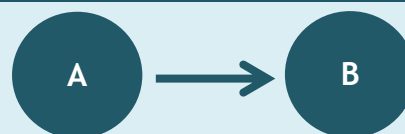


Als A en B mensen zijn, dan is het communicatiekanaal de gemeenschappelijke taal. Als A een computer is en B is een printer, dan is het communicatiekanaal een printerkabel.

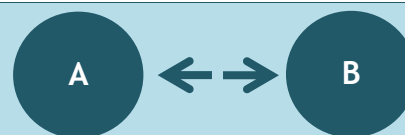
Vaak staan er tussen A en B hindernissen in de weg die rechtstreekse communicatie onmogelijk maken. Een hulpmiddel dat deze hindernissen opheft, wordt een medium genoemd. Zo kunnen mensen die zich niet in elkaars buurt bevinden geen gesprek voeren. Maar met een telefoon wordt dat wel mogelijk. In dat 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:



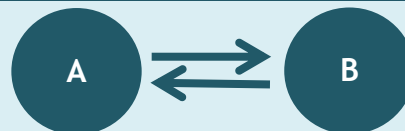
Wanneer er slechts communicatie mogelijk is in één richting, spreken we van simplex communicatie. Een voorbeeld van simplex communicatie zijn radio- of televisie-uitzendingen.



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.



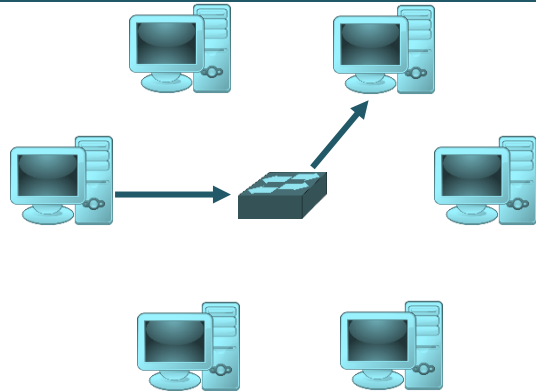
Meestal kan er tegelijk in beide richtingen gecommuniceerd worden. Dat heet dan duplex communicatie. Telefoneren of chatten zijn vaak gebruikte vormen van duplex communicatie. Om duidelijk het onderscheid te maken met half-duplex communicatie spreekt men soms ook van full-duplex, al is die "full"-toevoeging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



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*.

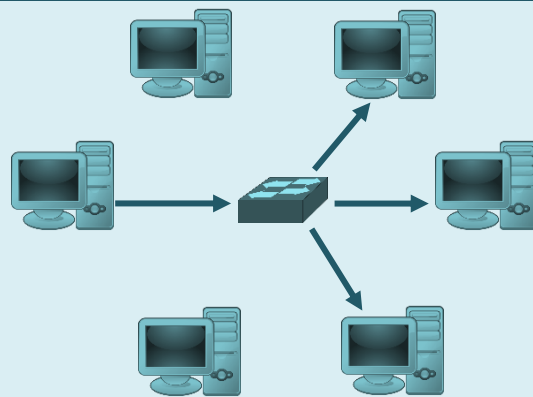
**unicast**

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



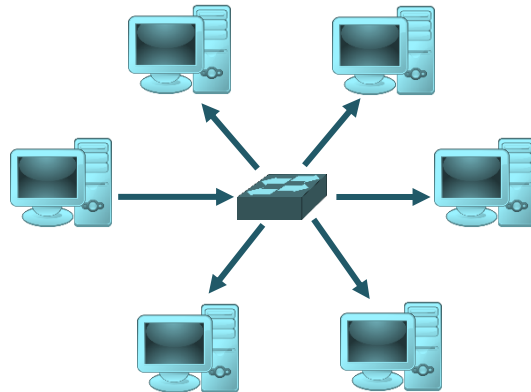
**multicast**

Een bericht wordt verzonden van een computer in een netwerk naar verschillende andere computers tegelijk. Dat gebeurt bijvoorbeeld wanneer er op verschillende computers tegelijk een filmpje wordt bekeken dat op één andere computer in het netwerk staat.



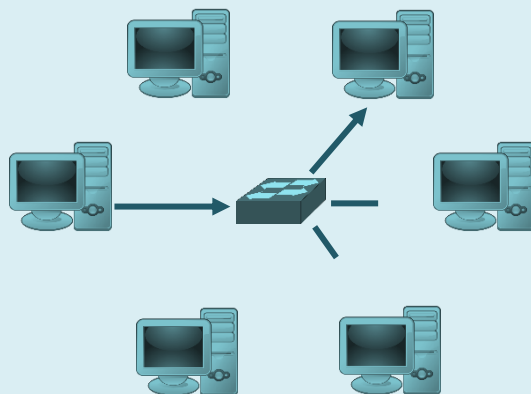
**broadcast**

Een bericht wordt verzonden van een computer in een netwerk naar alle andere computers tegelijk. 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.



**anycast**

Een bericht 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.



## 1.3 Telecommunicatienetwerken

Computernetwerken kunnen op verschillende manieren ingedeeld worden:

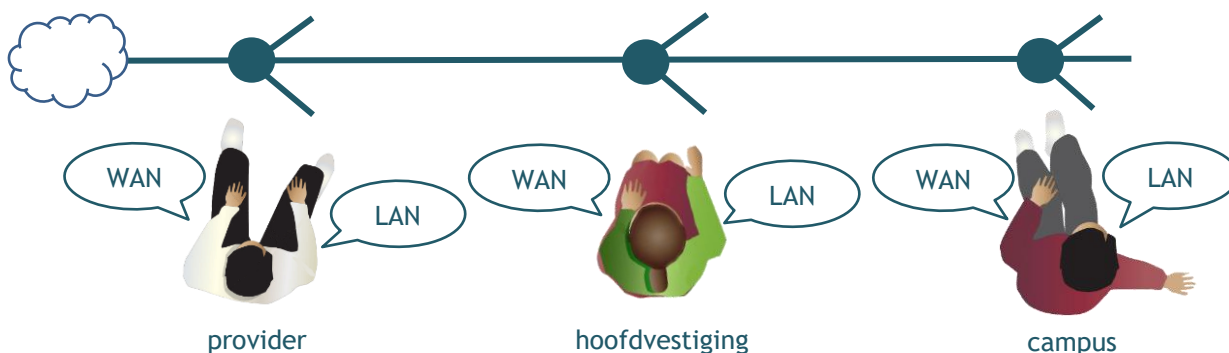
- Op basis van de geografische spreiding
- Op basis van de hiërarchie tussen de netwerkcomponenten
- Op basis van de schakeltechniek
- Op basis van de datacommunicatietechnologie

### Indeling op basis van de geografische spreiding

<b>LAN</b>	Een computernetwerk dat zich beperkt tot een klein geografisch gebied wordt een LAN (local area network) genoemd. Veruit 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.
<b>WAN</b>	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.
<b>MAN</b>	Tot voor een aantal jaren bestond er nog een tussenweg tussen een LAN en een WAN. Een MAN (metropolitan area network) was een netwerk dat zich uitstreckte over het grondgebied van een stad. Dit begrip dateert nog uit de tijd dat sommige grote steden hun inwoners via een eigen netwerk diensten wilden aanbieden. Met de doorbraak van het internet werd het MAN overbodig en verdween.

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 hoofdvesting 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 hoofdvesting het WAN. Voor de netwerkbeheerder van de hoofdvesting 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

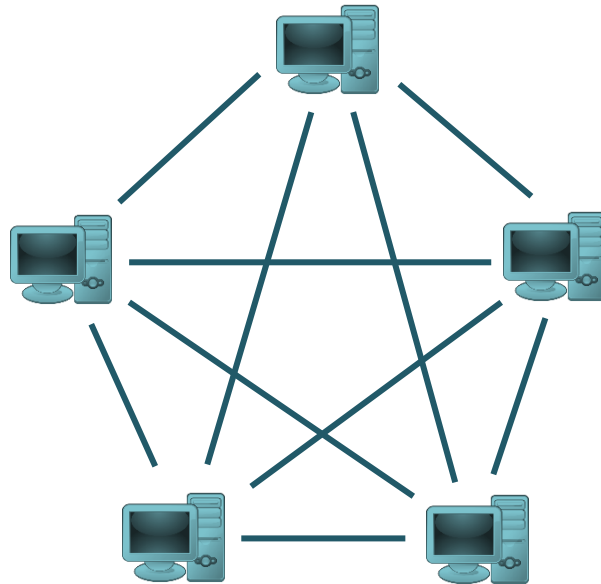
In een **peer-to-peer netwerk** (in het Nederlands sporadisch een evenknie-netwerk genoemd) nemen alle computers een evenwaardige plaats in tegenover elkaar. De werkstations communiceren rechtstreeks met elkaar zonder tussenkomst van een server. In een dergelijk netwerk vervult elke computer een deel van de netwerktaken. Zo kan eender welk workstation 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.

### Voordelen

- Relatief goedkoop, want geen dure netwerkapparatuur nodig
- Wanneer één computer uitvalt, blijft het netwerk nog operationeel
- Eenvoudig te realiseren

### Nadelen

- Moeilijker te onderhouden
- Beveiliging moet op elke computer apart worden ingesteld
- Consistentie van gegevens is moeilijker te waarborgen
- Doorgaans minder stabiel
- Enkel geschikt voor zeer kleine netwerkjes.



12

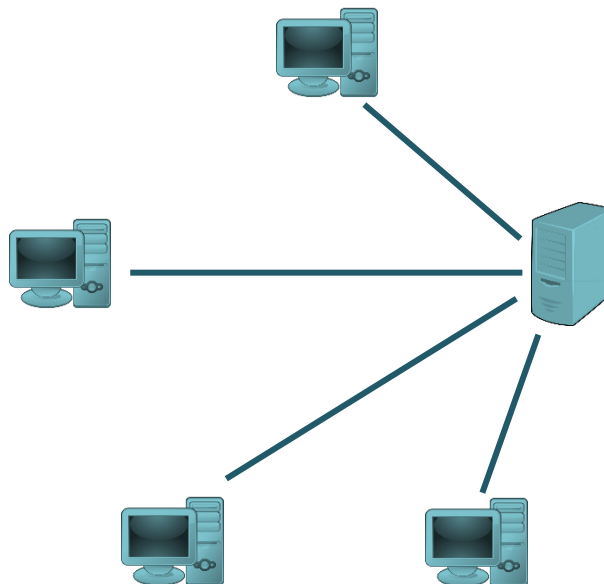
In een **servergestuurd netwerk** is er een duidelijke hiërarchie tussen werkstations en servers. Een krachtige computer, die server wordt genoemd, beheert het hele netwerk. Alle communicatie tussen de werkstations vindt steeds plaats met behulp van die server. Die dient daarvoor te beschikken over een netwerkbesturingssysteem. Dit soort netwerken maken een centraal netwerkbeheer en een centrale beveiliging een stuk makkelijker dan in een peer-to-peer netwerk. We spreken hier van een gecentraliseerd netwerktype.

### Voordelen

- Onderhoud kan centraal gebeuren
- Netwerkdiensten zijn makkelijker op te zetten en te controleren
- Consistentie van gegevens is makkelijker te waarborgen.
- Geschikt voor zowel grote als kleine netwerken.

### Nadelen

- Relatief duur
- Onderhoud vergt meer specifieke kennis van netwerken
- Als de server uitvalt, is het ganse netwerk onbeschikbaar



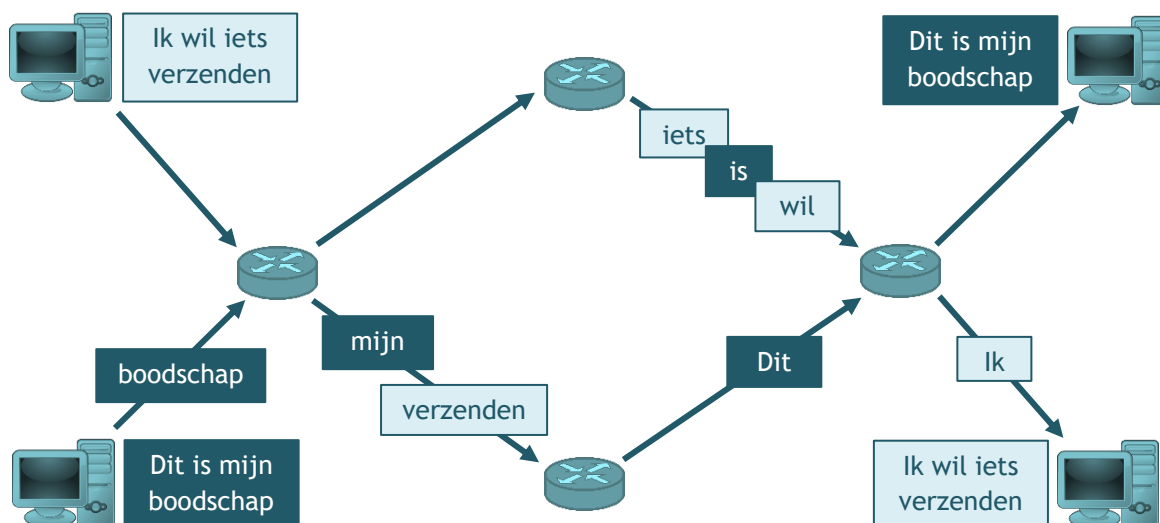
## Indeling op basis van de schakeltechniek

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 (circuit schakeling)
- Message switching (berichtschaakeling)

### Packet switching (pakketschakeling)

Bij packet switching 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:



Pakketjes die tussen twee computers verstuurd worden, hoeven niet noodzakelijk eenzelfde 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.

De techniek om eenzelfde datacommunicatielijn te delen wordt multiplexing genoemd:

Frequency division multiplexing (FDM)	De verschillende verbindingen gebruiken verschillende frequenties die ver genoeg uit elkaar liggen om elkaar niet te storen.
Synchronous time division multiplexing (STDM)	De verschillende verbindingen wisselen elkaar af op een vast tijdsinterval.

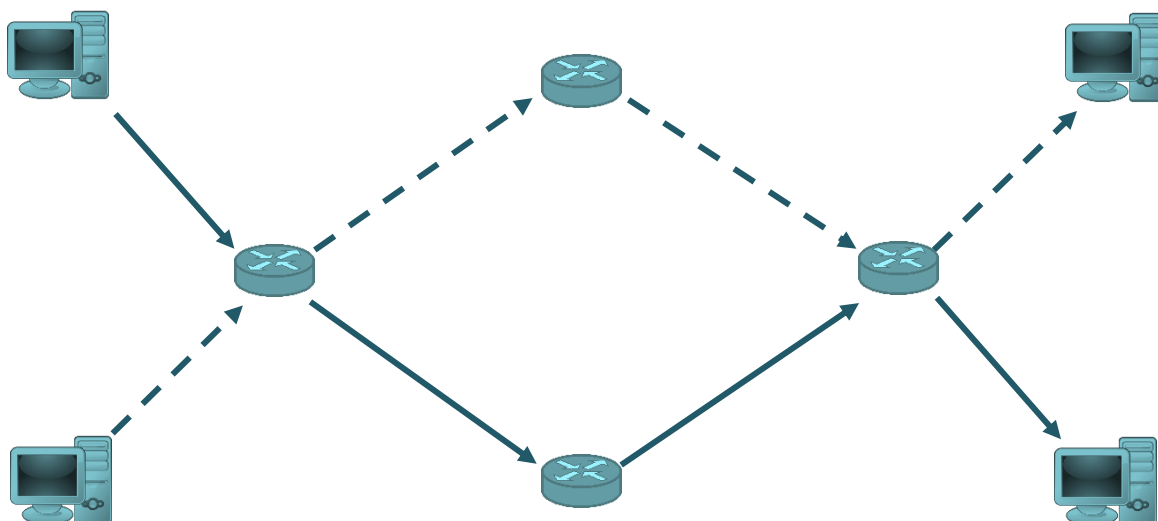
Asynchronous time division multiplexing (ATDM)

De verschillende verbindingen wisselen elkaar af, maar op een variabel tijdsinterval. Zo kan er een langere tijd toebedeeld worden aan een verbinding waarbij meer gegevens moeten doorgestuurd worden dan bij een andere verbinding.

### Circuit switching (circuitschakeling)

De zender opent 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.



14

### Message switching (berichtschaakeling)

Bij message switching 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 wel store-and-forwarding genoemd.

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.