

## Inhoud leereenheid 5

### **Vooruitblik**

#### Introductie

#### Leerkern

- 1 Afbakening van het domein communicatietechnologie
- 2 Fundamenten van de communicatietechnologie
  - 2.1 Informatieoverdracht en signalen
  - 2.2 Communicatietheorieën
  - 2.3 Transmissiemedia
  - 2.4 Lijncodering en modulatie
  - 2.5 Multiplexen
  - 2.6 Schakelen
- 3 Architectuur van communicatienetwerken
  - 3.1 Architectuur en ontwerp
  - 3.2 Topologie
  - 3.3 Functionele gelaagdheid
  - 3.4 Verkeer en gedrag
- 4 Toepassingen

#### Terugkoppeling

- Uitwerking van de opgaven

## Leereenheid 5

# Concepten en theorieën uit de communicatietechnologie

## INTRODUCTIE

In de leereenheden 2 t/m 4 is een aantal toepassingsdomeinen van communicatietechnologie uitgewerkt, waarbij u niet alleen kennisgemaakt hebt met een aantal technische aspecten van communicatietechnologie, maar ook een context van deze toepassingen hebt leren kennen.

In deze leereenheid worden de belangrijkste aspecten, waarmee u in de voorgaande leereenheden min of meer ad hoc kennis hebt gemaakt, op een systematische manier op een rij gezet.

## LEERDOELEN

Na het bestuderen van deze leereenheid wordt verwacht dat u

- een overzicht kunt geven van de belangrijkste aspecten die spelen rond communicatietechnologie
- de belangrijkste termen herkent die een rol spelen bij communicatietechnologie.

## *Studeeraanwijzingen*

In deze leereenheid worden de belangrijkste aspecten van de communicatietechnologie globaal beschreven en via opgaven wordt een link gelegd naar de toepassingsgebieden die u in de voorgaande leereenheden van deze cursus al tegenkwam. Het doel van deze aanpak is dat u een indruk krijgt van de belangrijkste onderwerpen uit de communicatietechnologie.

We benadrukken dat u de begrippen na het bestuderen van deze leereenheid nog niet hoeft te kennen, het gaat er hier slechts om dat u een overzicht krijgt van de concepten en theorieën uit de communicatietechnologie.

Studeeraanwijzing

De verwachte studieduur van deze leereenheid bedraagt 3 uur.

## LEERKERN

### 1 Afbakening van het domein communicatietechnologie

Communicatie start in het algemeen bij een bron die informatie met anderen uit wil wisselen. In de praktijk kan men zich hier in het algemeen een persoon bij voorstellen. Uiteindelijk zal de informatie ook veelal bedoeld zijn voor een of meer personen. De uit te wisselen informatie heeft in het algemeen ook een bestemming, want ergens wordt het signaal opgevangen en verwerkt, wil er van overdracht van informatie sprake zijn.

In deze cursus concentreren we ons op informatieoverdracht waarbij gebruikgemaakt wordt van technologie. We hebben hiervoor een model besproken dat bestaat uit een zender die de informatie van de bron omzet in een vorm die geschikt is voor transport, een kanaal waarlangs de informatie wordt verstuurd en een ontvanger die de ontvangen informatie weer omzet in een vorm die geschikt is voor de bestemming. Dit model noemen wij het *algemene communicatiemodel*. De technologie waar we ons in deze cursus op concentreren, wordt gevormd door de zender, het kanaal en de ontvanger. Figuur 1.1 in leereenheid 1 gaf dit algemene communicatiemodel model reeds schematisch weer. Het transport van deze informatie gaat via elektrische stromen door koperdraden, via licht door optische geleiders of via elektromagnetische signalen door de ruimte om ons heen.

Het communicatiemodel kan in veel situaties gebruikt worden. Zo hebben we in leereenheid 1 (figuur 1.4) gezien dat communicatie op kleine schaal in een computer plaatsvindt. Het model is ook hierop van toepassing. In deze cursus gaan we op deze kleine schaal van communicatie echter niet in. We concentreren ons op de communicatie die tussen computers plaatsvindt (zie ook paragraaf 2 van leereenheid 1).

## 2 Fundamenten van de communicatietechnologie

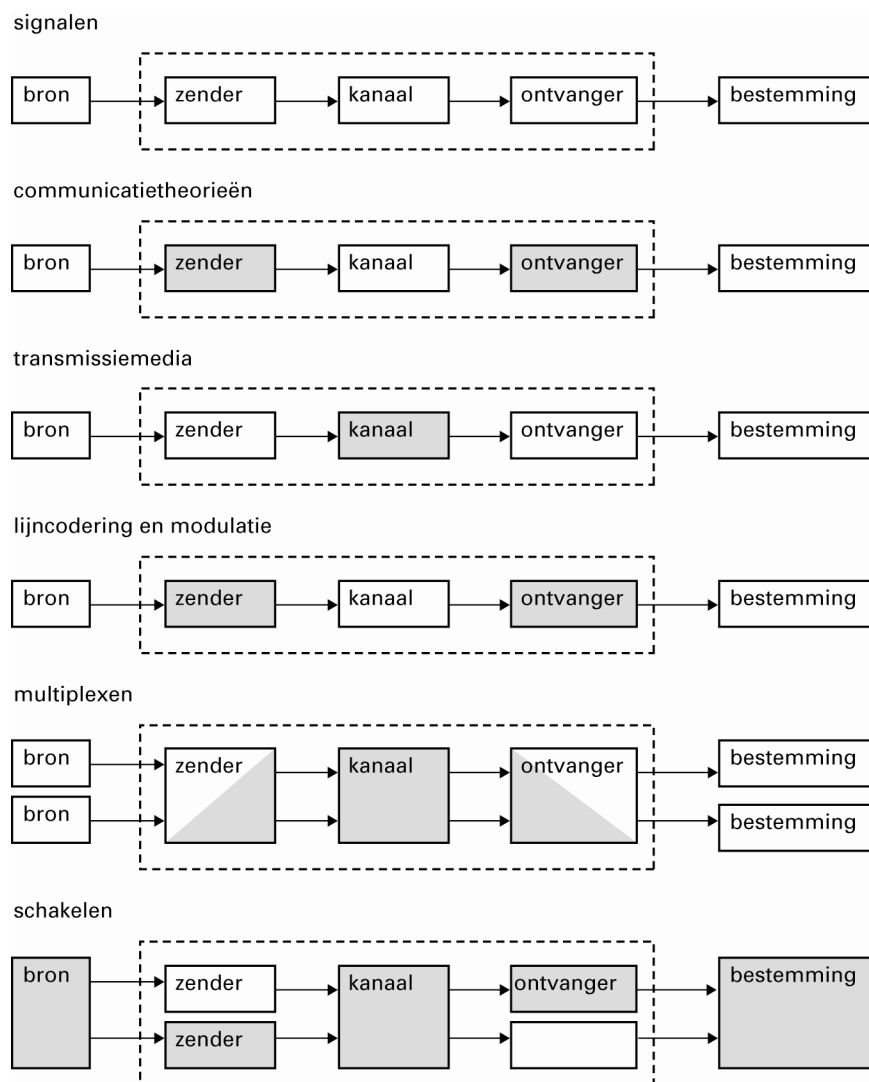
Het algemene communicatiemodel dat bestaat uit een bron, zender, kanaal, ontvanger en bestemming wordt gebruikt om de fundamenten van de communicatietechnologie uit te leggen.

De zender en de ontvanger zijn componenten waar de bron en de bestemming direct mee te maken hebben. De zender past het signaal afkomstig van de bron zodanig aan, dat het geschikt is voor transport langs het kanaal. Het kanaal, bijvoorbeeld een glasvezel, transporteert het signaal naar de ontvanger. De ontvanger past het signaal weer zodanig aan dat de bestemming het kan begrijpen. De pijlen in het communicatiemodel geven de signalen weer die de verzonden informatie transporteren.

De werking van de componenten is te begrijpen door kennis te hebben van de volgende fundamentele theorieën en concepten:

- signalen (paragraaf 2.1)
- communicatietheorieën (paragraaf 2.2)
- transmissiemedia (paragraaf 2.3)
- lijncodering en modulatie (paragraaf 2.4)
- multiplexen (paragraaf 2.5)
- schakelen (paragraaf 2.6).

Figuur 5.1 toont schematisch op welke componenten uit het communicatiemodel de onderwerpen uit paragraaf 2 in eerste instantie betrekking hebben. De grijze onderdelen in deze figuur geven aan waarop we bij een bepaalde component onze aandacht zullen richten. Verderop in deze leereenheid worden de verschillende onderwerpen behandeld.



FIGUUR 5.1 Schematische weergave van de onderwerpen die in paragraaf 2 behandeld worden

## 2.1 INFORMATIEOVERDRACHT EN SIGNALLEN

*Signaal*

*Fysisch  
verschijnsel*

Bij een *signaal* kunt u zich een fysisch verschijnsel voorstellen dat informatie met zich meedraagt. Voorbeelden van fysische verschijnselen waarvan binnen de communicatietechnologie gebruik wordt gemaakt, zijn elektrische stromen en elektromagnetisch velden. Door deze *fysische verschijnselen* in de tijd te laten veranderen kan informatie overgebracht worden. Het fysisch verschijnsel heeft in het geval van elektrische stromen een medium nodig dat zorgt voor het transport. Wanneer men licht of andere elektromagnetische velden gebruikt, is strikt genomen geen medium noodzakelijk, omdat ook transport van informatie via vacuüm mogelijk is. Ook elektromagnetische velden worden echter beïnvloed door een eventueel medium waardoor het transport plaatsvindt. Voorbeelden van transportmedia die de eigenschappen van de communicatie bepalen, zijn koperkabels, glasvezels en de atmosfeer. In het communicatiemodel (zie figuur 5.1) worden signalen aangegeven

Transportmedium

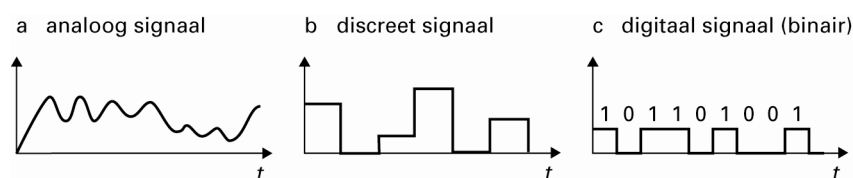
Analoog signaal

Digitaal signaal

middels pijlen. Het kanaal representeert voornamelijk het transportmedium.

Soms zal tijdens het *transport* omvorming van het signaal van het ene naar het andere *medium* nodig zijn. Het omvormen is een van de functies van het kanaal. Bijvoorbeeld: een elektrisch signaal dat via een koperdraad wordt getransporteerd, moet worden omgevormd naar een lichtsignaal dat via een glasvezel wordt getransporteerd.

Indien een signaal continu is, dat wil zeggen: alle mogelijke toestanden aan kan nemen in een bepaald bereik, noemen we dit een *analoog* signaal. Een signaal dat alleen bepaalde toestanden aan kan nemen, noemen we een discreet signaal. Representeert het signaal getallen, bijvoorbeeld nullen en enen, dan spreken we over een *digitaal* signaal. Wanneer het signaal slechts twee waarden aan kan nemen, dan noemen we dit een binair signaal. Figuur 5.2 geeft een aantal voorbeelden.



FIGUUR 5.2 Verschillende signalen  
a continu of analoog signaal  
b discreet signaal  
c binair signaal

#### OPGAVE 5.1

Via de elektrische telegraaf werd zo'n 150 jaar geleden met behulp van telegrafisten informatie uitgewisseld tussen zenders en ontvangers. Een telegrafist kreeg een boodschap van een klant en tikte dit bericht in morsecode in met een seinsleutel, waardoor aan de andere kant van de verbinding bij de telegrafist aldaar een klopper (een hamertje dat als gevolg van de in- en uitgeschakelde elektrische stroom tegen een klankkast slaat) werd geactiveerd.

Geef in dit voorbeeld van de elektrische telegraaf aan waaruit de bron, zender, kanaal, ontvanger en bestemming bestaan. Geef ook aan waaruit het signaal bestaat, wat het fysische verschijnsel is, wat het medium is, waar omvormers in het netwerk zitten en of het signaal continu (analoog) of discreet (digitaal) is.

Voor een goed begrip van communicatietechnologie is het belangrijk dat u er zich van bewust bent dat communicatietechnologie op fysisch niveau *altijd* gebruikmaakt van analoge technologie. De natuurlijke processen die gebruikt worden voor communicatietechnologie, zoals elektrische stroom en elektromagnetische straling, zijn immers analoge processen.

#### Leestekst

Dit geldt voor de schaal waarop communicatietechnologische processen zich afspelen. Op kleinere schaal, in het domein van atomen en moleculen, doen zich vanwege de kwantummechanica ook discrete fenomenen voor, maar dit digitale karakter op microniveau heeft *geen* gevolgen voor het analoge karakter op macroniveau.

Een eenvoudig communicatietechnologisch systeem zoals de telegraaf uit opgave 5.1 kan betrekkelijk eenvoudig met het basismodel beschreven

worden. Eveneens zijn hier goed aan te geven: het signaal, het fysisch proces, het medium, enzovoorts. In complexere communicatietechnologische systemen is dat in het algemeen moeilijker aan te geven.

In leereenheid 6 worden verder een aantal wiskundige en natuurkundige gereedschappen geïntroduceerd. We gaan in op de sinusfunctie en op formules waarmee we trillingen en golven kunnen beschrijven. Deze gereedschappen hebben we nodig om signalen te kunnen beschrijven en bij de bespreking van twee belangrijke communicatietheorieën, die het onderwerp zijn van leereenheid 7.

## 2.2 COMMUNICATIETHEORIEËN

*Fysische beperkingen*

*Sinusvormige veranderingen in de tijd  
Frequentie,  
Amplitude en fase*

*Bandbreedte*

*Demping*

*Ruis*

*Signaal-ruis-verhouding*

In leereenheid 7 wordt ingegaan op de mogelijkheden om doelmatig en doeltreffend met de beschikbare (veelal beperkte)

communicatietechnologische middelen om te gaan. De behandelde theorie biedt inzicht in de *fysische beperkingen* die kleven aan de verschillende communicatiekanalen, maar draagt tevens mogelijke oplossingen aan om binnen deze beperkingen maximaal gebruik te maken van het betreffende kanaal. De signalen in elektronische communicatievoorzieningen worden gerealiseerd door bepaalde elektrische eigenschappen in de tijd te laten veranderen. Die signalen kunnen beschreven worden als combinaties van *sinusvormige veranderingen in de tijd*. De veranderingen kunnen dus beschreven worden in termen van *frequentie*, *amplitude* en *fase*. Hier maken we gebruik van de in leereenheid 6 behandelde gereedschappen.

De zender en de ontvanger, maar vooral het gekozen medium, bepalen samen welke frequenties gebruikt kunnen worden en daarmee de *bandbreedte* die beschikbaar is voor de communicatie.

Fysische beperkingen zijn er de oorzaak van dat informatie niet over eindeloze afstanden getransporteerd kan worden. Het elektrische signaal dat via een kabel getransporteerd wordt, zal verzwakt worden naarmate de afstand toeneemt. Hetzelfde geldt voor elektromagnetische straling in de atmosfeer. Het verzwakken van een signaal tijdens het transport noemt men *demping*. Zowel voor het elektrische signaal als voor de elektromagnetische straling geldt dat de afstand die overbrugd kan worden, afhangt van de sterkte van het oorspronkelijke signaal en de mate van de verzwakking als gevolg van het transportmedium.

Behalve verzwakking, leidt ook *ruis* tot een verstoring van het signaal. Thermische ruis is een fysisch verschijnsel dat in elk medium voorkomt ten gevolge van de warmtebeweging van de atomen in de componenten van een communicatienetwerk. Bij afnemende temperatuur neemt ook de ruis af, om bij het absolute nulpunt ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  ofwel  $0\text{ K}$ ) geheel te verdwijnen.

Bij alle communicatieprocessen moet er dus rekening mee gehouden worden dat het signaal de thermische ruis in de betreffende component overtreft. Om aan te geven hoeveel een signaal sterker is dan de optredende ruis, is het begrip *signaal-ruis-verhouding* ingevoerd. Anders gezegd: de signaal-ruis-verhouding moet boven een minimale waarde uitkomen om ervoor te zorgen dat een signaal de informatie 'ongestoord' kan overdragen.

*Overbodige informatie*

*Broncoderen*

*Kanaalcoderen*

*Bemonsteren*

De behoefte om doelmatig met de beschikbare voorzieningen om te gaan, kan er ook toe leiden dat men *overbodige* (redundante) *informatie* probeert te vermijden. Het verwijderen van overtollige informatie noemen we *broncodering*. Men wil echter ook vaak informatie toevoegen die het mogelijk maakt fouten die tijdens de transmissie op kunnen treden, op te sporen en te corrigeren. Dit wordt *kanaalcoderen* genoemd. Tenslotte wordt onderbouwd op welke manier analoge informatie omgezet kan worden naar digitale informatie (het *bemonsteren*) zonder informatie te verliezen. Voor deze fenomenen wordt in leereenheid 7 een theoretische maat aangegeven. Dit maakt berekeningen mogelijk die gebruikt kunnen worden bij het ontwerpen van communicatiesystemen. De theorie die in leereenheid 7 behandeld wordt, heeft een sterk wiskundige basis.

#### OPGAVE 5.2

Via uw GSM-telefoontoestel maakt u draadloos verbinding met de antennes van uw telecomprovider. Wanneer u meer dan enkele kilometers verwijderd bent van de antenne, zal de ontvangst slechter worden. Het beschikbare spectrum dat door GSM toestellen gebruikt mag worden, staat uitsluitend communicatie met een transportcapaciteit tot 9,6 kbps (9600 bits per seconde) toe. Deze waarde ligt lager dan de theoretisch haalbare bandbreedte voor dit spectrum van 22,8 kbps. Noem een aantal aspecten die u herkent in deze beschrijving van het GSM-systeem en die gerelateerd zijn aan de fysische beperkingen die in deze paragraaf genoemd worden.

#### 2.3 TRANSMISSIEMEDIA

*Communicatie via kabels*  
*Draadloze communicatie*  
*Koperdraad*

*Demping*

*Overspraak*

*Afscherming*

Een communicatiekanaal kan gebruikmaken van diverse transmissiemedia. De transmissiemedia kunnen opgedeeld worden in draadgebonden (bekabelde) en draadloze media. De stroom die door de netwerkkabels van *koperdraad* loopt en zorgt voor het transport van de informatie, kan op diverse manieren beïnvloed worden. Behalve dat het signaal verzwakt wordt over langere afstanden (*demping*), bestaat er ook de mogelijkheid dat kabels die dicht bij elkaar liggen, elkaar beïnvloeden als gevolg van de elektromagnetische velden. Dit zijn velden die worden opgewekt door de stroom die in de kabels loopt. Deze beïnvloeding noemt men *overspraak* tussen kabels. Om die overspraak tegen te gaan, maar ook om het met de straling gepaard gaande energieverlies uit de kabel te beperken, worden kabels in het algemeen *afgeschermd*. Naarmate er meer informatie over de kabel verstuurd moet worden, moeten de signalen een hogere frequentie hebben (denk daarbij bijvoorbeeld aan de telegrafist uit opgave 5.1 die naarmate deze informatie het bericht sneller wil versturen, een hogere tikfrequentie zal moeten gebruiken). Doordat de signalen een hogere frequentie hebben, moet er echter ook meer moeite gedaan worden om de velden af te schermen, omdat hoogfrequente signalen krachtiger elektromagnetische velden genereren dan laagfrequente signalen.

*Glasvezel*

*Omzetting nodig*

*Draadloze  
communicatie*

*Antenne*

*Glasvezels* maken gebruik van licht (een vorm van elektromagnetische straling) voor het transport van informatie en hebben als voordeel dat grote afstanden overbrugd kunnen worden zonder dat er van onderlinge beïnvloeding van dicht bij elkaar liggende kabels sprake is. Ook is de maximale bandbreedte die bereikt kan worden met een glasvezel (honderden Gbps over een afstand tot honderden kilometers) hoger dan de bandbreedte die een koperkabel kan leveren (1 Gbps tot zo'n 100 meter). Een belangrijk nadeel is dat zenders en ontvangers in het algemeen gebaseerd zijn op elektrische schakelingen en er dus *omzetting nodig* is van elektrische naar elektromagnetische signalen en omgekeerd. Uit het beschikbare elektromagnetische spectrum wordt het gebied van 10 kHz tot 100 GHz gebruikt voor *draadloze communicatiedoeleinden*. Binnen dit gebied kunnen een groot aantal frequentiebanden (zie ook figuur 2.9 in leereenheid 2) aangewezen worden met allemaal verschillende eigenschappen. De wisselende eigenschappen van dit communicatiekanaal worden behalve door de eigenschappen en de vorm van de antennes ook bepaald door de wisselwerking van de elektromagnetische straling met het omgevende medium (lucht, de aarde, gebouwen). Een *antenne* is een omvormer die een wisselstroom omzet in een elektromagnetisch signaal (in een zender) of omgekeerd (in een ontvanger).

#### OPGAVE 5.3

Een chemisch bedrijf heeft een raffinaderijterrein met een doorsnede van enkele kilometers. De afdeling Beveiliging heeft twee gebouwen aan de randen van het complex van waaruit onder andere de toegang tot het terrein bewaakt wordt. Om die reden moet er een netwerkverbinding tussen beide gebouwen aangelegd worden die het mogelijk maakt om beelden en gegevens tussen de beide gebouwen uit te wisselen. Een verbinding van 100 Mbps wordt als minimum gezien. In aanmerking komt het aanleggen van een koperkabel, een glasvezel of een draadloos netwerk. Men stelt als eis dat het signaal niet afgetapt mag worden en niet beïnvloed mag worden door de zware machines en grote gebouwen van het bedrijf.

Geef een kwalitatieve beschouwing van de meest voor de hand liggende oplossing, los van de eventuele kosten en de mogelijke technische optimalisaties waardoor een niet voor de hand liggende oplossing in een bepaalde situatie toch de voorkeur kan krijgen.

#### 2.4 LIJNCODERING EN MODULATIE

*Lijncodering en  
modulatie*

In paragraaf 2.2 over communicatietheorieën merkten we kort op dat de zender het signaal, dat de informatie bevat, geschikt moet maken voor transport door het communicatiekanaal. Andersom maakt de ontvanger het signaal weer geschikt voor de bestemming. We zagen dat overbodige informatie verwijderd wordt (broncodering) en informatie voor foutdetectie en -correctie toegevoegd wordt (kanaalcodering). Er zijn echter ook aanpassingen in de zender en de ontvanger nodig om het signaal aan te passen aan de specifieke fysische eisen van het gebruikte medium in het communicatiekanaal. Er zijn in principe twee technieken om deze aanpassingen te realiseren, namelijk *lijncodering en modulatie*. Lijncodering heeft betrekking op technieken voor het coderen van digitale signalen en modulatie heeft betrekking op technieken voor het coderen van analoge signalen. Daarnaast is het vaak nodig om het signaal van analoog naar digitaal om te zetten of andersom. Informatie in

digitale vorm is eenvoudiger, goedkoper en meer betrouwbaar te transporteren en op te slaan in geheugens. Vandaar dat steeds meer informatie wordt gedigitaliseerd. Conversie van analoog naar digitaal en andersom blijft noodzakelijk, omdat wij mensen vooral analoge signalen interpreteren.

Een viertal vormen van codering die in de zender of ontvanger onderscheiden kunnen worden, zijn:

- broncodering; verwijderen van overvloedige informatie
- kanaalcodering; toevoegen foutdetecterende en corrigerende codes
- analoog-digitaal/digitaal-analoogcodering; aanpassen aan het gewenste transport- en opslagmechanisme
- lijncodering en modulatie; aanpassen aan het medium bij digitale respectievelijk analoge signalen.

Met betrekking tot de codeer- en modulatiealgoritmes kunnen vier situaties onderscheiden worden:

- codering van digitaal naar digitaal
- modulatie van analoog naar analoog
- modulatie van digitaal naar analoog
- codering van analoog naar digitaal.

Codering levert dus digitale signalen op en modulering analoge signalen.

#### OPGAVE 5.4

U maakt via een modem op een analoge telefoonlijn verbinding met het internet. Welke vormen van codering vinden er plaats in het modem? Ga er daarbij van uit dat er geen informatieverlies plaatsvindt bij het versturen van informatie via het modem én dat het digitale signaal dat uit de computer komt, geen overbodige informatie bevat. Ga ook na of er bij het modem van de internetprovider dezelfde coderingsmechanismes aan de orde zijn.

#### 2.5 MULTIPLEXEN

Om redenen van efficiëntie wordt een communicatiekanaal veelal door meerdere bronnen en bestemmingen gedeeld. Vaak betekent dit ook dat zenders en ontvangers gedeeld worden, maar dat hoeft niet altijd het geval te zijn.

##### *Multiplexen*

De techniek waarmee een communicatiekanaal door meerdere bronnen en bestemmingen gedeeld wordt, noemt men *multiplexen*.

##### *Ruimtedomein*

Multiplexen kan op verschillende manieren geïmplementeerd worden. Het combineren van een aantal kabels in een dikkere kabel *kan* als een vorm van multiplexen gezien worden. Hier wordt dus het *ruimtedomein* gezamenlijk gebruikt.

##### *Frequentiedomein*

Het is ook mogelijk om gebruik te maken van andere domeinen, bijvoorbeeld door handig gebruik te maken van het beschikbare frequentiespectrum van een communicatiekanaal. Het domein waar deze mogelijkheden zich voordoen, duidt men aan met de term *frequentiedomein*.

##### *Tijddomein*

Voor digitale signalen liggen er in het *tijddomein* toepassingen van multiplexen. In feite dient men zich hierbij een schakelaar (zie ook de volgende paragraaf die over schakelen gaat) voor te stellen die verschillende bronnen gedurende een bepaalde tijd toegang geeft tot een kanaal. Vanwege de ontwikkeling van de digitale technologie en de

betrekkelijke eenvoud ervan, krijgt multiplexen in het tijddomein steeds meer toepassingen.

#### OPGAVE 5.5

Gegeven de volgende infrastructurele componenten en opstellingen.

- Een router in het internetnetwerk stuurt verkeer van vele bronnen naar vele bestemmingen.
- Een telefoonaansluiting bij een particulier, die gebruikt wordt voor zowel internet via ADSL als telefoongesprekken. Beide diensten maken gebruik van een eigen frequentiegebied op de telefoonkabel.
- Een afgebakend lokaal netwerk dat bestaat uit een twintigtal werkplekken in verschillende ruimtes en een printer die met elkaar verbonden zijn via kabels in kabelgoten. De computers zijn stervormig aangesloten op een centrale switch. De kabels naar de verschillende ruimtes lopen deels gezamenlijk door kabelgoten.

Welk wijze van multiplexen herkent u in deze drie beschrijvingen?

#### 2.6 SCHAKELLEN

Schakelen is de technologie die gebruikt wordt wanneer er verschillende routes van zender naar ontvanger leiden. Er zijn verschillende technieken die schakelen mogelijk maken. Er worden twee hoofdvormen onderscheiden in systemen voor elektronische communicatie, namelijk circuitschakelen en store-and-forwardtechnieken.

##### *Circuitgeschakeld*

Bij *circuitschakelen* wordt een route voor een bepaalde periode opengezet voor een verbinding van zender naar ontvanger. Wanneer u bijvoorbeeld via uw bekabeld telefoontoestel, een verbinding hebt opgebouwd met een andere telefoontoestel zal deze verbinding geblokkeerd blijven, ongeacht of u praat of niet, totdat u of de ontvanger de verbinding verbreekt. Er kunnen meerdere schakelaars betrokken zijn om de totale verbinding tot stand te brengen en in stand te houden.

##### *Store-and-forward*

Bij *store-and-forward* wordt het bericht van het ene schakelpunt naar het volgende verstuurd, maar zo dat het bericht volledig verwerkt moet zijn voordat het doorgestuurd kan worden naar het volgende schakelpunt. Om dit mogelijk te maken, moet het bericht tijdelijk opgeslagen kunnen worden, vandaar de naamgeving van dit alternatief voor circuitschakeling. Vervolgens kan het bericht zonder vertraging van zender naar ontvanger gestuurd worden. Het kan voorkomen dat berichten niet tijdig afgehandeld kunnen worden. In dat geval moet het bericht opnieuw verstuurd worden.

##### *Berichtschakelen en pakketschakelen*

Er worden twee vormen van store-and-forward onderscheiden, te weten berichtschakelen en pakketschakelen. Bij berichtschakelen wordt het volledige bericht dat tussen zender en ontvanger uitgewisseld wordt, in één keer op het netwerk geplaatst. Bij pakketschakelen wordt het bericht in kleine pakketjes met een vaste omvang opgedeeld, zodat een homogener verkeer ontstaat.

Circuitschakelen heeft als voordeel dat, als het circuit is opgebouwd, dit snelle netwerken oplevert doordat er geen opstoppen zijn en geen hertransport nodig is. Daartegenover gaan circuitgeschakelde netwerken inefficiënt met de beschikbare voorzieningen om, omdat de volledige verbinding ook openstaat wanneer de betreffende zender en ontvanger geen berichten uitwisselen.

Store-and-forwardtechnieken hebben het voordeel dat doelmatiger gebruikgemaakt wordt van de voorzieningen en er bovendien allerlei

additionele schakelmogelijkheden bestaan, zoals het toekennen van prioriteiten en het verzenden van een bericht naar meerdere bestemmingen.

OPGAVE 5.6

Gegeven zijn de volgende toepassingen op specifieke infrastructurele componenten.

- Een medisch specialist voert vanuit Nederland een operatie uit op een patiënt die in de VS op een operatietafel ligt. Er wordt gebruikgemaakt van het internet waar IP-pakketten door routers van bron naar bestemming gestuurd worden.
- Een telefoonaansluiting bij een bewakingsbedrijf wordt gebruikt om elke vijf minuten een videosignaal van een bepaalde locatie binnen te halen.

Geef gemotiveerd aan welke schakeltechnieken u in deze voorbeelden zou toepassen. Noem een specifiek nadeel van de toegepaste schakeltechniek bij de genoemde toepassing.

### 3 Architectuur van communicatienetwerken

#### *Architectuur*

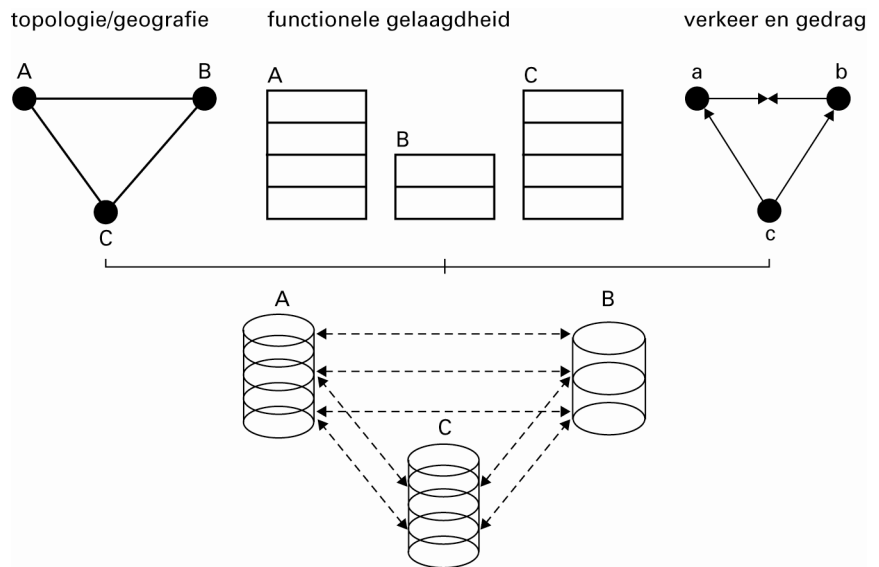
In paragraaf 2 hebt u kort kennis gemaakt met de belangrijkste technieken uit de communicatietechnologie. In deze paragraaf gaan wij in op het begrip architectuur waarmee inzicht in de structuur en de dynamiek van communicatienetwerken geboden kan worden.

*Architectuur* wordt in deze cursus als volgt gedefinieerd.

Een communicatiearchitectuur beschrijft de componenten uit het communicatiesysteem met hun verbanden. Maar ook wordt in de architectuur aandacht besteed aan de architectuurprincipes die ervoor moeten zorgen dat bij ontwerp en de verdere uitbouw van het communicatiesysteem dezelfde kaders gehanteerd worden.

Architectuur = de fundamentele organisatie van een systeem zoals vormgegeven door zijn componenten, hun onderlinge verbanden alsmede hun verbanden met de omgeving, evenals de principes die sturend zijn voor het ontwerp en de evolutie.

In deze cursus onderscheiden wij drie architectuuraspecten bij communicatienetwerken: de topografie en geografie, de functionele gelaagdheid en het verkeer en gedrag in netwerken. Figuur 5.3 geeft een overzicht van de opbouw van de communicatiearchitectuur.



FIGUUR 5.3 Opbouw communicatiearchitectuur

### 3.1 ARCHITECTUUR EN ONTWERP

Ontwerp van een  
communicatie-  
systeem

Het vastleggen van de architectuur van een *communicatiesysteem* is een belangrijke stap bij het systematisch *ontwerpen* van een technisch systeem. Er dient aandacht besteed te worden aan zaken als doelstelling, de omgeving waarbinnen het systeem gebruikt zal worden, de belanghebbenden die te maken hebben met het systeem als gebruiker of aanbieder van diensten, het standpunt van waaruit de verschillende betrokkenen denken en handelen en er dient een bibliotheek opgebouwd te worden, de standpuntbibliotheek, waarin de ontwerpbeslissingen gedocumenteerd worden.

Standaard

Een ander begrip dat een belangrijke rol speelt bij het ontwerpen van communicatiesystemen is het begrip *standaard*. Het begrip standaard wordt in deze cursus als volgt gedefinieerd: in een standaard wordt een verzameling algemeen aanvaarde afspraken vastgelegd met als doel de compatibiliteit tussen verschillende producten, processen en diensten te realiseren.

Decompositie

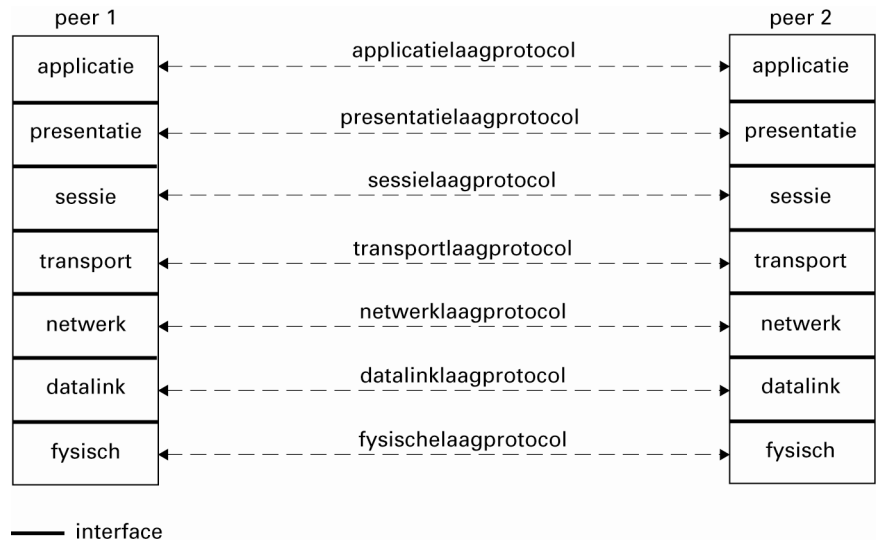
Nadat duidelijk is wat de gebruiker van een systeem met het systeem beoogt, dient er een *decompositie* plaats te vinden op basis van de probleemstelling, met als doel om het complexe probleem beheersbaar te houden. Een specifiek uitgangspunt dat gehanteerd wordt bij het ontwerpen van communicatiesystemen, is dan ook het onderscheiden van hiërarchische *lagen* in dit systeem. Het opbouwen van een communicatiesysteem uit verschillende lagen met duidelijk gedefinieerde interfaces (koppelvlakken) tussen de lagen is zeer vruchtbaar gebleken. De gelaagdheid vermijdt het ontstaan van complexe communicatiesystemen die moeilijk te beheren zijn en daardoor weinig flexibel. Een gelaagde structuur maakt het bovendien mogelijk om op elke laag de beste componenten in te zetten die op een bepaald ogenblik op de markt zijn, zonder dat de overige lagen aangepast hoeven te worden.

Gelaagdheid

OSI-  
referentiemodel

Hét referentiemodel voor een gelaagde netwerkarchitectuur is het in de jaren zeventig van de vorige eeuw ontwikkelde *OSI-referentiemodel* (open system interconnection reference model). Het OSI-model onderscheidt 7

lagen, te weten: de fysieke laag, de datalinklaag, de netwerklaag, de transportlaag, de sessielaag, de presentatielaag en de applicatielaag (zie figuur 5.4).



FIGUUR 5.4 De OSI-architectuur

Teneinde de verschillende componenten binnen een laag goed met elkaar te laten samenwerken (bijvoorbeeld tussen een afnemer en aanbieder van diensten, in het Engels peers of peer-entiteiten genoemd), moeten er afspraken gemaakt worden over de manier waarop binnen een laag onderling gecommuniceerd wordt. Deze afspraken worden vastgelegd in protocollen. In deze cursus definiëren wij een protocol als volgt: een *protocol* is een verzameling afspraken tussen peer-entiteiten met het doel een dienst te realiseren. Het raakvlak waar de aanpalende lagen diensten van elkaar afnemen, heet *interface*. Interface definiëren wij hier als: een specificatie van de interactie over het raakvlak van twee lagen. Het doel van een interface is dat elke laag via zijn interface een dienst aanbiedt aan de bovenliggende laag.

Protocol

Interface

#### OPGAVE 5.7

Gelaagdheid is een principe dat u niet alleen aan zult treffen bij communicatiesystemen, maar ook in andere domeinen. Ga na wat de drie belangrijkste lagen zijn in de opbouw van de hardware en software van een computersysteem dat gebaseerd is op Windows en dat *niet* is opgenomen in een netwerk (dus stand-alone gebruikt wordt). Wat is het verschil met de lagenstructuur in een netwerk? Wat verandert er wanneer de computer in een netwerk met andere computers opgenomen wordt? Neem als voorbeeld een Windows-programma dat draait op een computer en dat een bestand gebruikt op een Linux-server binnen hetzelfde LAN.

### 3.2 TOPOLOGIE

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Topologie</i>              | In deze cursus wordt topologie als volgt gedefinieerd: een <i>topologie</i> is een beschrijving van het verbindingspatroon tussen de knooppunten in een netwerk. De basisbouwstenen die in een topologie voorkomen, zijn het <i>knooppunt</i> (Engels: node) en de links tussen de knooppunten. Een knooppunt kan een apparaat zijn dat netwerkfuncties uitvoert, bijvoorbeeld een router of een telefooncentrale. Een knooppunt kan ook een aansluitpunt zijn waaraan een apparaat van een gebruiker gekoppeld wordt, zoals een server of een telefoon. De <i>link</i> beschrijft het communicatiekanaal dat gebruikt wordt.                                               |
| <i>Knooppunt</i>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Link</i>                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Geografische topologie</i> | De topologie van een communicatienetwerk kan op twee niveaus beschreven worden. De <i>fysische</i> of <i>geografische topologie</i> beschrijft de topologie van het netwerk in geografische termen, zoals de locatie van een computer en de precieze route die een kabel volgt. De <i>logische topologie</i> beschrijft de functionaliteit die de componenten van de beschreven geografische topologie aanbieden aan een bovenliggende laag.                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>Logische topologie</i>     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Redundant netwerk</i>      | Het belang van netwerken wordt in onze samenleving steeds groter. Om ervoor te zorgen dat de beschikbaarheid gegarandeerd blijft, worden netwerken vaak redundant uitgevoerd, waarbij knooppunten via meer dan één link met elkaar verbonden worden. <i>Redundante netwerken</i> zijn vooral relevant voor backbonenetwerken waar grote aantallen netwerkstations getroffen kunnen worden door de uitval van een link of een knooppunt. <i>Niet-redundante netwerken</i> komen voor in situaties waar door de uitval van een knooppunt of link slechts een beperkt aantal netwerkstations getroffen wordt. Lokale netwerken zijn in het algemeen niet-redundant uitgevoerd. |
| <i>Niet-redundant netwerk</i> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <i>Gelaagd netwerk</i>        | Wanneer men netwerken op wat grotere schaal bekijkt, is ook een <i>gelaagdheid</i> te onderkennen in het netwerk. Een internationaal telecommunicatienetwerk kan bijvoorbeeld opgedeeld gedacht worden uit het lange-afstandsnet, het middellange afstandsnet, het korte-afstandsnet en het aansluitnet.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

#### OPGAVE 5.8

Figuur 5.5 laat aan de hand van de geografische topologie van het SURFnet5 backbonenetwerk van eind 2003 (een uitbreiding van het SURFnet4-netwerk uit figuur 2.8) zien, op welke manier redundantie ingebracht kan worden. Ga na wat er gebeurt wanneer het knooppunt van Groningen, Maastricht, Tilburg of Amsterdam uitvalt. Geef aan wat er gebeurt wanneer één van de links tussen Amsterdam en Eindhoven, Maastricht en Heerlen, Leiden en Amsterdam of Enschede en Amsterdam uitvalt. Geef aan in hoeverre de betreffende steden dan nog bereikbaar zijn vanuit andere knooppunten in het SURFnet-netwerk.



FIGUUR 5.5 Geografische topologie van het SURFnet5-netwerk

### 3.3 FUNCTIONELE GELAAGDHEID

In deze cursus worden alleen de onderste lagen van het OSI-referentiemodel uitgebreid behandeld. De bovenste lagen met de toepassingsgerichte protocollen zijn minder gestandaardiseerd en worden in weinig toepassingen allemaal netjes uitgesplitst. De bovenste drie lagen worden in het internetprotocol bijvoorbeeld samengevat in één toepassingslaag en omvatten de specificaties van specifieke toepassingen zoals bestandsuitwisseling, e-mailverkeer, www-verkeer en dergelijke.

In deze paragraaf gaan wij kort in op de vier onderste lagen van het OSI-referentiemodel, te weten de fysische laag, de datalinklaag, de netwerklaag en de transportlaag.

#### *Fysische laag*

In de *fysische laag* spelen signalen een belangrijke rol. Aan de zenzijde worden de aangeboden bits omgezet in een signaal dat verstuurd kan worden via het medium. Aan de ontvangzijde wordt het signaal weer omgezet in bits. Deze bits worden doorgegeven aan de datalinklaag. Een tweede belangrijke taak van de fysische laag is het (de)activeren van het medium. Vanuit elk knooppunt in het netwerk moet het medium worden geactiveerd waarover het signaal verder wordt getransporteerd. Verder spelen in deze laag ook mechanische (denk aan stekkers), elektrische of optische aanpassingen.

#### *Datalinklaag*

##### *Detecteren van fouten*

De *datalinklaag* is ervoor verantwoordelijk dat de transmissie tussen twee knooppunten foutloos verloopt. Een belangrijke functie van deze laag is het *detecteren* en indien mogelijk herstellen van *fouten* in het dataverkeer. Er worden daarvoor controletekens toegevoegd. Wanneer een fout

geconstateerd is, is een protocol nodig dat de zender en ontvanger gebruiken om bijvoorbeeld via het herzenden van berichten fouten te herstellen.

*ADSL en kabel*

De transportdienst ADSL en het kabeltelevisiesysteem bevinden zich in de eerste twee lagen..

*Netwerklaag*

*Routeren*

*IP-adres*

De *netwerklaag* heeft als belangrijkste functie het *routeren* van het verkeer via de verschillende netwerkverbindingen. Routeren is het proces waarin de optimale route wordt gezocht in een netwerk. Voor het bepalen van de meest geschikte route zijn, in het geval van internet, de *IP-adressen* (verzend- en ontvangadres) in het te verzenden pakket van cruciaal belang. De routingstabel in een knooppunt zorgt ervoor dat bepaald kan worden welke route het meest optimaal is om een bepaalde bestemming, zoals aangegeven in het ontvangadres, te bereiken.

*Transportlaag*

De *transportlaag* treedt als intermediair op tussen de drie onderste lagen van het OSI-referentiemodel (die ervoor zorgen dat het transport goed verloopt) en de bovenste drie lagen (die vooral betrekking hebben op de functionaliteit van de communicatie). De invulling van deze laag is dus gerelateerd aan de gewenste functionaliteit. In sommige situaties is het bijvoorbeeld gewenst om een extra foutcorrectie uit te voeren wanneer men niet wil vertrouwen op de foutcorrecties in de onderste drie lagen. Het internet protocol TCP/IP vult deze laag onder andere in met twee protocollen waar de gebruiker, afhankelijk van de toepassing, gebruik van kan maken..

*TCP*

Verbindingsgericht

*UDP*

Verbindingsloos

Het protocol TCP, dat tot deze laag behoort, bevat een protocol dat verbindingsgericht is (eveneens aangeduid met TCP) en een protocol dat verbindingsloos is (UDP: user datagram protocol). UDP voegt weinig functionaliteit toe aan de onderliggende lagen. Een pakket bevat alleen het poortnummer en een controleveld dat ervoor zorgt dat het poortnummer niet aangepast kan worden. Gaat er iets fout met een UDP-pakket, dan volgt hierop geen actie door UDP. UDP wordt verbindingsloos genoemd, omdat door de zender niet gewacht wordt op een antwoord van de ontvanger.

TCP kent naast de poortnummers ook velden die een complexere communicatie tussen zender en ontvanger mogelijk maken, teneinde verlies van gegevens tegen te gaan. TCP heeft dus meer overhead en is daardoor trager..

*Poortnummer*

Om de verschillende soorten verkeer te kunnen onderscheiden, wordt in de transportlaag bovendien van *poortnummers* gebruikgemaakt. Deze zijn voor de onderliggende lagen niet relevant, maar bieden de toepassingen de mogelijkheid om verkeer van verschillende functies te scheiden. Veelgebruikte poortnummers zijn onder andere poort 80 voor het uitwisselen van webpagina's of poort 21 voor het uitwisselen van bestanden.

#### OPGAVE 5.9

Het transport van videobeelden stelt hoge eisen aan de capaciteit van een netwerk. Denkt u dat het bezwaarlijk zou zijn om een videoservert waarmee een omroep tv-programma's van de afgelopen dagen beschikbaar stelt via het openbare internet, gebruik te laten maken van UDP?

*Prestatie*

*Prestatie-indicatoren*

*Real-time*

*Non-real-time*

*Netwerkmangement*

Het centrale aspect bij het beschrijven van het verkeer en gedrag van een netwerk is de *prestatie* van dat netwerk. De prestatie van een netwerk is een complex fenomeen dat sterk verweven is met de aspecten topologie en gelaagdheid. Om de prestatie van een netwerk te beoordelen, gebruikt men een aantal *prestatie-indicatoren* zoals een gebruiker die ervaart. Voorbeelden zijn: is het systeem wel beschikbaar, hoe snel reageert het systeem wanneer het beschikbaar is, hoe groot is de kans dat er geen verbinding totstandkomt en hoeveel transacties kunnen per tijdseenheid uitgevoerd worden.

Daarenboven stellen verschillende toepassingen nog geheel verschillende eisen aan het communicatienetwerk. Toepassingen die een typisch *real-time* karakter hebben, zoals het voorbeeld van een chirurgische operatie die via het netwerk uitgevoerd wordt, vergen veel meer van het netwerk dan bijvoorbeeld het uitwisselen van een e-mailbericht (*non-real-time*).

Deze prestaties op gebruiksniveau kunnen vertaald worden naar prestatie-indicatoren op het niveau van het netwerk. Hier spelen parameters een rol als: hoeveel pakketten gaan er verloren, hoe lang doet een pakket erover om van de zender naar de ontvanger te komen en hoeveel spreiding is er in deze tijdspanne voor verschillende pakketten.

Om de beschikbare bandbreedte zo doelmatig mogelijk te gebruiken, wordt *netwerkmangement* toegepast. Dit is vooral belangrijk voor het verkeer op een backbonenetwerk dat het verkeer van en naar een provider en tussen providers onderling transporteert.

Het verkeer van de individuele gebruiker valt moeilijk te voorspellen, maar het verkeer van een groep gebruikers gemeten op langere tijdsschaal is wel weer redelijk te voorspellen tijdens normaal gebruik.

Om dit verkeer in goede banen te leiden, beschikt het netwerkmangement over een aantal technieken. Het netwerk kan bijvoorbeeld gelijkmatiger belast worden door tijdelijk de vraag naar hoge bandbreedtes af te zwakken. Een andere mogelijkheid om het verkeer beter af te handelen, is onderscheid te maken tussen prioriteiten. Verkeer met een hoge prioriteit krijgt dan voorrang op verkeer met een lage prioriteit. In sommige gevallen wordt het verkeer met lage prioriteit tijdelijk helemaal niet getransporteerd.

Om het verkeersgedrag te kunnen voorspellen, wordt vaak gebruikgemaakt van statistische berekeningen met het verkeersaanbod als belangrijkste parameter.

#### OPGAVE 5.10

U hebt waarschijnlijk verschillende verwachtingen ten aanzien van het tijdsverloop waarbinnen u een reactie verwacht van een informatiesysteem. Geef voor uzelf een schatting van de maximale tijd die u voor de volgende communicatiedialogen acceptabel vindt.

– U verstuurt een e-mailbericht naar een oud-studiegenoot waarmee u al jaren geen contact meer hebt gehad, maar waarvan u op internet toevallig het e-mailadres aantreft.

– U wilt informatie verzamelen over een reis die u over enkele maanden wilt ondernemen naar Egypte en u verzendt een zoekbericht naar een zoekmachine om alvast wat webpagina's te bekijken met informatie over het land en reisorganisaties.

– U bestelt via een boekhandel op internet een boek dat u nodig hebt voor uw studie. De boekhandel zal per e-mail de transactie definitief naar u bevestigen en zal u via dit bericht informeren wat de levertijd zal zijn.

## TERUGKOPPELING

### Uitwerking van de opgaven

- 5.1 De bron van het bericht is de telegrafist die een boodschap met een seinsleutel invoert. De persoon die het bericht wil versturen, zou evengoed beschouwd kunnen worden als de bron, maar als we de afbakening van het domein communicatietechnologie in deze cursus in aanmerking nemen, valt de (schriftelijke of mondelinge) communicatie tussen de afzender en de telegrafist buiten de grenzen van het communicatiesysteem. De zender is de seinsleutel, het kanaal de elektrische draad tussen de telegraafposten, de ontvanger is de klopper bij de ontvangende telegraafpost. De bestemming is de telegrafist die het bericht beluistert.
- Het signaal dat via de elektrische telegraaf uitgewisseld wordt tussen twee telegraafposten, is de informatie die overgedragen wordt via het in- en uitschakelen van een elektrisch contact in de draadverbinding tussen de beide posten. Het fysisch verschijnsel is dus het opwekken van een stroom door een draad als gevolg van het maken van een verbinding. Het medium is de elektrische draad die de posten verbindt. De seinsleutel en de klopper zijn de omvormers die een mechanische kracht omzetten in een elektrische stroom respectievelijk een elektrische stroom omzetten in een mechanische kracht en vervolgens in een geluidssignaal. Het signaal is discreet, want het fysisch verschijnsel kent slecht twee toestanden, namelijk de in- dan wel de uitgeschakelde stroomkring. Ingeschakeld zou een '1' kunnen voorstellen en uitgeschakeld een '0'. Daarmee zou het signaal ook digitaal zijn.
- 5.2 De elektromagnetische straling die door een GSM-toestel uitgezonden wordt, verzwakt op grotere afstanden. Het vermogen van de zender in het telefoontoestel kan niet verhoogd worden, onder andere vanwege de energie die dit vergt van de accu in het toestel. Dit heeft tot gevolg dat de GSM-antennes van de telecomproviders op slechts enkele kilometers afstand van elkaar moeten staan, wil men een dekkend bereik realiseren. Hier zien wij dus de gevolgen van de verzwakking van elektromagnetische straling, gerelateerd aan een beperking in de signaalgrootte bij de zender.
- De beschikbare bandbreedte van 9,6 kbps wordt enerzijds bepaald door het frequentiespectrum dat beschikbaar is voor GSM (een band van 25 MHz die door meerdere gebruikers gedeeld moet worden) en anderzijds beperkt door de foutdetectie en -correctie die nodig is om fouten bij de transmissie te kunnen corrigeren.
- 5.3 Een koperkabel is gevoelig voor beïnvloeding door zware machines en kan bovendien afgeluisterd worden, terwijl zonder tussentijdse versterking niet de gehele terreinafstand overbrugd kan worden. Uitwisseling via een draadloos netwerk kan eveneens beveiligingsproblemen opleveren vanwege de risico's voor afluisteren. Daarnaast kunnen de gebouwen op het fabriekscomplex voor ongewenste storing door elektromagnetische straling zorgen. Vanuit de inherente eigenschappen van het medium ligt de keuze voor glasvezel voor de hand. De afstand is geen probleem, afluisteren is niet mogelijk en het lichtsignaal in de glasvezel wordt niet beïnvloed door gebouwen en elektromagnetische straling door machines. Een glasvezelverbinding is dus de meest voor de hand liggende oplossing.

Op basis van een inschatting van schaderisico's aan glasvezels als gevolg van graafwerkzaamheden op het terrein of grotere calamiteiten zoals ontploffingen zou echter overwogen kunnen worden om te kiezen voor draadloze verbindingen tussen gebouwen. Daarbij zal wel een extra investering nodig zijn in beveiliging en zal ook het aantal antennes groter moeten zijn dan gebruikelijk, om de storende invloed van de gebouwen en de zware machines te reduceren.

- 5.4 In het modem wordt het digitale signaal van de computer omgezet in een analoog signaal dat via de telefoonlijn verzonden wordt (digitaal naar analoog). Aan het digitale signaal wordt in het algemeen extra informatie toegevoegd, zodat fouten tijdens het transport gecorrigeerd of in elk geval gedetecteerd kunnen worden (kanaalcodering). Het digitale signaal van de computer bevat geen overbodige (redundante) informatie, zodat er dus geen broncodering nodig is. Het analoge signaal wordt zodanig gecodeerd dat het signaal optimaal aangepast is aan de fysische eigenschappen van de telefoonverbinding (modulatie). Bij de ontvanger vindt het omgekeerde proces plaats. Wel is het mogelijk dat het analoge signaal dat bij de ontvanger binnenkomt, overbodige informatie bevat in de vorm van ruis en signalen van andere elektrische apparaten die verwijderd moeten worden.
- 5.5 – De router analyseert pakketje na pakketje op bestemmingsadres en stuurt zodra die analyse gebeurd is, alle pakketjes naar de gewenste bestemmingen. Omdat de pakketjes opeenvolgend aangeboden en verwerkt worden, is hier sprake van multiplexen in het tijddomein.  
– De telefoonaansluiting maakt gebruik van verschillende frequentiespectra. Voor het telefoonsignaal wordt het frequentiegebied tot 3,4 kHz gebruikt en voor het internetsignaal het gebied tussen 30 kHz en 1,1 MHz. Hier worden dus de mogelijkheden van het frequentiedomein benut.  
– Het LAN maakt gebruik van de mogelijkheden van het tijddomein om over één bekabelingssysteem informatie van meerdere computers uit te wisselen. Ook de switch is een apparaat dat pakketjes achtereenvolgens naar de juiste bestemming stuurt. Doordat de bekabeling door gezamenlijke kabelgoten loopt, is er tevens sprake van multiplexen in het ruimtedomein.
- 5.6 – Een router werkt op basis van store-and-forward. De IP-pakketten in het netwerk hebben een variabele lengte en bevatten meestal delen van berichten. De informatie die de specialist krijgt via bijvoorbeeld videobeelden, zal niet in zijn geheel getransporteerd kunnen worden, maar wordt getransporteerd in verschillende pakketten. Het betreft dus een toepassing van pakketschakeling. Een nadeel voor dit soort tijdskritische toepassingen kan zijn dat vooraf niet duidelijk is of een verbinding wel beschikbaar zal zijn en welke kwaliteit deze zal hebben. Voor dit soort situaties zou beter een aantal digitale verbindingen (ISDN) gebruikt kunnen worden. Hiermee is zowel de verbinding als ook de bandbreedte gegarandeerd.  
– Een telefoonaansluiting is bij uitstek een circuitgeschakelde verbinding. Gedurende de gehele verbindingstijd wordt de verbinding tussen zender en ontvanger gereserveerd. Het bewakingsbedrijf kan ervoor gekozen hebben om elke vijf minuten te bellen. Ook zou men bij de bewaking van een kritisch object ervoor gekozen kunnen hebben om de verbinding continu open te laten. In het eerste geval is het nadeel dat het risico

bestaat dat er geen vrije lijnen zijn en de opbouw van de verbinding mogelijk te lang duurt. Bij een digitale telefoonverbinding met ISDN vervalt dit nadeel, omdat deze verbinding in het algemeen binnen een seconde tot stand wordt gebracht. Bij de tweede oplossing wordt een groot deel van de tijd geen informatie verstuurd op de verbinding en wordt de verbinding dus niet optimaal gebruikt.

Een oplossing kan zijn om een verbinding via het pakketgeschakelde internet te laten verlopen en voorzieningen te treffen dat bij een druk bezette verbinding de kwaliteit van de beelden teruggeschroefd wordt zodat er altijd enige informatie beschikbaar is.

- 5.7 In een computersysteem kan de centrale verwerkingseenheid (CPU) als basiseenheid beschouwd worden. Windows, dat bestaat uit een besturingssysteem en toepassingsprogramma's als Word en Excel, maakt gebruik van de CPU. Het besturingssysteem maakt direct gebruik van de diensten van de CPU. De toepassingsprogramma's maken gebruik van de diensten van het besturingssysteem en daarmee indirect van de diensten van de CPU.

Het voordeel van deze gelaagdheid is, dat wanneer de verwerkingseenheid vervangen wordt door een nieuw type, het besturingssysteem en de toepassingsprogramma's niet ook vervangen moeten worden. Binnen zekere grenzen geldt dat ook bij aanschaf van een nieuwe versie van het besturingssysteem, zodat de toepassingprogramma's niet vervangen hoeven te worden.

In een lagenstructuur in een netwerk gaat het om het afstemmen van het verkeer tussen twee peers. In dat geval zijn de lagen en de protocollen in de lagen van belang. Bij de drie lagen in de computer gaat het alleen om de interfaces tussen de lagen.

Wij hebben de gelaagde structuur van een Windows-computer op hoofdlijnen beschreven. Bij nauwkeuriger beschouwing kunnen nog veel meer lagen onderkend worden. Ook zijn in de computer protocollen van belang wanneer het gaat om de aansturing van randapparatuur zoals harde schijven.

Wanneer computers in een netwerk aan elkaar gekoppeld worden, gaan ook de netwerkprotocollen een rol spelen, juist vanwege de interactie met de andere computersystemen. Om ervoor te zorgen dat een programma op de ene computer een bestand op de andere computer kan benaderen en gebruiken, is netwerksoftware en -hardware nodig. De netwerkprogrammatuur op de Linux-server en de Windows-werkplek moet op elkaar afgestemd zijn. Er moeten dus gelijke protocollen geïmplementeerd zijn op de verschillende lagen van beide besturingssystemen.

- 5.8 Uitval van het knooppunt Groningen betekent dat Groningen en Leeuwarden niet meer bereikbaar zijn. Uitval van het knooppunt Maastricht maakt de knooppunten Maastricht en Heerlen onbereikbaar, terwijl uitval van Tilburg alleen Tilburg onbereikbaar maakt. Uitval van Amsterdam zorgt ervoor dat Amsterdam niet bereikbaar is. Verder zouden een aantal losse knooppunten (Den Haag, Dwingeloo, Enschede en Wageningen) uitvallen en zouden clusters van steden ten opzichte van elkaar afgesneden worden, zoals bijvoorbeeld het cluster Tilburg, Breda, Dordrecht, Rotterdam, Delft ten opzichte van het cluster Nijmegen, Arnhem, Deventer en Zwolle. Omdat Amsterdam in deze topologie een kritisch knooppunt is, is het knooppunt Amsterdam

dubbel uitgevoerd. De aansluitingen komen op twee verschillende locaties in Amsterdam binnen en de beide locaties zijn redundant met elkaar verbonden. In figuur 5.7 is ook niet zichtbaar dat in het knooppunt van het hoger-onderwijsnetwerk SURFnet in Amsterdam de verbindingen gelegd worden naar de overige Nederlandse providers (amsterdam internet exchange) en naar een aantal buitenlandse onderwijs- en onderzoeksnetwerken.

Wanneer de link tussen Amsterdam en Nijmegen uitvalt, heeft dat geen consequenties voor de bereikbaarheid. Hetzelfde geldt bij het uitvallen van één van de links tussen Heerlen en Maastricht en de link tussen Leiden en Amsterdam. Wanneer de link tussen Enschede en Amsterdam uitvalt, is Enschede onbereikbaar geworden.

- 5.9 De eisen die een videoserver aan een netwerk stelt, is dat in korte tijd grote hoeveelheden data verstuurd kunnen worden. UDP is daarvoor uitstekend geschikt. Een nadeel is echter dat er mogelijk videobeelden verloren kunnen gaan. Bij toepassingen zoals het beschikbaar stellen van tv-programma's via internet is het geen bezwaar dat een aantal beelden niet overkomt. Het opnieuw sturen van pakketten die verloren zijn gegaan, zal in het algemeen een negatieve invloed hebben op de beeld- en geluidskwaliteit die de gebruiker ervaart.
- 5.10 Op een antwoord van uw oud-studiegenoot kunt u waarschijnlijk wel enkele dagen of zelfs weken wachten.  
Wanneer de reactie van de zoekmachine op uw vraag 10 seconden op zich laat wachten, zult u waarschijnlijk al ongeduldig worden. Een wachttijd van 5 seconden wordt algemeen als maximum geaccepteerd bij het opvragen van dit soort informatie. De kans is echter groot dat u niet na een zoeksessie alle informatie verzameld hebt, maar dat u over een periode van dagen en weken nog verder op zoek gaat naar aanvullende informatie.  
Bij de bestelling van het boek zult u waarschijnlijk niet langer dan een dag willen wachten op een bevestiging van uw transactie.