

Inhoud leereenheid 4

Telefoonnetwerk

Introductie

Leerkern

- 1 Inleiding
- 2 Historische ontwikkeling van het telefoonnetwerk
 - 2.1 De telegraaf – de voorloper van de telefoon
 - 2.2 De telefoon
 - 2.3 Draadloze telefonie
- 3 Structuur en technische componenten van het telefoonnetwerk
 - 3.1 Netwerkstations
 - 3.2 Bekabelingssystemen en draadloze verbindingen
 - 3.3 Netwerktopologie
 - 3.4 Netwerkapparatuur
 - 3.5 Netwerkprotocollen
 - 3.6 Netwerkprogrammatuur
- 4 Nieuwe toepassingen en diensten op het telefoonnet

Terugkoppeling

- Uitwerking van de opgaven

Leereenheid 4

Telefoonnetwerk

INTRODUCTIE

Het telefoonnetwerk is het oudste wereldomspannende elektronische netwerk. In de voorgaande leereenheden zijn een aantal digitale pakketgeschakelde datanetwerken de revue gepasseerd. Deze datanetwerken worden momenteel veelal als synoniem gezien voor netwerken in het algemeen. De weliswaar oudere, analoge geschakelde telefoonnetwerken spelen echter nog steeds een belangrijke rol bij het aanbieden van elektronische communicatievoorzieningen. In deze leereenheid staat het telefoonnetwerk centraal als toepassingsgebied van communicatietechnologie. We besteden zowel aandacht aan bekabelde als aan draadloze telefoonnetwerken.

LEERDOELEN

Na het bestuderen van deze leereenheid wordt verwacht dat u

- de oorsprong en ontwikkeling van het telefoonnetwerk kunt aangeven
- de onderliggende technische componenten van het telefoonnetwerk kunt benoemen
- de specifieke diensten kunt benoemen die via een telefoonnetwerk aangeboden worden
- kunt aangeven op welke punten draadloze telefoonnetwerken afwijken van bekabelde telefoonnetwerken
- een probleemsituatie die zich voordoet rond het gebruik van het telefoonnetwerk kunt analyseren in haar context.

Studeeraanwijzing

De verwachte studielast bedraagt 3 uur.

LEERKERN

1 Inleiding

Het telefoonnetwerk heeft naast de datanetwerken die eerder in deze cursus de revue passeerden, nog steeds een belangrijke maatschappelijke functie. Voor het overbrengen van de menselijke stem over grotere afstanden is het telefoonnetwerk nog steeds de primaire technologie. Datanetwerken maken daarnaast vaak gebruik van de infrastructuur van de onderliggende telefoonnetwerken. Vooral WAN-netwerken delen het gebruik van bekabeling, centrales en netwerken met het telefoonnet. Typische functies van het telefoonnetwerk worden geleidelijk overgenomen door datanetwerken. Via voice-over IP kan de kernfunctie van het telefoonnetwerk, namelijk het real-time overdragen van de menselijke stem, ook via IP-netwerken afgehandeld worden.

Vanwege de groei van de communicatiebehoefte, de relatief eenvoudige technologie en de geïnvesteerde kennis en middelen zal het telefoonnetwerk echter niet zo snel verdwijnen.

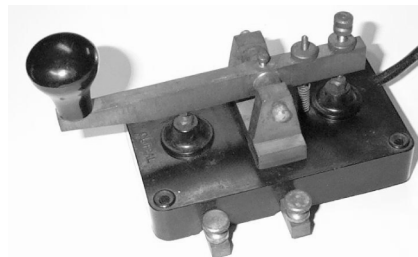
In deze leereenheid beginnen we, net als in de vorige leereenheden, met een beeld te schetsen van de historische ontwikkeling van het telefoonnetwerk. Vervolgens bieden we een overzicht van de structuur en de belangrijkste technische componenten.

2 Historische ontwikkeling van het telefoonnetwerk

2.1 DE TELEGRAAF – DE VOORLOPER VAN DE TELEFOON

Telegraaf

De voorloper van het telefoonnetwerk vormde de elektrische *telegraaf* die rond 1837 zijn eerste toepassingen kende. Via koperdraden werden elektrische signalen doorgegeven van de ene telegraafpost naar een volgende. Berichten, bijvoorbeeld telegrammen, werden in de vorm van morsecode verzonden.



FIGUUR 4.1 Seinsleutel voor een telegraaf

Routeren van berichten

Store-and-forward

Message switching

Die morsecode bestaat uit een serie van korte en lange elektrische pulsen die samen een letter uit het alfabet representeren. Dit morsealfabet vormt dus in feite al een vroege implementatie van een digitaal transmissiesysteem. Om grotere afstanden te kunnen overbruggen, zoals bijvoorbeeld de afstand van Parijs naar London, waren meerdere tussenstations nodig. Het bericht werd van het ene telegraafstation naar het volgende gestuurd. Op het telegraafstation werd het bericht vastgehouden tot het volgende telegraafstation beschikbaar was en dan doorgestuurd. Dit principe, dat overigens niet automatisch afgehandeld werd, noemt men *store-and-forward*, want door tussenkomst van een mens moest het binnenkomende bericht eerst worden vastgelegd en daarna opnieuw worden ingevoerd voordat het doorgestuurd kon worden naar het volgende telegraafstation. Afhankelijk van het al dan niet vrij zijn van een bepaald tussenstation kon door de operator een andere route gekozen worden. Er vond dus al een primitieve vorm van *message switching* (berichtsakelen) plaats. Bij berichtsakelen wordt het bericht als geheel door het netwerk getransporteerd.

Multiplexing

In Nederland deed de telegraaf in 1845 zijn intrede. De spoorwegen namen vooral het initiatief. De telegraaf hielp het opkomende spoorwegverkeer in goede banen te leiden. Zo'n zeven jaar later werd door de overheid een landelijk netwerk van telegrafen ingericht. Rond 1875 werd het ook mogelijk om meerdere signalen over één draad te transporteren. Dit principe noemt men *multiplexing*. Gevolg hiervan was een enorme kostenreductie. Immers, er waren bij een gelijk aantal

gesprekken minder draden nodig, wat de investeringskosten en onderhoudskosten deed dalen.

OPGAVE 4.1

Een ervaren operator kon zo'n 30 woorden per minuut versturen. Een letter in morsecode heeft maximaal 5 bit nodig, omdat een letter maximaal in 5 binaire waarden (punten en strepen) gerepresenteerd wordt. Ga in deze opgave uit van een gemiddelde lengte van 4 bit per letter en neem verder aan dat een woord gemiddeld uit 5 letters bestaat. Bereken nu op grond van deze aannames de transportcapaciteit van het ene naar het andere telegraafstation in bit per seconde (bps) wanneer een verbinding door 6 operators tegelijkertijd gebruikt werd.

Het telegraafstelsel bevatte aan het eind van de 19e eeuw dus al diverse innovaties die in de moderne telecommunicatie nog steeds als basistechnologieën toegepast worden.

2.2 DE TELEFOON

Telefoon analoog

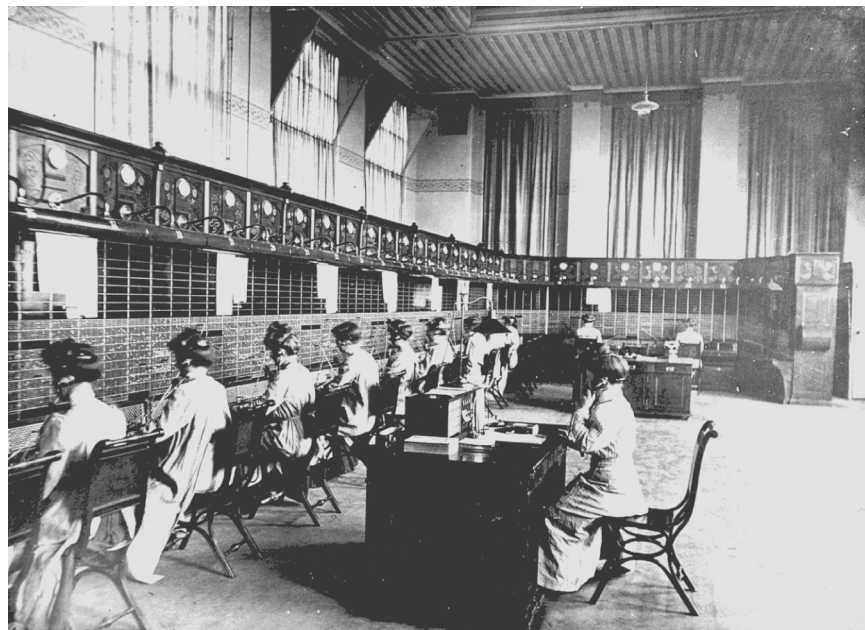
Rond 1876 ontwikkelde onder andere Alexander Graham Bell de telefoon, waarmee het mogelijk was het geluid van de stem direct om te zetten in elektrische signalen. In tegenstelling tot het signaal van de telegraaf, was het elektrische signaal van de *telefoon* dus niet langer meer digitaal (seinsleutel aan-uit), maar *analoog*. De veranderingen die de stem teweegbrengt in de weerstand van de microfoon bij de verzender, worden direct overgedragen als variërend elektrisch signaal op de verbindende koperdraad, om vervolgens bij de ontvanger omgezet te worden in de trilling van het membraan van de luidspreker.



FIGUUR 4.2 De Ericson-tafeltelefoon uit 1890

Telefooncentrale

Al snel werd duidelijk dat het ondoenlijk zou zijn om alle telefoonapparaten met elkaar te verbinden. Het aantal verbindingen zou daarbij al zeer snel oplopen, gegeven de snelle groei naar zo'n kwart miljoen telefoonapparaten in 1890. Daarom werden *telefooncentrales* ingevoerd waar telefonisten direct een verbinding tot stand konden brengen met de ontvanger wanneer deze op *dezelfde* centrale aangesloten was. Het aantal verbindingen dat tegelijkertijd totstandgebracht kon worden tussen aangesloten toestellen binnen het bereik van de centrale, werd bepaald door het aantal doorverbindingen dat in die centrale totstandgebracht kon worden en *niet* door het aantal aangesloten lijnen. Een verbinding hoefde alleen maar voor de duur van een gesprek opgebouwd te worden, want na afloop ervan kon de verbinding gebruikt worden voor een ander gesprek.



FIGUUR 4.3 Een handgeschakelde telefooncentrale

Wanneer de ontvanger *niet* op dezelfde centrale aangesloten was, werd een verbinding totstandgebracht met een andere centrale. In dit geval werd het aantal mogelijke verbindingen bepaald door het aantal verbindingen tussen de centrales. Ook hier konden echter ook andere paden gekozen worden, wanneer een centrale of een verbinding bezet was. Er was dus al routing mogelijk.

Verbindingen
geautomatiseerd
opgebouwd

Rond 1890 konden de *verbindingen* reeds *geautomatiseerd opgebouwd* worden. Daarvoor zorgden elektromechanische schakelaars in de centrales. Zodra een aanvrager de hoorn opnam, kwam er een verbinding met de centrale tot stand om het telefoonnummer te ontvangen van degene die men wilde bellen (de geadresseerde). Door het opnemen van de hoorn door de geadresseerde werd de gewenste verbinding totstandgebracht. Het gesprek duurde net zo lang totdat één van beide partijen de verbinding verbrak, terwijl de totstandgebrachte verbinding *louter en alleen* door de beide partijen gebruikt werd. De route werd dus bepaald tijdens het opzetten van de verbinding en werd daarna niet meer aangepast. Uiteraard konden de diverse fysieke verbindingen binnen dit circuit via multiplexing door meerdere gebruikers gedeeld worden.

Telex

Dat telefoonverbindingen ook zinvol gebruikt konden worden voor het overbrengen van andere informatie dan alleen het stemgeluid, werd rond 1919 aangetoond met de introductie van de *telex* (teletype exchange). Met dit apparaat was het mogelijk om teksten in te tikken op een soort typemachine waardoor berichten in andere (afhankelijk van de toepassing meer geschikte) formaten dan alleen via geluid uitgewisseld konden worden.



FIGUUR 4.4 Telex

De al eerder genoemde innovaties van de telefoon, aan het eind van de 19e eeuw, volgden elkaar zoals wij zagen in hoog tempo op. De eerste helft van de 20e eeuw hebben zich weinig fundamentele wijzigingen meer voorgedaan en werden vooral technische verbeteringen aangebracht.

*Digitalisering van
het telefoonnet*

Door de ontwikkeling van de transistor en de geïntegreerde circuits werd het rond 1950 mogelijk om stemgeluiden om te zetten in *digitale signalen*. Voor elke verbinding werd hiervoor 64 kbps aan transportcapaciteit gereserveerd. Via multiplexing konden op één verbinding 32 signalen getransporteerd worden, waardoor zo'n verbinding in totaal een transportcapaciteit bezat van $32 \times 64 \cdot 10^3$ bps, dus $2048 \cdot 10^3$ bps ofwel ruim 2 Mbps. In eerste instantie moesten deze digitale signalen in de centrale nog omgezet worden naar analoge signalen, voordat ze door de analoge schakelapparatuur verwerkt konden worden.

Tussen 1970 en 1980 werd het ook mogelijk om in de centrales digitaal te schakelen. Deze digitale technologie was in eerste aanzet vooral van belang voor het verkeer tussen de centrales, maar kwam door de invoering van ISDN rond 1980 ook beschikbaar voor de verbinding tussen gebruikers en de centrale. De volledige digitalisering van de telefooncentrales in Nederland is de afgelopen jaren volledig gerealiseerd. Met deze ontwikkeling naar digitalisering werden de centrales ook steeds meer bestuurd door computers die ervoor moesten zorgen dat de verbindingen zo doelmatig mogelijk gebruikt werden. Die introductie van computers heeft ook tot gevolg gehad dat momenteel veel meer diensten via het telefoonnetwerk beschikbaar gesteld worden dan alleen het voeren van gesprekken.

Denk bijvoorbeeld aan vergaderschakelingen, de invoering van ISDN, de mogelijkheid om boodschappen op te slaan wanneer een geadresseerde niet bereikbaar is, het opvragen van actuele informatie via www over gevoerde gesprekken, ADSL via de telefoonlijn.

Nutsvoorziening =
een algemeen
beschikbare
voorziening zoals
gas, water en licht

De infrastructuur van het telefoonnetwerk met zijn kabels en centrales was inmiddels een nutsvoorziening geworden, die via landelijke organisaties zoals de Nederlandse en Belgische PTT op nagenoeg elke locatie in het land aangeboden kon worden. Juist vanwege deze nutsvoorziening kon elke burger er in principe op rekenen dat men aangesloten kon worden.

2.3 DRAADLOZE TELEFONIE

Autotelefoon

Mobilofoon

Al in het midden van de jaren dertig van de 20e eeuw kon er met analoge toestellen draadloos gebeld worden via het mobilofoonnetwerk, met tussenkomst van een telefonist. Begin 1980 werd hier de draadloze autotelefoon aan toegevoegd en was tussenkomst van een telefonist voor het totstandbrengen van een draadloze verbinding niet langer meer nodig.



FIGUUR 4.5 Analoge draadloze autotelefoon

*Greenpoint –
draadloos en
digitaal*

De draadloze en digitale telefoon had in Nederland zijn entree omstreeks 1992 met het Greenpoint-netwerk. Op zo'n 5000 centrale plaatsen, zoals benzinestations, parkeerplaatsen, restaurants en treinstations, werden basisstations ingericht van waaruit men met een draadloos apparaat kon telefoneren. Men kon *alleen* bellen, maar niet gebeld worden en het bereik van een basisstation bedroeg slechts 150 meter. Het is overigens nooit de bedoeling geweest om met dit systeem een landelijk dekkend netwerk op te bouwen. Greenpoint bood ook geen mogelijkheid om een gesprek te continueren van het ene basisstation naar een ander voor de mobiele beller.

*GSM – global
system for mobile
communications*

Deze tekortkomingen werden verholpen door de opkomst en invoering van het GSM-netwerk dat tussen 1990 en 2000 in heel Europa en in grote delen van de wereld op grote schaal beschikbaar kwam. In de VS en een aantal andere landen koos men voor een verzameling andere technologieën, deels nog analoog, die echter wel dezelfde frequentieband deelden. Men kan zeggen dat in Europa de standaardisatie zegevierde en in de VS de commercie, waardoor in de VS nog steeds een aantal niet onderling uitwisselbare standaarden gehanteerd worden.

De transportcapaciteit die GSM kan bieden, is beperkt tot zo'n 9,6 kbps. GSM is in Europa nog steeds de dominante technologie voor mobiele telefonie, maar nieuwe standaarden zijn inmiddels ook al uitgerold. Deze standaarden zijn vooral bedoeld om naast het gesproken woord ook

GPRS – general
packet radio service

UMTS
Universal mobile
telecommunication
s system

multimedia en internet via de mobiele telefoon toegankelijk te maken, maar de keerzijde is dat er een veel grotere bandbreedte vereist is dan de 9,6 kbps van GSM.

De verzameling nieuwe technieken met bijbehorende standaarden wordt ook wel aangeduid als derde generatie (3G) mobiele telefoon. Een eerste stap in de richting van breedbandige mobiele telefonie werd gezet via GPRS (ook wel 2,5G genoemd, om aan te geven dat het gaat om een tussenstap naar 3G). Deze technologie kan met beperkte aanpassingen toegevoegd worden aan bestaande GSM-netwerken. De belangrijkste wijziging is dat de sturing van het verkeer niet langer meer gebaseerd is op de circuitschakeling van GSM, maar op pakketschakeling. Een verbinding tussen zender en ontvanger blokkeert daardoor niet langer een heel circuit, waardoor langdurige verbindingen zonder al te hoge kosten gebruikt kunnen worden voor internetverkeer. GPRS biedt een transportcapaciteit van zo'n 115 kbps.

De overstap naar UMTS, een echte 3G-technologie, vergde veel grotere investeringen in techniek en licenties. Met UMTS is een transportcapaciteit tot 2 Mbps haalbaar.

3 Structuur en technische componenten van het telefoonnetwerk

In deze paragraaf worden de belangrijkste componenten van het huidige bekabelde en draadloze telefoonnetwerk behandeld. Achtereenvolgens besteden we aandacht aan netwerkstations, bekabelingssystemen en draadloze verbindingen, netwerktopologie, netwerkapparatuur, netwerkprotocollen en netwerkprogrammatuur.

3.1 NETWERKSTATIONS

Toegang tot het telefoonnetwerk wordt in het algemeen verkregen met behulp van een telefoontoestel, maar een fax-apparaat kan evengoed als netwerkstation in het telefoonnet dienstdoen. Het telefoontoestel kan in veel configuraties voorkomen: met headsets, ingebouwde antwoordapparaten en opgebouwd zijn uit een basisstation met hieraan een of meer draadloze telefoons gekoppeld.

Een pc die voorzien is van een modem, kan via een ISP gebruikmaken van het telefoonnet voor het leggen van een verbinding met het internet. Als die pc beschikt over aanvullende programmatuur, dan kan die dienstdoen als kiezer van telefoonnummers en als telefoonbeantwoorder. De pager of semafoon is een voorbeeld van een apparaat met een specifieke, maar beperkte functie. Een pager wordt aan een telefooncentrale gekoppeld om personen op te roepen die mobiel zijn of om personen te kunnen waarschuwen die snel bereikbaar moeten zijn in geval van calamiteiten (ehbo, bedrijfsbrandweer, systeembeheerder).

3.2 BEKABELINGSSYSTEMEN EN DRAADLOZE VERBINDINGEN

Twisted-pairkabel

Het telefoonnet vanaf de centrale naar de aansluitingen (bedrijven of huishouden) wordt ook wel het aansluitnetwerk of toegangsnetwerk genoemd. Elk huishouden of bedrijf is aangesloten door middel van een of meer *twisted-pair* koperdraden (zie leereenheid 3), afhankelijk van het aantal aansluitingen.

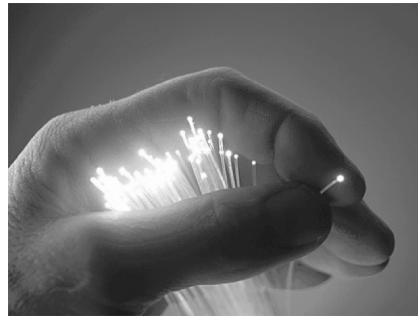
Verzwakking door
interferentie en
overspraak

Bij een koperkabel zorgen wisselende elektrische stromen voor elektromagnetische velden rond de draad. Dit beïnvloedt de kwaliteit van de naburige verbindingen nadelig. Om het uitstralen van

elektromagnetische straling naar de omgeving tegen te gaan, moeten koperkabels afgeschermd worden. Deze uitstraling kan allerlei vervelende gevolgen hebben, zoals bijvoorbeeld wisselwerking met andere stralingsbronnen (*interferentie*) en het lekken van signalen van de ene kabel naar de andere kabels in een bundel (*overspraak*). Ondanks deze afscherming gaat er bij koperkabels altijd energie verloren, zodat het signaal vrij snel verzwakt. Deze verzwakking of demping is afhankelijk van de frequentie van het signaal en de diameter van de kabel. Bij hogere frequenties zal het signaal sneller verzwakken dan bij lagere frequenties. Twisted-pair koperkabels zijn daarom typisch bruikbaar op afstanden van enkele tientallen meters voor LAN-netwerken tot enkele kilometers voor telefoonverkeer.

<i>UTP-kabel</i>	Unshielded twisted pair	De <i>UTP-kabel</i> (UTP = unshielded twisted pair) is tegenwoordig de meest gebruikte twisted-pairkabel en is in tegenstelling tot de andere twisted-pairtypen niet afgeschermd, zoals de naam al aangeeft. Voor het aansluiten van telefoons is dit echter de meest gebruikte kabelsoort, omdat deze eenvoudiger te verwerken is dan de afgeschermden soorten, die meestal dikker en stugger zijn. Het zal duidelijk zijn dat deze kabel veel gevoeliger is voor storingen dan de afgeschermden soorten. Twisted-pair is veel gemakkelijker te installeren en aanzienlijk goedkoper dan glasvezel. De bekabeling gaat in het algemeen aanzienlijk langer mee dan de apparatuur die men erop aansluit. Afschrijftijden van 10 tot 20 jaar zijn niet ongewoon en dus gaat het bij het vervangen van bekabeling, zowel bij <i>Telcom</i> als bij de grotere organisaties met een intern telefoonnetwerk, om uiterst strategische investeringen. Ook voor computernetwerken kunnen de kosten voor bekabeling wel tot 70 % van de investeringskosten bedragen. De centrale is direct stervormig verbonden met elk aansluitpunt dat valt onder de centrale en ondersteunt typisch zo'n 5000 tot 20 000 aansluitingen. De telefoon van een afnemer kan direct op de kabel aangesloten worden, zonder dat er een versterker, omvormer of iets dergelijks nodig is, terwijl ook de voeding van de telefoon uit de bekabeling onttrokken kan worden, zodat er los van het elektriciteitsnet getelefoneerd kan worden.
<i>Telcom</i>	Telecommunicatie-bedrijf dat een netwerk aanbiedt met een landelijke of regionale dekking	De centrales worden in Nederland en België tegenwoordig onderling verbonden via glasvezel- dan wel radioverbindingen die de <i>backbone</i> of het <i>ruggengraatnetwerk</i> vormen.
<i>Backbone of ruggengraat-netwerk</i>		In een <i>glasvezel</i> wordt de informatie niet doorgegeven in de vorm van een elektrisch signaal, maar in de vorm van een optisch signaal, een lichtstraal. De optische eigenschappen van een glasvezel kunnen zodanig worden gemanipuleerd dat het lichtsignaal nauwelijks verzwakt wordt, waardoor er tientallen kilometers mee overbrugd kunnen worden zonder dat versterking van het signaal nodig is. Wil men grotere afstanden overbruggen, dan dient het optisch signaal na enkele kilometers omgezet te worden in een elektrisch signaal om elektrisch versterkt te worden, zodat het na transformatie in een optisch signaal zijn weg op de glasvezel kan vervolgen. Het blijkt echter ook mogelijk om het signaal op optische wijze te versterken, door de materiaaleigenschappen van het glas aan te passen. Daarmee kunnen afstanden van honderden tot duizenden kilometers overbrugd worden zonder dat elektrische versterking nodig is. Doordat er nauwelijks signalen weglekken, kan de informatie die door een glasvezel verzonden wordt, ook tussentijds nauwelijks afgetapt worden, iets dat bij een koperkabel zeer wel mogelijk is. Hierdoor zijn glasvezels een veiliger transmissiemedium dan koperkabels. Bovendien
<i>Glasvezel</i>		

neemt glasvezel minder plaats in en kunnen door een vezel tot zo'n 160 lichtsignalen met verschillende 'kleuren' gestuurd worden, waardoor een dergelijke geavanceerde glasvezel tot 1600 Gbps kan transporteren. Het koppelen van glasvezels vergt wel speciale technieken om lichtverlies in deze koppelvlakken zoveel mogelijk te beperken (eenvoudig solderen is uiteraard niet mogelijk).



FIGUUR 4.6 Glasvezel

Radiospectrum

Voor het uitwisselen van informatie staan ons niet alleen bekabelde netwerken ter beschikking, maar ook het *radiospectrum* kan hiervoor gebruikt worden. In principe is een spectrum beschikbaar in een frequentiebereik van 10000 Hz tot 100 GHz. Dit spectrum wordt gebruikt voor diverse toepassingen.

De belangrijkste zijn:

- AM-radio (middengolf): 30-300 kHz
- FM-radio: 30-300 MHz en tv: 300 MHz- 3 GHz
- cellulaire radiosystemen: rond 1 GHz
- microgolven voor straalverbindingen: 1 tot 100 GHz.

Binnen deze frequentiegebieden zijn grote aantallen verschillende diensten beschikbaar die elkaar in potentie flink kunnen storen, doordat een signaal nooit netjes opgebouwd is uit één specifieke frequentie, maar altijd in meer of minder mate (hogere) frequenties omvat. Dit is een belangrijke reden waarom het gebruik van radioverbindingen strikt gereguleerd is en er vergunningen nodig zijn voor belangrijke delen van het radiospectrum.

Een tweede belangrijk element betreft de reikwijdte van radiosignalen. Signalen met verschillende frequenties worden op verschillende manieren verzwakt. Het specificeren van een bepaald frequentiegebied, in combinatie met maximaal toegestaan uitgestraald vermogen, resulteert in een maximale reikwijdte. Op die manier is het mogelijk om efficiënt gebruik te maken van het beschikbare frequentiespectrum. Het is daarbij van groot belang dat ook internationaal goede afspraken gemaakt worden over de verdeling van de beschikbare frequentiegebieden.

Standaardisatie

Standaardisatieorganisaties zoals ITU (International Telecommunications Union), CEPT (Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications) en de Europese Unie reglementeren wereldwijd en specifiek in Europa het gebruik van de beschikbare radiofrequenties.

Celstructuur mobiele communicatie

Om ondanks de beperkte beschikbare capaciteit toch draadloos telefoonverkeer voor grote aantallen gebruikers mogelijk te maken, werd het *cellulaire radiosysteem* ingericht. Via regelgeving en standaardisatie

wordt ervoor gezorgd dat netwerkapparaten en de basisstations slechts een beperkt vermogen mogen uitzenden. Het geografisch gebied waarbinnen dan nog ontvangst mogelijk is tussen zender en ontvanger, wordt een cel genoemd en is typisch enkele kilometers groot. In nabijgelegen cellen mogen niet dezelfde frequenties gebruikt worden, want dit zou leiden tot ongewenste wisselwerking tussen de signalen (interferenties). In cellen op grotere afstand kunnen wel weer dezelfde frequenties gebruikt worden.

Satelliet

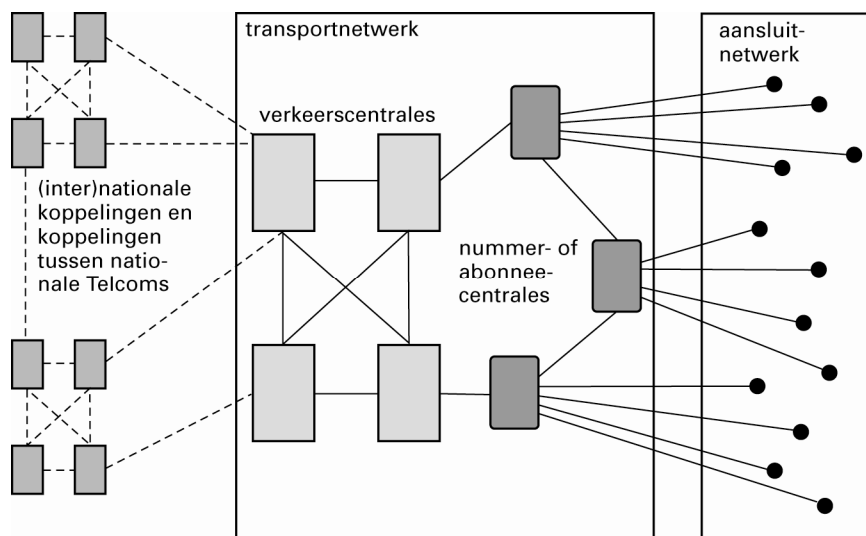
Een andere manier om van radiogolven gebruik te maken, is door het gebruik van *satellieten*. Communicatiesatellieten worden onder andere gebruikt voor het doorsturen van telefoongesprekken over grotere afstanden. Het doorsturen van tv-signalen is een andere veelgebruikte toepassing. In 1965 kon één van de eerste satellieten, de Early Bird satelliet, 240 telefoongesprekken doorsturen en 1 televisiekanaal (in zwart-wit).

GPS Global positioning system

De laatste jaren neemt ook de plaatsbepaling via GPS (global positioning system) een hoge vlucht. Het navigatiesysteem dat in steeds meer auto's standaard ingebouwd wordt, maakt in het algemeen gebruik van GPS.

3.3 NETWERKTOPOLOGIE

Een Telcom zal om kosten- en beheersredenen op een aantal niveaus de verbindingen moeten bundelen. Een landelijk backbone vormt de ruggengraat van het netwerk (zie figuur 4.7).



FIGUUR 4.7 Typische topologie voor een telefoonnetwerk van een Telcom

In een backbone worden per seconde terabit (10^{12} bps) aan gegevens verplaatst tussen zo'n 20 verkeerscentrales in Nederland in het geval van KPN. Op de koppelingen tussen de wijkcentrales (hiervan zijn er zo'n 600) gaat het om gigabit per seconde (10^9 bps). Op het aansluitnetwerk gaat het tenslotte om kilobit per seconde (10^3 bps) per telefoonaansluiting. De netwerken voor dataverkeer kennen vergelijkbare structuren. Over en weer zijn er koppelingen tussen het telefoonnetwerk en het datanetwerk. In het geval van ADSL-aansluitingen vindt de koppeling plaats in de

ADSL-netwerken

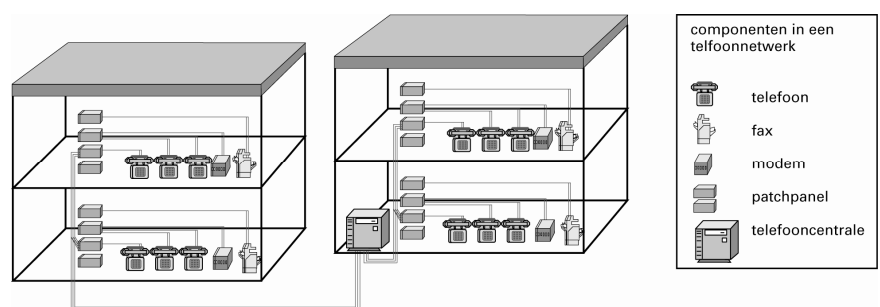
wijkcentrales. Voor de verbinding naar de individuele afnemer wordt gebruikgemaakt van de bestaande telefoonaansluitingen. De theoretisch haalbare maximale transportcapaciteit die geboden wordt met een ADSL-verbinding, ligt rond de twintig megabit per seconde (ca. 10^7 bps). De wijkcentrale wordt aangesloten op het achterliggende netwerk van de Telcom, die ook het landelijk telefoonnet in de lucht houdt, zoals in Nederland KPN en in België Belgacom. In de centrale kan echter ook een koppeling tot stand worden gebracht met het achterliggende datanetwerk van een aanbieder van de specifieke ADSL-verbinding. De combinatie van de klassieke twisted-pair koperkabels voor afstanden van enkele honderden meters tussen bedrijfs- of huisaansluiting en de wijkcentrale en van daaruit via de glasvezelnetwerken naar de regionale en landelijk centrales is zeer wel in staat om de hoge bandbreedtes te leveren die een ADSL-aansluiting vraagt. Voor het reguliere telefoonverkeer en het ADSL-verkeer wordt wel een verschillend frequentiegebied gebruikt. Voor het telefoonverkeer wordt een frequentieband van zo'n 4 kHz gehanteerd. Het ADSL-sigitaal gebruikt daarentegen maximaal 24 van dit soort frequentiebanden van 4 kHz voor het verkeer van gebruiker naar centrale (het zogenaamde upstreamverkeer) en maximaal 234 van deze banden voor verkeer tussen centrale en gebruiker (downstream). Voor de gebruiker komt op deze manier tot 1 Mbps upstream bandbreedte beschikbaar en 8 Mbps downstream.

Voor ADSL2+ wordt een dubbel aantal frequentiebanden gereserveerd waarbij 24 Mbps voor downloaden beschikbaar is en maximaal 3,5 Mbps upstream. De bandbreedten zijn theoretische waarden die alleen op korte afstanden gehaald worden. Bovendien kunnen er door wetgevers nog verdere beperkingen opgelegd worden om de kans op verstoringen te beperken.

PABX
Private automatic
branch exchange

Bedrijfstelefoon-
centrale

In een grotere organisatie kunnen tientallen lijnen binnenkomen waaraan binnen die organisatie honderden tot duizenden telefoontoestellen gekoppeld kunnen zijn, zodat het noodzakelijk wordt om in de organisatie een telefooncentrale te plaatsen (ook wel PABX genaamd) die in staat is de oproepen tussen de intern aangesloten toestellen te reguleren alsmede de oproepen van en naar externe telefoontoestellen (zie figuur 4.8).



FIGUUR 4.8 Typische topologie van een telefoonnetwerk binnen een organisatie

Bij organisaties met een oudere communicatie-infrastructuur zal, gezien de afschrijvingstijd van de bekabeling, het gehele netwerk in het algemeen nog uit kabels met twisted-pair koperdraden bestaan, zowel

tussen als in de gebouwen. Organisaties die voor nieuwe investeringsbeslissingen rond communicatievoorzieningen staan, zullen moeten overwegen of glasvezelverbindingen tussen of zelfs binnen de gebouwen een optie is. Dit is zeker een relevante overweging wanneer de bekabeling zowel gebruikt wordt voor transport van telefoonverkeer als voor dataverkeer, waarbij een afweging gemaakt moet worden of zelfs het hele telefoonverkeer geïntegreerd wordt met het dataverkeer (voice-over IP).

OPGAVE 4.2

Noem een aantal overwegingen waarom een bestaande twisted-pair koperbekabeling van zo'n 15 jaar oud vervangen zou kunnen worden door nieuwe bekabeling? Geef ook mogelijke alternatieven aan.

3.4 NETWERKAPPARATUUR

Schakelapparatuur

Patch panel =
schakelbord

Een belangrijke component in het telefoonnetwerk is de *schakelapparatuur*. De schakelapparatuur in de diverse centrales bij een Telcom als ook in een bedrijf hebben als hoofdtak het opzetten van een verbinding tijdens de oproep tussen oproeper en opgeroepene. Door de digitalisering en daarmee gepaard gaande toename van beschikbare diensten, hebben dit soort apparaten een snelle ontwikkeling doorgemaakt in de geleverde functionaliteit. De compacte moderne schakelapparaten worden in veel gevallen echter nog steeds omgeven door gigantische ruimten met patch panels waar grote aantallen kabels doorverbonden worden. Patch panels doen dienst als een soort statisch schakelbord waar op een goed beheerbare manier kabels doorverbonden worden.

Het openbare bekabelde telefoonnetwerk staat niet meer op zichzelf, maar is verbonden met datanetwerken en met draadloze netwerken. Via huurlijnen of straalverbindingen zijn de centrales verbonden met de datanetwerken en met de basisstations van het draadloze netwerk. Kijk maar naar de bekende zendmasten die de afgelopen jaren overal in het landschap verschenen zijn.

3.5 NETWERKPROTOCOLLEN

Transport en signalering

Voor de werking van een telefoonnetwerk is niet alleen een verbinding noodzakelijk die daadwerkelijk (spraak)verkeer geleidt en schakelt (het *transport*), maar ook een verbinding waarmee de *signalering* plaatsvindt, dat wil zeggen: de aansturing van de schakelcomponenten in het netwerk. In dat signaleringscircuit spelen netwerkprotocollen een belangrijke rol en wel om het verkeer zo efficiënt en effectief mogelijk te laten verlopen.

In de begintijden van de telefoon rinkelde een bel bij een telefonist in de dichtstbijzijnde centrale na het opnemen van de telefoon door de persoon die een gesprek wilde voeren. Vervolgens werd (mondeling) het verzoek gedaan een verbinding te leggen naar een bepaalde bestemming, naar een bepaald telefoonnummer.

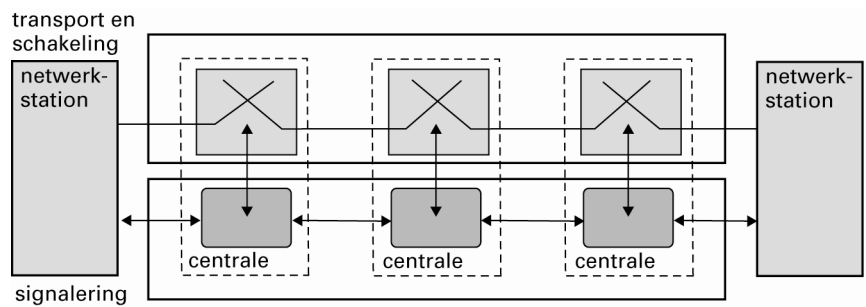
Deze nogal primitieve functies hebben geleid tot het begeleidende signaleringssysteem, namelijk het managementsysteem dat het opzetten, instandhouden en afbreken in goede banen moet leiden.

In-bandsignalering Out-of- bandsignalering

Er bestaan twee vormen van signalering: in-bandsignalering en out-of-bandsignalering. In het eerste geval wordt het stuursignaal opgenomen in het eigenlijke spraaksignaal. Een voorbeeld daarvan is de kiestoon bij

de analoge telefoon. In het tweede geval maakt het signaleringssysteem gebruik van een afzonderlijke netwerkinfrastructuur. Tegenwoordig bestaat een duidelijke voorkeur out-of-bandsignalering toe te passen.

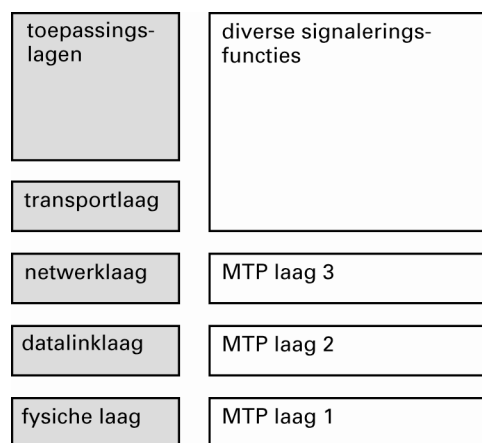
Figuur 4.9 toont een out-of-bandschakeling. Het eigenlijke telefoongesprek volgt de route door de schakelaars. De schakelaars worden gestuurd vanuit het separate signaleringskanaal.



FIGUUR 4.9 Out-of-bandsignalering en transport tussen centrales

*C7-signalerings-
protocollen*

Voortbouwend op eerdere ervaringen met signaleringsprotocollen werd rond 1980 C7 als een gelaagde en uitbreidbare architectuur ingevoerd, waarbij aangesloten werd bij de opbouw van lagen die ook in het OSI-referentiemodel voor datacommunicatie gehanteerd werden (zie figuur 4.10). Ook vormde de ontwikkeling van ISDN een belangrijke impuls voor de ontwikkeling van de C7-architectuur. Deze C7-architectuur is van belang bij de sturing van het verkeer tussen centrales. C7 is gebaseerd op out-of-bandsignalering. Bij een ISDN-aansluiting, waarbij de gebruiker digitaal gekoppeld wordt aan de centrale, speelt het protocol echter ook een rol bij de aansluiting van de gebruiker.



FIGUUR 4.10 C7-lagenmodel van het signaleringsnetwerk

Toelichting bij figuur 4.10

- MTP laag 1 zorgt voor de correcte werking van de fysieke verbinding waarover het transport van de pakketjes met signaleringsinformatie plaatsvindt.
- MTP laag 2 zorgt ervoor dat de boodschappen zonder verlies uitgewisseld worden tussen de verschillende knooppunten in het signaleringsnetwerk.

– MTP laag 3 zorgt ervoor dat de boodschappen op de juiste plekken terechtkomen en opstoppen opgelost worden.
Bovenop deze drie lagen, die vooral van belang zijn voor het berichtenverkeer, worden naar behoefte gebruikersdelen toegevoegd die de specifieke signaleringsfuncties omvatten.
Voorbeelden van signaleringsfuncties zijn onder meer: het opzetten en beheren van de basale verbindingen voor analoge en digitale verbindingen en sturing van additionele diensten zoals het verzamelen en opslaan van gebruiksgegevens in databases.

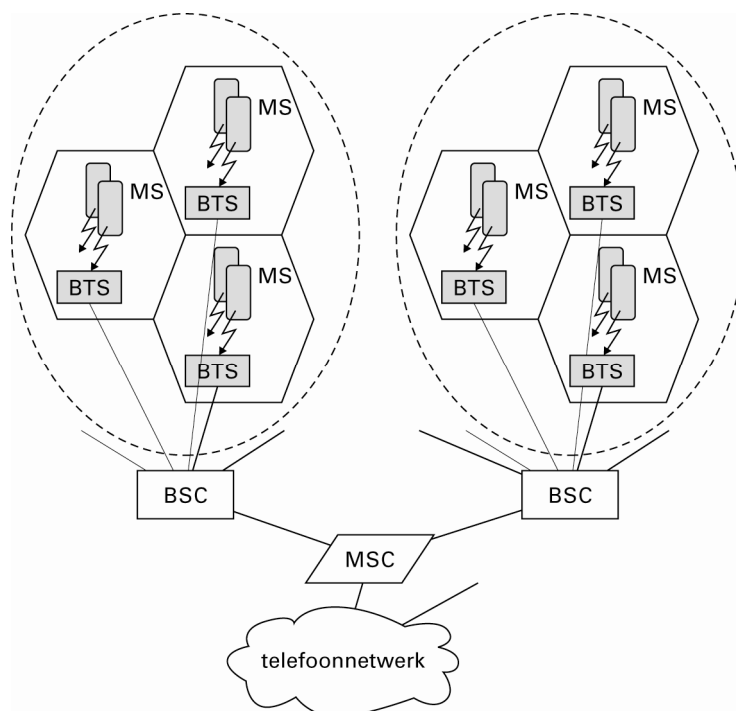
*Signaleringscom-
ponenten in een
GSM-netwerk*

Het GSM-netwerk vormt een sternetwerk met als belangrijkste signaleringscomponenten:

- mobile station (MS) dat gebruikmaakt van het GSM-netwerk, bijvoorbeeld een mobiele telefoon
- base transceiver station (BTS) bestaat uit de antenne en het ontvangstapparaat
- base station controller (BSC) beheert de BTS'en die aan deze BSC gekoppeld zijn met betrekking tot de toewijzing van de beschikbare radiofrequenties van en het onderliggende verkeer tussen de BTS'en
- mobile switching centre (MSC), de beheermoduul in een GSM-netwerk die behalve het beheer over een verzameling base stations ook zorgt voor de koppeling aan het reguliere telefoonnetwerk om verbindingen met conventionele telefoons mogelijk te maken.

Naast deze signaleringsmodulen worden in een GSM-netwerk nog een aantal beheermodulen onderscheiden.

In figuur 4.11 is de topologie van een GSM-netwerk schematisch weergegeven.



FIGUUR 4.11 Schematische weergave van de belangrijkste componenten van een GSM-netwerk

De fysieke verbinding tussen de mobiele telefoon en het BTS wordt gerealiseerd door een radioverbinding. Het BTS zet de fysieke radioverbinding om in een 64-kbps-kabelverbinding naar het BSC en vervolgens naar het MSC.

ISDN

Bij introductie van ISDN, eind jaren zeventig van de vorige eeuw, was de verwachting dat ISDN een oplossing zou bieden voor alle telefonie- en datadiensten. ISDN levert standaard 2 zogenaamde B-kanalen van 64 kbps elk en een D-kanaal van 16 kbps. Dit wordt ook wel basic access genoemd, of 2B+D. Het B-kanaal levert de transportdienst en het D-kanaal de signaleringsdiensten.

Daarnaast wordt een primary rate ISDN-verbinding aangeboden die bestaat uit een 30B+D. De primary rate is vooral bedoeld voor grotere organisaties die ISDN bijvoorbeeld gebruiken voor communicatie met kantoren of voor videoconferencing tussen verschillende vestigingen. Door gebruik te maken van de protocollen in het D-kanaal, kunnen naast het stem- of datatransport via de B-kanalen in een ISDN-verbinding allerlei aanvullende diensten aangeboden worden, zoals nummerherkenning, schakelen tussen fax en telefoonverbindingen, doorschakelen, het ondersteunen van gesloten gebruikersgroepen. Omdat ISDN afkomstig is uit de wereld van de geschakelde verbindingen, bleek deze technologie echter niet optimaal voor het bieden van variabele bandbreedte. De behoefte aan variabele bandbreedte komt bijvoorbeeld tot uiting bij het transport van internetverkeer of het opzetten van videoconferenties. Verder vormt de afstemming op de bandbreedte in eenheden van 64 kbps een beperking, vooral wanneer deze bandbreedte in veel toepassingen niet volledig benut wordt.

ATM Asynchronous transfer mode

Vanwege deze beperkingen heeft ISDN zich niet door kunnen zetten als basistechnologie, maar heeft ATM (*asynchronous transfer mode*) zich kunnen ontwikkelen. ATM is een pakketgerichte technologie. De eenheid die getransporteerd wordt, is een cel met een beperkte, maar wel vaste omvang van 53 byte, waarvan slechts 5 byte gebruikt wordt voor de header. Een ATM-cel heeft dus weinig overhead en zal door de beperkte omvang daarvan in het algemeen efficiënt gevuld kunnen worden met gegevens. Doordat naar behoefte pakketten verstuurd kunnen worden, kunnen met ATM hoge bandbreedten geleverd worden. ATM wordt momenteel vooral gebruikt in de backbones van de Telcoms.

In het midden van de jaren negentig van de vorige eeuw was de verwachting dat organisaties met behoefte aan grotere bandbreedtes, zoals bijvoorbeeld universiteiten, via ATM-verbindingen gekoppeld zouden worden. Men verwachtte zelfs dat op termijn ook servers en werkplekken in de lokale netwerken via deze technologie gekoppeld zouden kunnen worden.

Deze ontwikkeling zette echter niet door, omdat aan servers en werkplekken uit het oogpunt van kosten hoge bandbreedtes effectiever geleverd konden worden met *Gigabit ethernet*, een variant van het ethernetprotocol waarbij tot 1 Gbps aan bandbreedte gerealiseerd kan worden over afstanden tot 5 kilometer wanneer van glasvezel gebruikgemaakt wordt.

Gigabit ethernet

Managed dark fiber

Voor organisaties wordt het in toenemende mate interessant om *managed dark fiber* af te nemen. Vanwege de sterk gedaalde kosten van glasvezelkabels loont het de moeite om een eigen glasvezelverbinding aan te schaffen en zelf het beheer ter hand te nemen. In feite betreft het dus een huurlijn waarbij alleen de fysieke verbinding afgenomen wordt. De huurder zorgt in feite voor het licht dat door de glasvezel

getransporteerd wordt; vandaar de benaming dark fiber. De netwerkkapparatuur en de betreffende protocollen kunnen op deze manier aangepast worden aan de behoefte van de organisatie. In de loop van de tijd kunnen deze componenten aangepast worden wanneer hier vanwege de benodigde bandbreedte of veranderde technologie behoefte aan is.

DECT
Digital enhanced
cordless
telecommuni-
cations

Een protocol dat verder van belang is voor het telefoonverkeer is het protocol DECT (*digital enhanced cordless telecommunications*). Dit protocol wordt gebruikt voor draadloze 'in-huis' telefonie en oudere vormen van openbare telefonie zoals bijvoorbeeld Greenpoint. Via een basisstation dat bijvoorbeeld gekoppeld is aan een telefoonaansluitpunt in een woning of geïntegreerd is in een PABX, kunnen draadloze telefoons gekoppeld worden aan het telefoonnetwerk.

3.6 NETWERKPROGRAMMATUUR

De belangrijkste programmatuur in het telefoonnetwerk is de programmatuur die zicht houdt op het gebruik van het netwerk (de gebruikte telefoontikken) en de betalingen aan een Telcom regelt. Talloze diensten worden gekoppeld aan deze basissystemen om toegevoegde functies aan te bieden en om vergoedingen te kunnen ontvangen. Voorbeelden van dit soort diensten zijn bijvoorbeeld routing (bepalen route van het netwerkverkeer), verkeersmeting (meten van de hoeveelheid en soort netwerkverkeer), accounting (registraties voor betalingsfuncties), monitoring (observeren van onregelmatigheden in het netwerkverkeer), onderhoud en besturing op afstand.

4 Nieuwe toepassingen en diensten op het telefoonnet

Geavanceerde
diensten zetten niet
door.

De momenteel beschikbare diensten die via het bekabelde telefoonnetwerk worden aangeboden, concentreren zich op de ondersteuning van de primaire telefoonfuncties (transporteren van het gesproken woord) en de koppelingen naar internet (bijvoorbeeld via de integratie van ADSL in het telefoonnet). In principe kunnen via het telefoonnet ook functies zoals beeldtelefoon aangeboden worden. Deze geavanceerde diensten blijken echter in het verleden weinig succes te hebben gekend. Ook in de toekomst mag hier niet veel van verwacht worden, omdat veel van deze diensten via internet met toch al beschikbare voorzieningen zoals een microfoon of een webcam (een digitale camera gekoppeld aan een pc waarmee via internet beelden verstuurd kunnen worden) met minder investeringen gerealiseerd kunnen worden.

Callcentra

Callcentra zijn voorbeelden van organisaties die intensief gebruikmaken van een aantal toepassingen en diensten die tegenwoordig via het telefoonnet beschikbaar zijn. Er worden grote aantallen telefoongesprekken gevoerd met (potentiële) klanten. Het is dan van belang dat snel gegevens van klanten opgevraagd en ingevoerd kunnen worden.

Caller id

Om de verbindingstijden zo kort mogelijk te houden, wil men de gegevens van een klant al beschikbaar te hebben zodra de telefoon in het callcentrum opgenomen wordt. Door het opnemen van de *caller id* (het telefoonnummer van de klant) in een informatiesysteem en het koppelen

van de telefooncentrale aan dit informatiesysteem kan de relevante informatie snel opgeroepen worden.

Andere diensten in het telefoonnet die nieuwe functionele mogelijkheden bieden, zijn:

- automatisch doorschakelen van gesprekken
- vergaderschakelingen waar telefoons op meerdere locaties in een gesprek samengevoegd worden
- integrated messaging (het opslaan, beheren en toegankelijk maken van verschillende soorten berichten, zoals opgenomen stemgeluid, sms- of e-mail-berichten)
- management van het berichtenverkeer, bijvoorbeeld bij een helpdesk (ACD: automatic call distribution, het automatisch distribueren van oproepen, bijvoorbeeld binnen een groep van helpdeskmedewerkers in een callcentrum).

TERUGKOPPELING

Uitwerking van de opgaven

- 4.1 30 woorden per minuut komt overeen met $30 \text{ (woorden)} \times 5 \text{ (gemiddeld aantal letters)} \times 4 \text{ (gemiddelde lengte per letter)} = 600 \text{ bit per minuut}$. Dit komt overeen met $600/60 = 10 \text{ bps}$. Wanneer 6 operators via multiplexing gelijktijdig van een lijn gebruikmaakten, had deze lijn dus een transportcapaciteit van 60 bps.
- 4.2 Motieven om de kabels te vervangen door nieuwere twisted-pairkabels:
- technische afschrijving (teveel storingen)
 - financiële afschrijving (er is ruimte voor investering in toekomstvaste voorzieningen)
 - functionele veroudering (te weinig bandbreedte, niet meer voldoen aan huidige eisen of een verouderd type twisted-pair dat niet meer gegarandeerd wordt voor de huidige behoefte)
 - behoefte aan functionele vernieuwing (ondersteunen mobiliteit en mobiele gebruikers, bijvoorbeeld door de introductie van het virtuele kantoor, dan wel het afbouwen van vaste werkplekken)
 - nieuwe zaken met het netwerk willen doen (bijvoorbeeld combineren van data en spraak over dezelfde bekabeling).

Door het vervangen van twisted-pair door glasvezel kan tegemoet gekomen worden aan een aantal van de motieven voor vervanging, terwijl daarentegen door het introduceren van een draadloos netwerk tegemoet gekomen kan worden aan de mobiliteitsbehoefte. Verwacht mag worden dat, wanneer de bandbreedte en kosten meer in evenwicht zullen zijn, draadloos ook om andere motieven een goed alternatief zal worden.