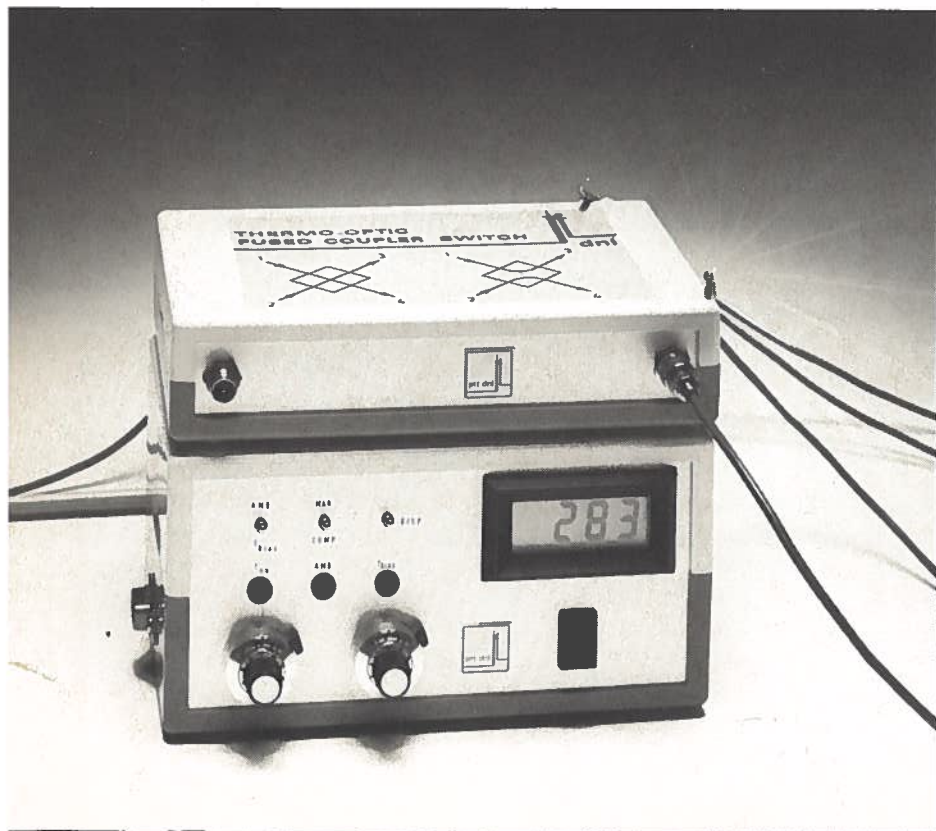


Themanummer **Optische communicatie**

Studieblad

5 | 44e JAARGANG
MEI 1989

TECHNISCHE INFORMATIE VOOR PTT MEDEWERKERS



Studieblad

Uitgave

PTT Telecom (voorheen
AbvaKabo en CFO)

Hoofredacteur

drs. Y.M. van der Veen

Redactie

E.J. Boessenkool,
P.J. Boomgaard,
ing. B. Kieboom,
R. Scholma, A. Welling

Secretariaat

mw. F. Stulp-Huttema
tel. 050-603732

Correspondentie-adres

PTT Telecom Opleidings-
centrum, Postbus 13000,
9700 EA Groningen
Telefax 050-140990; telex
77053; Memocom NPS 1452

Abonnement

f 18,— per jaar. Voor niet-
PTT-ers f 30,— per jaar.
Verschijnt maandelijks

Vormgeving

Studio Dorèl, Groningen

Druk

Ten Brink, Meppel

- Pagina 100 **Glashelder** *ing. B. Kieboom*
- Pagina 108 **Optische communicatie nu en straks**
ir. A. Diekema
- Pagina 128 **Kijken in lijnen** *dr. G. Hogesteeger*
- Pagina 139 **Studieblad Kort** *drs. Y.M. van der Veen*
- Pagina 141 **Technisch Engels** *W. S. van Dam*

Bij de omslagfoto

De thermo-optische schakelaar
van PTT Research, Neher
Laboratorium in zijn behuizing.
(Foto: PTT-RNL)

Optische communicatie

Het Studieblad – misschien is 't even wennen – in een nieuw jasje. Een jasje dat als gegoten zit in de nieuwe bedrijfsstijl van PTT Telecom. Maar ook na ruim een jaar weer eens uitkomend met een themanummer: optische communicatie. Met daarin niet alleen aandacht voor de allerlaatste, technische stand van zaken, maar waarin ook stil wordt gestaan bij hoe het vroeger ging.

Bedrijfsgeschiedkundige van PTT, dr. G. Hogesteeger, laat in het artikel 'Kijken in lijnen' twintig eeuwen optisch communiceren de revue passeren.

Technisch minder ingevoerde lezers kunnen in dit nummer hun basiskennis van de glasvezeltransmissie vergroten met het artikel 'Glashelder' van ing. B. Kieboom. Ook de vertrouwde rubriek 'Technisch Engels' staat in het teken van de optische communicatie; weet u wat in dit verband 'lower shock hazard' betekent?

Technische fijnproevers kunnen hun hart ophalen met het boeiende artikel 'Optische communicatie nu en straks' van ir. A. Diekema van PTT Research. Een artikel dat overigens zal worden vervolgd in het juni- en julinummer van PTT Telecom Studieblad.

De soms bijna magische fotografie in dit themanummer komt volledig voor rekening van de Fotodienst PTT-RNL.

We waren al jong bekend met glas, vooral als we er een voetbal doorheen traptten. En dat glas de eigenschap heeft licht door te laten, spreekt eigenlijk voor zich. Van deze eigenschap van glas wordt nu ook gebruik gemaakt om via zeer dunne vezels telecommunicatiesignalen te transporteren, de optische of glasvezeltransmissie.

Het bekende vensterglas is minder geschikt voor de geleiding van optische telecommunicatiesignalen. Reeds na 1 meter transport door dit soort glas blijft van het oorspronkelijk uitgezonden licht nog maar weinig over.

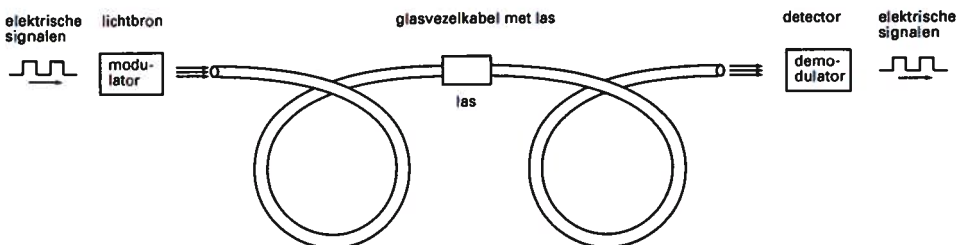
Worden van het glas draden getrokken, dan komt het voorgaande er anders uit te zien. Deze draden, nauwelijks iets dikker dan spinrag, zijn de veelbesproken glasvezels. Lichtsignalen kunnen tijdens het transport door deze vezels nauwelijks worden gehinderd; zelfs al zijn er scherpe bochten, kronkels, knopen e.d. in de vezel gelegd.

Opbouw van een optisch transmissiesysteem

Om een optimale overdracht van de telecommunicatiesignalen te bewerkstelligen worden de glasvezels van het zuiverst mogelijke glas gemaakt. Maar naast de opgave de vezel glashelder te maken, gaat de optische communicatie van nog drie technische moeilijkheden verzegeld:

- de modulator, ook wel omzetter genoemd, die de aangeboden elektrische signalen moet omzetten in lichtsignalen,
- de lassen in de kabel, die oorspronkelijk grote ontwikkelingsproblemen gaven. Hoewel deze problemen goeddeels zijn opgelost, blijven de lassen knelpunten,
- de demodulator. De demodulator vormt de door de modulator uitgezonden lichtsignalen om in elektrische. De aange-

Afb. 1: Opbouw van een optisch transmissiesysteem.



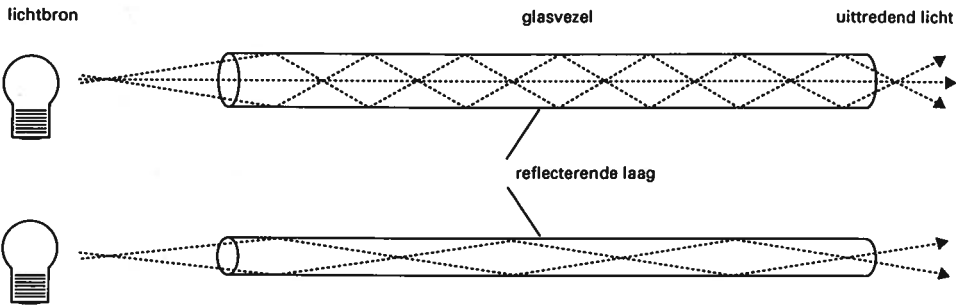
boden lichtsignalen worden door de demodulator dus weer in elektrische signalen omgezet.

Transport

Om telecommunicatiesignalen met een geringe demping te kunnen transporteren, is de glasvezel uit twee delen samengevoegd. De kern is een glasdraad. Om deze glasdraad is een lichtweerkaatsende mantel aangebracht. Deze mantel moet ervoor zorgen dat het licht niet uit de kern verdwijnt.

Hoe dunner de glaskern is, des te meer licht er over een des te grotere afstand kan worden getransporteerd. Het aantal kaatsingen tegen de mantel is bij een dunne draad namelijk geringer.

Afb. 2: Een dunne glasvezel geeft minder kaatsingen onder een grotere hoek.



Om de reflecterende mantel moet nog een tweede mantel worden aangebracht die de vezel tegen beschadigingen beschermt. Door beschadigingen aan de kabel zou immers licht kunnen ontsnappen, waardoor de demping wordt vergroot en kwaliteitsverlies optreedt. Er moet dus te allen tijde worden voorkomen dat licht buiten de vezel kan treden. De beschermende mantel die dat voorkomt is gefabriceerd uit een blauwe kunststof.

Verlies

Reeds in de jaren '50 werden proeven genomen om telecommunicatiesignalen door middel van licht te transporteren. Toen was het resultaat dat de signalen slechts over enkele meters konden worden getransporteerd.

De ontwikkeling is sinds die tijd zeer snel gegaan. Het kern-

probleem was de verliezen zodanig terug te brengen dat grote afstanden konden worden overbrugd. Twee onderzoekers kwamen in 1966 met voorstellen om te komen tot vezels van aanzienlijk zuiverder glas. Veel onderzoek was nodig om uiteindelijk een goed resultaat te bereiken.

De eerste nog dikke glasvezels lieten over 1 meter 48% van het rode licht door en over 6 meter 15%. Andere, betere fabricagetechnieken gaven zoveel winst dat het betere, zuiverder glas over een lengte van 1 km een lichtdoorlaat bood van 50%. Het blijkt zelfs mogelijk om over 1 km 90% van het lichtvermogen door te laten en het einde van de verbeteringen is nog niet in zicht.

Het inblazen van een glasvezelkabel in een eerder gelegde plastic buis (duct) met behulp van de in het RNL ontwikkelde 'Cablejet'. Hiermee kunnen glasvezelkabels worden gelegd met een snelheid van ongeveer 60 m/minuut.



De introductie van de optische communicatie door middel van glasvezels betekent, ondanks aanloopproblemen, voor PTT Telecom erg veel. Het signaalverlies in de vezel is sterk gereduceerd en lastechnieken, modulatie en demodulatie zijn dermate ontwikkeld dat toepassing op grote schaal mogelijk is.

Glasvezeltransmissie

De transportcapaciteit kan worden vergroot als de frequentie van de draaggolf hoog (groot) is. Daarom wordt de draaggolf-frequentie voor communicatie via de glasvezel zo hoog gemaakt, dat deze de frequentie van infrarood benadert. Deze frequentie is $3 \cdot 10^{14}$ Hz ofwel 300 THz. Ter vergelijking: een straalverbinding kan een maximale draaggolffrequentie hebben van $18 \cdot 10^9$ Hz ofwel 18 GHz.

Het gemoduleerde signaal kan op verschillende manieren worden omgezet in lichtsignalen. De bekendste zijn:

- toepassing van het tweetalig stelsel met nullen en enen. Aan de ingang wordt het signaal van deze code voorzien door toepassing van de lichtbron die afwisselend wel of geen licht geeft,
- toepassing van een lichtbron waarbij de intensiteit kan worden gewijzigd in hetzelfde ritme als het te transporteren signaal.

De twee mogelijkheden staan bekend als digitale modulatie resp. analoge modulatie. De digitale modulatie heeft de voorkeur omdat de glasvezel over een groot vermogensgebied lineaire eigenschappen heeft. Dit in tegenstelling tot lichtbron en detector die niet-lineaire eigenschappen hebben. Lineair: het karakteristieke verband is rechtlijnig. Niet-lineair is niet rechtlijnig.

Belangrijk bij de glasvezeltransmissie zijn:

- de zender, met als belangrijke component de lichtbron,
- de 'glasheldere' glasvezelkabel,
- de ontvanger, met de detector als belangrijke component.

De modulator

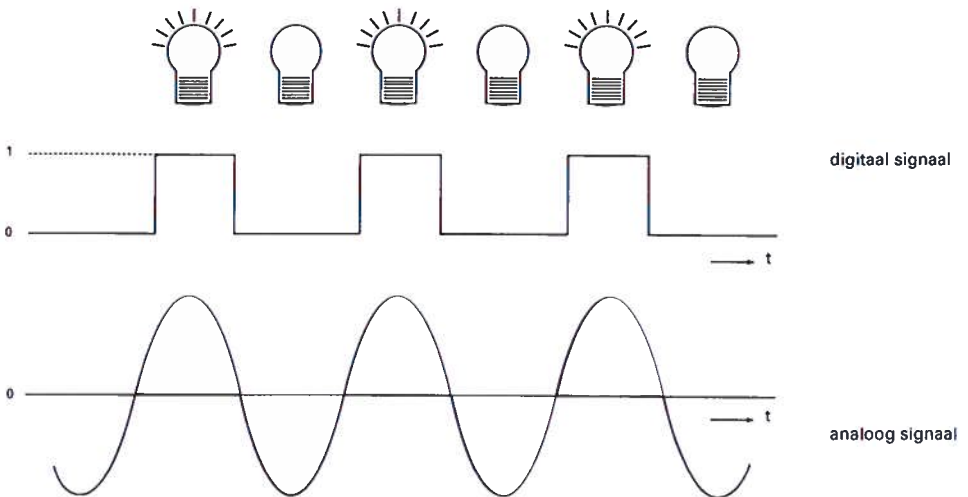
De modulator bestaat uit een aantal componenten die ge-

zamenlijk de aangeboden elektrische signalen in lichtsignalen moeten omzetten. De belangrijkste component is de lichtbron.

Als wordt uitgegaan van digitaal gemoduleerde signalen, dan kan worden bedacht dat de lichtbron in eenzelfde ritme al dan niet brandt. Dit wordt digitale modulatie genoemd.

Hetzelfde valt te bedenken voor de intensiteit van het licht. Deze intensiteit kan met eenzelfde ritme variëren als de digitale signalen. Dit wordt analoge modulatie genoemd.

Afb. 3: Schematische weergave van digitale en analoge modulatie.



De lichtbron (zie afb. 3) is voor te stellen als een 'lampje' dat aan en uitgaat in het ritme van het digitale of het analoge signaal. In beide gevallen worden de lichtsignalen aan de glasvezelkabel voor transport aangeboden. De getekende gloeilamp is in werkelijkheid natuurlijk geen gloeilamp, die is veel te traag.

De lichtbron waar in glasvezelssystemen wel gebruik van wordt gemaakt, is een halfgeleiderdiode, beter bekend als LED (LED = Light Emitting Diode), of een halfgeleiderlaser (LD = Laser Diode ofwel Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation Diode ofwel vertaald Lichtversterking door opgevoerde uitzending van straling).

Deze lichtbronnen zorgen ervoor dat modulatie door variatie van de voedingsstromen mogelijk is. Met verschillende

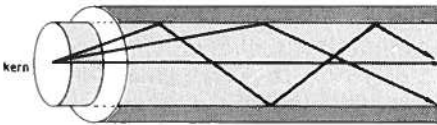
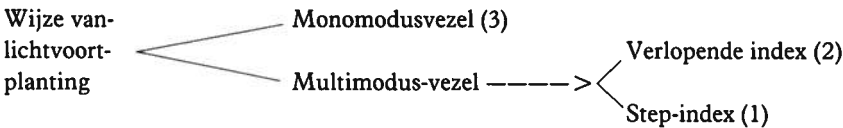
vensters werkt de lichtbron in de dempingskarakteristiek.

De glasvezelkabel

Voor de glasvezel wordt zeer zuiver kwartsglas als materiaal gebruikt. Verontreinigingen mogen niet in het glas voorkomen. Stofdeeltjes moeten tijdens de fabricage worden vermeden. Ondanks alle voorzorgsmaatregelen is het glas nooit helemaal zuiver. De lichtdoorlaatbaarheid is afhankelijk van de gebruikte golflengte van het licht.

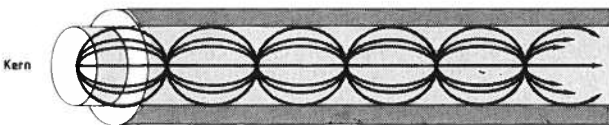
Waterdeeltjes zijn vaak de oorzaak van een dempingstoename welke ontstaat bij een golflengte van ongeveer 1000 en 1400 nanometer. 'Waterpieken' ontstaan wanneer de demping maximaal is. De drie hiervoor al genoemde vensters liggen voor en na deze pieken, op 810, 1300 en 1500 nanometer waar de lichtdoorlaatbaarheid maximaal is (1 nanometer = één-miljoenste millimeter). De demping van het licht is dan respectievelijk 35%, 11% en 9% per kilometer.

Schematisch zijn er drie glasvezels te onderscheiden afhankelijk van de wijze van lichtvoorplanting en het verloop van de brekingsindex:

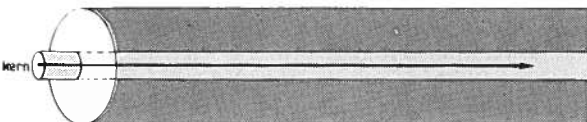


Afb. 4: De lichtvoorplanting in drie typen glasvezel.

(1) Step-indexvezelkabel



(2) Verlopende indexkabel



(3) Monomode indexkabel

Een verstrooiing van de lichtbundel vindt plaats in de multimodusvezels (1 en 2). In de monomodusvezel (3) vindt geen verstrooiing plaats. Looptijdverschillen treden op als het licht binnen de glasvezel verschillende wegen kan afleggen. In een verlopende indexvezelkabel is het looptijdverschil kleiner dan 1 ns, in een step-index type bedraagt het looptijdverschil ongeveer 30 ns per km.

De demodulator

In de demodulator wordt het optische signaal weer in een elektrisch signaal omgezet. In geval van digitale signalen zijn twee halfgeleiderdetectoren te gebruiken:
de PIN-diode (Positive Intrinsic Negative diode)
de APD-diode (Avalanche Photo Diode = lawine foto-diode).

De detectie in de diode, die in sperrichting is aangesloten, vindt plaats in de PN-overgang. Bij omzetting via de APD-diode treedt hagelruis op die nadelig werkt op de digitale signalen. Thermische ruis ontstaat in de schakeling na de diode. Ook andere invloeden werken nadelig op de digitale signalen, te denken valt dan aan lekstromen, donkerstromen (deze ontstaan bij afwezigheid van een optisch signaal), parasitaire capaciteiten e.d.

Voordelen

Ten opzichte van de niet-optische transmissiemiddelen zoals die nu nog op grote schaal worden gebruikt, heeft de glasvezel een groot aantal voordelen:

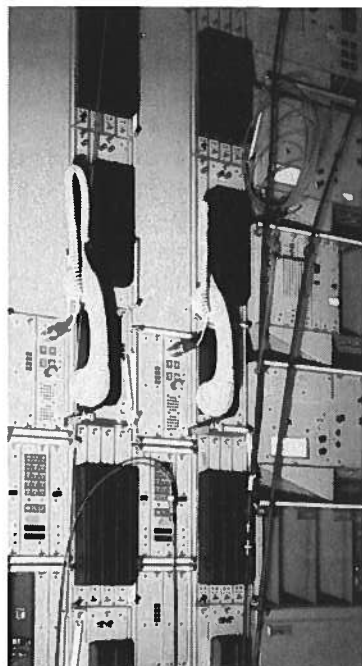
- Bandbreedte. Over één glasvezel kunnen gelijktijdig 1920 telefoonkanalen worden overgebracht. De golflengte is 1300 nm bij een transmissiesnelheid van 140 MHz.
- Afluisteren. Doordat er geen elektromagnetische velden optreden is afluisteren niet mogelijk. Ook aftakken van de kabel geeft grote praktische problemen, bovendien zal dit door verliezen vlug merkbaar zijn.
- Afmetingen. Inclusief de reflecterende mantel heeft de glasvezel een diameter van 2 mm. De diameter van een 12-aderige glasvezel is 10 mm.
- Damping. De demping van een glasvezelkabel is kleiner dan 3 dB per km.

- Grondstof. Het materiaal waaruit de eigenlijke glasvezel wordt vervaardigd, komt overal op grote schaal voor (zand - SiO_2) en daarmee is de grondstof voor de glasvezel niet alleen goedkoop maar ook overal en altijd te krijgen. Ook de zuiveringskosten doen niets daaraan af.
- Mechanisch. De glasvezelkabel is weliswaar kwetsbaar in vergelijking met een kabel die een armering heeft (een ijzeren beschermmantel), tegelijkertijd bevordert deze constructie de buigbaarheid zonder dat de glaskern zal breken.

Slot

Per seconde kan zeer veel informatie via de glasvezelkabel worden getransporteerd. Het is mogelijk om elke seconde 140 miljoen of zelfs 560 miljoen 'enen' en 'nullen' over te brengen, d.w.z. gelijktijdig 1920 resp. 7680 telefoongesprekken. Dit is minder dan een coaxiale kabel kan transporteren. Door een buis van 1 cm kunnen coaxiaal tegelijkertijd 10.800 telefoongesprekken worden gevoerd. De koperader in deze buis kan dus gelijktijdig meer gesprekken transporteren dan de besproken glasvezel.

Invloeden van buiten de kabel zijn er bij glasvezel echter niet, hoogfrequente signalen hebben wel een storende invloed op de signalen die via de coaxiale kabel worden geleid. Ook gezien de fabricagekosten en de ruim en overal verkrijgbare grondstof, is het aantrekkelijk de glasvezelkabel aan te schaffen. En de ontwikkeling gaat nog steeds door, met nieuwe voordelen in het verschiet.




Moderne glasvezeltransmissiesystemen: 565 Mbit/s systemen van het fabriek APT. Hiermee is simultane transmissie van ongeveer 8000 telefoonkanalen mogelijk.

Optische communicatie nu en straks

A. Diekema

Glasvezeltransmissie is bij PTT Telecom al volop in gebruik, voornamelijk in het lange afstands- en middel-lange afstandsnets en in de agglomeratienetten. De ontwikkeling van de optische transmissietechnieken gaat evenwel door. In de artikelenreeks 'Optische communicatie nu en straks' worden zowel begrenzings en mogelijkheden van de hedendaagse systemen, als de allernieuwste ontwikkelingen besproken. In dit eerste deel bakent de auteur de grenzen af van wat mogelijk is met de momenteel toegepaste systemen. In het juni-nummer van PTT Telecom Studieblad zullen veelbelovende nieuwe ontwikkelingen in de optische communicatie worden beschreven. In het juli-nummer komen tot besluit het RACE programma en enkele ideeën over optische communicatienetten aan de orde.



Een glasvezelconnector. Voor het verbinden van glasvezels wordt in het veld uitsluitend gebruik gemaakt van lasapparaten, meestal met smeltlassen. Bij de systemen in de versterkerstations en de centrales worden de glasvezels onderling en met de zenders en ontvangers verbonden met behulp van connectoren, onder andere met het oog op omsteken.

Toen een jaar of tien geleden enkele medewerkers van wat nu het Netwerkbedrijf heet, een bezoek brachten aan het Dr. Neher Laboratorium van PTT om de ontwikkelingen op het gebied van de glasvezeltransmissie te bekijken, was een kenmerkende reactie: 'Moeten wij in de praktijk straks ook met die dunne en breekbare glasdraadjes werken?' en 'Ik zie het al voor me, in lasputten met microscopen werken!'.

De scepsis die hieruit spreekt is inmiddels overwonnen; glasvezels zijn uit de hedendaagse PTT-praktijk niet meer weg te denken. Sterker nog, naar huidige verwachtingen zijn de breedbandige telecommunicatienetten van de toekomst niet goed te realiseren zonder dat gebruik wordt gemaakt van optische transmissie over glasvezels.

Het gaat niet te ver om te zeggen dat de toepassing van glasvezels het aanzien van de telecommunicatie ingrijpend zal veranderen. En eigenlijk is deze verandering al ruimschoots aan de gang. Aan de lopende band installeert PTT Telecom glas-

vezelkabels om aan de toegenomen vraag naar transmissiecapaciteit te kunnen voldoen. Momenteel vindt de 'verglazing' vooral plaats in de hogere netvlakken: het lange afstandsnet en het middellange afstandsnet en in de agglomeratienetten. Het abonneenet zal op den duur ongetwijfeld volgen.

De techniek is nu praktisch volledig ontwikkeld om optische transmissie toe te passen in lange en middellange afstandsverbindingen met transmissiesnelheden tot 565 Mbit/s. In laboratoria richt men zich nu op transmissie met vele Gbit/s en op concepten van volledig optische netten, dus met optische transmissie, optische signaalbewerking en optisch schakelen... kortom op het optimaal benutten van de enorme bandbreedte die de optische techniek biedt. Overigens is nu al te zeggen dat de elektronica hierbij niet kan worden gemist, zodat we beter kunnen spreken van opto-elektronische netten, of van fotonisch-elektronische netten.

De basisbeginselen van de glasvezeltransmissie zullen in dit artikel niet eerst systematisch worden behandeld. Hiervoor wordt verwezen naar eerder verschenen artikelen in het Studieblad¹ en naar het artikel 'Glashelder' elders in dit themanummer. Bovendien bestaan er vele algemene artikelen en leerboeken op dit gebied²⁻⁴.

Optische transmissie in de startblokken

Direct na de uitvinding van de laser rond 1960, kon een start worden gemaakt met onze hedendaagse vorm van optische communicatie⁵. Het woord *laser* is een acronym van Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, een Engelse aanduiding die heel goed aangeeft waar de basis ligt van de werking van een laser, namelijk in een gestimuleerde emissie, een opgevoerde uitzending van straling.

De laser

Het begrip gestimuleerde emissie is al in 1916 door Albert Einstein ingevoerd, in samenhang met een door hem bedachte nieuwe afleiding van de stralingswet van Planck. Dat het verschijnsel van gestimuleerde emissie gebruikt zou kunnen

¹ B. Kieboom, *Verbindingswegen* Studieblad PTT 1983, 1984.

² H. Ekkelenkamp, *Transmissieaspecten van digitale communicatiesystemen* PTT Dr. Neher Laboratorium, Leidschendam 1984.

³ Th. Kapsenberg e.a., *Glasvezels, technologie en marktoverzicht* D.E.B. Publishers, Pijnacker 1985.

⁴ John. M. Senior, *Optical Fiber Communications, Principles and Practice* Prentice-Hall International, London 1985.

⁵ Voor oudere vormen van optische communicatie zie het artikel elders in dit nummer: G. Hogesteeger, *Kijken in lijnen*.

worden om elektro-magnetische straling te versterken, realiseerde men zich pas in de jaren '50, allereerst voor microgolven. Dit leverde de *maser* op, wat staat voor Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Daarop volgde de laser waarvan het eerste exemplaar, een vaste-stof-laser van robijn, op 15 mei 1960 de eerste (rode) laserflits produceerde in het Hughes Research Laboratorium in de Verenigde Staten.

In de daarop volgende jaren werden vele typen lasers ontwikkeld, onder meer gaslasers, andere vaste-stof-lasers en de galliumarseen (GaAs) halfgeleiderlaserdiode. Vooral de halfgeleiderlaserdiode is door zijn kleine afmetingen en zijn relatief eenvoudige werking een bruikbare lichtbron voor glasvezeltransmissie: een elektrische stroom door de laserdiode genereert 'direct' laserstraling.

De fotodetector

Voor optische communicatie heeft men naast een lichtbron – die wat betreft de signalen ook een elektronisch-optische omzetter genoemd kan worden – tevens een optisch-elektronische omzetter nodig: een fotodetector. Ten tijde van de uitvinding van de laser waren halfgeleiderdioden van Germanium en Silicium toevallig en gelukkig reeds bekend als fotodetectors. Het is overigens frappant dat het principe van de werking van deze fotodetectors, het foto-elektrisch effect, ons eveneens bij Einstein brengt. Deze gaf namelijk in 1905 als eerste de juiste verklaring van dit effect en hij introduceerde daarbij tevens het idee dat het licht deeltjesachtige eigenschappen bezit en dat het licht kan worden beschouwd als te bestaan uit lichtquanta. Later werd voor deze lichtquanta de term 'foton' voorgesteld (1926).

Het transportmedium

In het begin van de jaren zestig zijn uiteenlopende typen lasers ontwikkeld, waarvan de golflengten zowel in het zichtbare als in het infrarode gebied liggen. Deze lasers kunnen in principe alle gebruikt worden voor optische communicatie. Ook geschikte fotodetectors waren, zoals gezegd, voorhanden. De ideeën omtrent het transportmedium voor optische communicatie gingen allereerst in een voor de hand liggende

richting, namelijk van optische straalverbindingen met behulp van gaslasers en vaste-stof-lasers. Uit een groot aantal experimenten bleek echter dat de atmosfeer een te onbetrouwbaar medium is voor het transport van licht, hoofdzakelijk als gevolg van mist en regen. Deze stellen limieten aan de betrouwbaarheid van optische straalverbindingen – die overigens commercieel verkrijgbaar zijn – tot afstanden van maximaal 1 tot 2 kilometer. Een interessant aspect van dergelijke optische straalverbindingen is dat daarvoor geen vergunningen nodig zijn, evenmin als voor het schijnen met zaklantaarns die ook wel 1 km kunnen overbruggen.

Vervolgens werden daarom proeven genomen met lichtgeleiding door buizen, waarbij om de 100 m lenzen werden aangebracht teneinde de spreiding van de lichtbundel te compenseren. Dit bleek een zeer gecompliceerde constructie nodig te maken, met onder andere een automatische bijregeling van de positie van de lenzen. Daarmee bleek ook dit 'buizentransport' een weinig aantrekkelijk alternatief.

Glasvezels

Het is niet precies na te gaan waarom men niet direct met het onderzoek aan glasvezels is begonnen, hoewel deze toch al sedert het begin van de jaren vijftig bestonden. Met ere kan in dit verband de naam worden vermeld van professor A. C. S. van Heel van de Technische Universiteit Delft, die in 1953 als eerste publiceerde over de lichtgeleiding in een glasvezel bestaande uit een glazen kern en een glazen mantel. Echter het glas waaruit deze vezel was gemaakt, bleek, hoewel van goede kwaliteit, slechts bruikbaar voor transmissie over enkele meters. En men was ervan overtuigd dat het toen beschikbare glas, waarmee zoals gezegd slechts enkele meters konden worden overbrugd, het best mogelijk was qua lichtverzwakking.

Inderdaad konden de glasdeskundigen zeer goed glas maken waarvan uiterst fraaie lenzen werden vervaardigd. Omdat de grote lichtverzwakking voor de toepassingen van dat moment geen probleem vormde, bestond er van die kant eigenlijk geen enkele behoefte dit probleem aan te pakken.

De doorbraak kwam met het bekende artikel van C. Kao en G. A. Hockham uit 1966. Deze onderzoekers hadden nagegaan door welke verschijnselen de lichtverzwakking in het

glas optrad. Zij kwamen tot de conclusie dat de absorptie in eerste instantie te wijten was aan de verontreinigingen in het glas. En nog belangrijker, dat bij voldoende zuivering van het glas, wat technisch haalbaar moest zijn, een lichtverzwakking van 20 dB/km in het verschieft lag. Daarmee kon zeker 2 km worden overbrugd, wat overeenkwam met de met coaxkabels te realiseren regeneratortafstand. Tevens werd aangegeven dat met dergelijke (monomodus)glasvezels een overdracht van zeker enkele GHz kon worden gerealiseerd.

Daarna is het zeer snel gegaan. Reeds in 1970 slaagde een groep bij Corning Glass erin vezels uit kwartsglas te maken met een lichtverzwakking van minimaal ongeveer 20 dB/km (bij 633 nm). Een waarde die nu is teruggebracht tot minimaal ongeveer 0,16 dB/km (bij 1550 nm). Hiermee zijn dus transportafstanden mogelijk, groter dan een factor 100 maal de eerder genoemde 2 km.

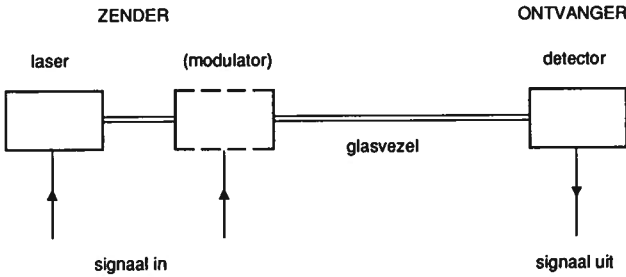
Dualiteit

Al met al biedt de optische communicatie een boeiende illustratie voor de lichtgolf-deeltjes dualiteit. Wat wil zeggen dat in een optisch transmissiesysteem zowel gebruik wordt gemaakt van het golfkarakter van het licht, namelijk daar waar lichtgeleiding optreedt in de glasvezel en in de laser, als van het deeltjeskarakter van het licht, namelijk bij de laserwerking en bij de fotodetectie.

Dit volgens de huidige inzichten fundamentele, duale karakter van het licht gaat ons aan de dagelijkse ervaring ontleende begrip te boven; optisch communiceren kunnen we desondanks natuurlijk allemaal.

Hedendaagse optische transmissiesystemen

Wanneer we in het kort de samenstellende delen van een optisch transmissiesysteem bespreken (zie afb. 1), onderscheiden we achtereenvolgens de optische zender, het optisch transmissiemedium en de optische ontvanger.

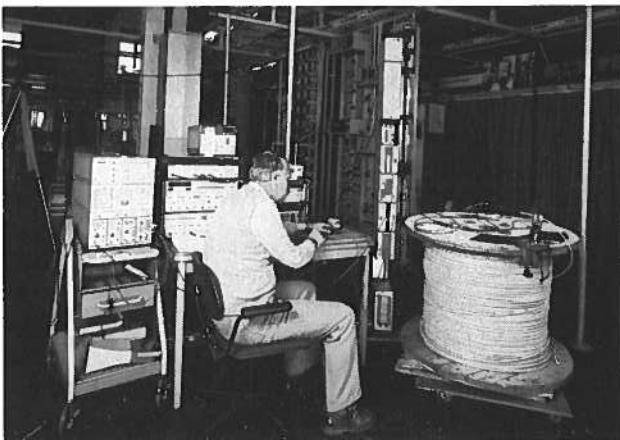


Afb. 1: Schematische weergave van de opbouw van een optisch transmissiesysteem.

De optische zender

Essentieel in een optisch transmissiesysteem is natuurlijk de optische zender, die voor telecommunicatiedoeleinden als lichtbron meestal een halfgeleiderlaser bevat. Voor transport over korte afstanden in bijvoorbeeld bedrijfstelecommunicatienetten, worden ook wel Light Emitting Diodes (LEDs) gebruikt. Eenvoudigheidshalve beperken we ons hier tot de halfgeleiderlasers.

Het te verzenden signaal wordt in elektrische vorm aangeboden en kan via de voedingsstroom direct gemoduleerd worden op de lichtgolf. Daarnaast is het met een externe modulator mogelijk een ongemoduleerde lichtgolf te moduleren. In beide gevallen kan het elektrisch signaal worden omgezet in een variatie van het uitgezonden lichtvermogen. We spreken dan van *intensiteitsmodulatie*.



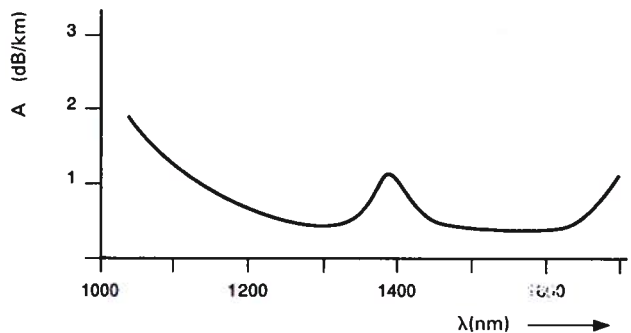
Metingen in het RNL aan een glasvezeltransmissiesysteem dat is aangesloten via een opgehaspelde glasvezelkabel.

Daarbij wordt in het algemeen digitale modulatie toegepast, meestal binair, zodat vanuit de optische zender een reeks 'enen' (licht) en 'nullen' (ofwel duisternis) wordt uitgezonden. In de momenteel toegepaste optische transmissiesystemen ligt het in de vezel gezonden, gemiddeld optisch vermogen tussen ongeveer 0,5 en 2 mW.

Monomodusvezel

Als transmissiemedium wordt door PTT Telecom op dit moment vrijwel uitsluitend de monomodusvezel toegepast. Het kwartsglas waaruit deze vezels zijn vervaardigd, is buitengewoon transparant, maar toch ondervindt het licht een bepaald verlies. Deze lichtverzwakking is afhankelijk van de golflengte van het door de laser uitgezonden licht, zoals weergegeven in afbeelding 2.

Afb. 2: De lichtverzwakking in moderne monomodusvezels van kwartsglas (voorbeeld).



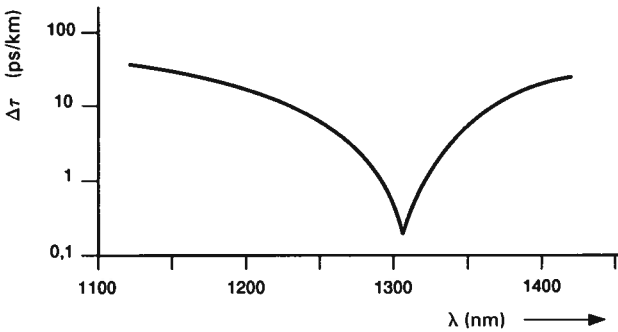
Momenteel werken de systemen van PTT bij golflengten in het 1300 nm gebied, waar de lichtverzwakking ongeveer 0,30-0,45 dB/km bedraagt. Daarnaast is het 1550 nm gebied interessant, omdat het lichtverlies in de kwartsglasvezels daar minimaal is.

De kleinste waarde van de lichtverzwakking bedraagt ongeveer 0,16 dB/km. In de praktijk is dit voor het 1550 nm gebied 0,20-0,25 dB/km. Deze waarden liggen nagenoeg op het theoretisch verwachte minimum, zodat men kan zeggen dat op het punt van de lichtverzwakking de tegenwoordige kwartsglasvezels de grens van het mogelijke hebben bereikt.

Pulsverbreding

Een andere eigenschap van de glasvezels is, dat de optische pulsen bij het doorlopen van de vezel worden verbreed. Het zal duidelijk zijn dat de uiteindelijke breedte van een puls, na het doorlopen van een bepaalde lengte glasvezel, een grens stelt aan de pulsfrequentie. Als een puls verbreed wordt, zal de pulshoogte minder worden (signaalverlies), terwijl de 'staart' een correcte detectie van daaropvolgende 'nullen' en 'enen' bemoeilijkt, waardoor de foutkans ontoelaatbaar groot kan worden. Omdat de pulsverbreding toeneemt met de afstand, wordt hierdoor de overbrugbare afstand begrensd. Omgekeerd geldt dat een bepaalde afstand slechts overbrugbaar is tot een zekere waarde van de seinsnelheid.

Ook de pulsverbreding is afhankelijk van de golflengte van het gebruikte licht. Dit is schematisch weergegeven in afbeelding 3.



Afb. 3: De pulsverbreding per km $\Delta\tau$ in een moderne monomodus glasvezel (voorbeeld).

Verder is de pulsverbreding afhankelijk van het spectrum van de laser. Dit zal verderop in dit artikel nader worden besproken.

De ontvanger

Na het doorlopen van de vezel arriveert het licht op de optische ontvanger. Tegenwoordig worden daarvoor uitsluitend halfgeleiderdetectors gebruikt. Dit kunnen pin-dioden zijn (meestal in combinatie met een FET-versterker), of lawine fotodioden (dat zijn fotodioden met inwendige versterking, ook wel APD genoemd naar de Engelse term Avalanche Photo

Diode). In beide typen detector wordt door het invallende licht een elektrische stroom gegenereerd, die evenredig is met het opvallende lichtvermogen.

Zo komt het oorspronkelijk verzonden elektrische signaal weer tevoorschijn.

Begrenzungen

Om de uiteindelijke mogelijkheden van deze systemen vast te stellen, zal dieper worden ingegaan op de begrenzingen van de optische transmissiesystemen wat betreft afstand en seinsnelheid.

Zouden we bijvoorbeeld bij een detectorfabrikant een ideale fotodetector kunnen kopen, dan nog zou blijken dat deze detector beperkingen vertoont. Die vinden hun oorzaak dan uiteraard niet in de ideale component, maar in de natuur zelf. We hebben in dit geval namelijk te maken met een direct gevolg van het deeltjeskarakter van het licht. De fabrikant is dus geëxcuseerd.

Quantumruis

Binnenkomend in de ontvanger moet het licht worden beschouwd als een stroom fotonen die invalt op een detectoroppervlak. Nu bevat deze deeltjesstroom een zekere ongeordendheid: het aantal fotonen dat per tijdseenheid invalt heeft niet een constante waarde, maar vertoont variatie.

De variatie hangt samen met de onzekerheidsrelatie van Heisenberg uit de quantummechanica en is dus een fundamentele eigenschap van de natuur. Statistisch gesproken is het aantal invallende fotonen per tijdseenheid verdeeld volgens een Poisson-verdeling. Voor de fotonenstroom betekent dit dat de standaard variatie gelijk is aan de wortel uit het aantal invallende fotonen. Deze variatie is op te vatten als een ruis-signaal, die wordt aangeduid als de *quantumruis*.

Voor het gemiddelde van de signaalstroom die wordt gegenereerd in de ideale detector geldt:

$$\langle i_s \rangle = M \cdot \frac{e}{h \cdot \nu} \cdot \langle P_s \rangle.$$

- Hierin is: $\langle i_s \rangle$ = gemiddelde signaalstroom,
 M = versterkingsfactor van de diode zelf,
 ($M = 1$ voor een pin-diode)
 e = lading van een elektron
 = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C,
 $\langle P_s \rangle$ = gemiddeld vermogen van het optisch
 signaal,
 h = constante van Planck = $6,625 \cdot 10^{-34}$
 J_s ,
 ν = $\frac{c}{\lambda}$ = lichtfrequentie,
 c = lichtsnelheid in vacuüm = $3 \cdot 10^8$ m/s,
 λ = golflengte van het licht in vacuüm.

Bijvoorbeeld voor een ideale pin-diode bij 1300 nm volgt:

$$\langle i_s \rangle = 1,05 \cdot \langle P_s \rangle,$$

zodat voor een ideale fotodetector de gevoeligheid bij $\lambda = 1300$ nm ongeveer 1 A/W of 1 mA/mW bedraagt.

Quantumlimiet

Via een betrekkelijk eenvoudige redenering is hieruit het minimaal benodigde, gemiddeld optisch vermogen $\langle P_s \rangle_{ql}$ te berekenen dat nodig is om een bepaalde signaal-ruis verhouding te verkrijgen ten opzichte van de quantumruis:

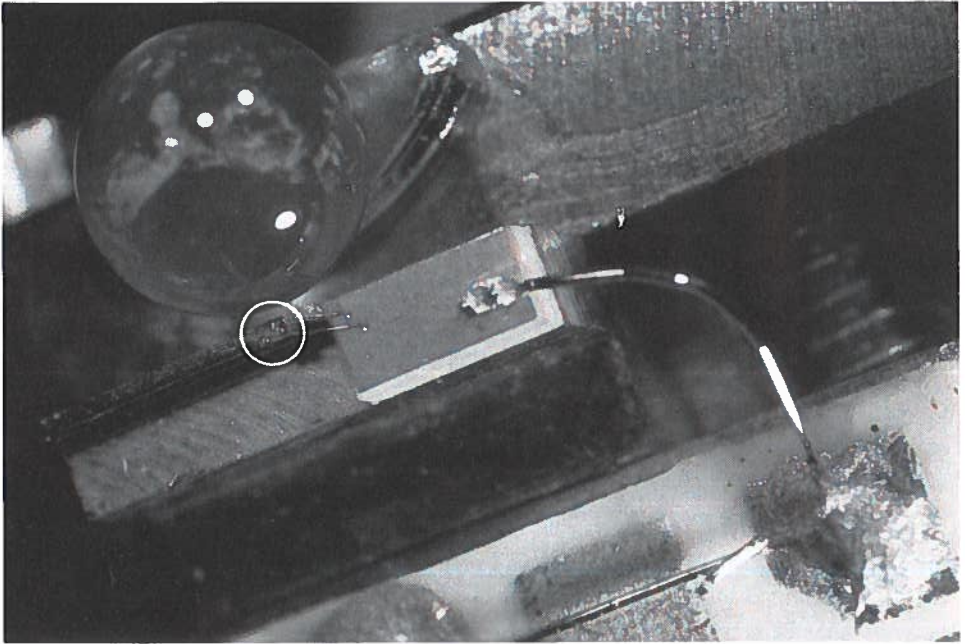
$$\langle P_s \rangle_{ql} = Q^2 \cdot \frac{h \cdot \nu}{2} \cdot R.$$

- Hierin is: Q = signaal-ruis verhouding, uitgedrukt
 als een amplitudefactor,
 R = seinsnelheid, het aantal 'nullen' of
 pulsen per seconde in het optische
 signaal.

Dit door de quantumruis bepaalde, minimaal benodigde gemiddeld optisch vermogen wordt ook wel de *quantumlimiet* genoemd van de gevoeligheid van een fotodetector.

Signaal-ruisverhouding

Naarmate de gewenste signaal-ruis verhouding groter is, moet ook het optische vermogen groter zijn om die bepaalde signaal-ruis verhouding te halen. Dit is logisch omdat bij een ge-



Een halfgeleiderlaser waarvan het licht met behulp van een bollens wordt ingekoppeld in een glasvezel. De laser bevindt zich in de witte cirkel en is circa 0,5 mm lang.

lijkblijvend gemiddeld vermogen en een toenemende seinsnelheid de energie per puls kleiner wordt.

Uit de theorie van de digitale transmissie volgt de relatie tussen een waarde van Q (signaal-ruisverhouding) en de foutkans, meestal BER genoemd. BER staat voor Bit Error Ratio, dat is het relatieve aantal fouten dat in het digitale signaal ontstaat (detectie van een 'een' dus bij een uitgezonden 'nul' of omgekeerd). Nemen we voor de foutkans een voor digitale transmissiesystemen gebruikelijke maximale waarde van 1 op 10^{10} , dus $BER \leq 10^{-10}$, dan volgt voor een binair systeem: $Q = 6,36$.

Wordt $\langle P_s \rangle_{q1}$ uitgedrukt in dBm en R in GBd, dan volgt hiermee voor $\lambda = 1300$ nm de eenvoudige formule:

$$\langle P_s \rangle = -55 + 10 \cdot \log R \text{ dBm.}$$

Voor $\lambda = 1550$ nm volgt nagenoeg dezelfde formule.

Ideaal

Als we aannemen dat de ideale detector gevolgd wordt door al even ideale elektronica, wat wil zeggen dat de enige ruis die

aanwezig is de quantumruis is, dan kan uit de gegeven formule het voor een ideale optische ontvanger minimaal benodigde, gemiddeld optisch vermogen worden berekend bij golflengten tussen 1300 nm en 1600 nm. Voor een aantal waarden van de transmissiesnelheid, en bij een toegestane foutkans van 10^{-10} zijn de resultaten weergegeven in tabel 1. Voor het gemak zijn daarbij voor R waarden genomen die corresponderen met de digitale hiërarchie van CCITT voor de transmissiesnelheid R_0 bij een 5B/6B code (dus $R = 6/5 \cdot R_0$).

R_0 (Mbit/s)	$\lambda \approx 1300$ nm		$\lambda \approx 1550$ nm	
	$\langle P \rangle_{ql}$ (nW)	$\langle P \rangle_{ql}$ (dBm)	$\langle P \rangle_{ql}$ (nW)	$\langle P \rangle_{ql}$ (dBm)
34	0,13	-69	0,11	-70
140	0,52	-63	0,44	-64
565	2,10	-57	1,76	-58
2400	8,91	-51	7,47	-51
9600	35,62	-44	29,88	-45

Tabel 1: Minimaal benodigd gemiddeld optisch vermogen voor een ideale optische detector bij 1300 nm en bij 1550 nm, met een foutkans van 10^{-10} en 5B/6B code.

Werkelijkheid

In de praktijk zal PTT evenwel moeten nemen met niet-ideale fotodetectoren. Deze vertonen stralingsverlies (één foton geeft in de detector gemiddeld slechts η elektronen, met $\eta \approx 0.8$) en leveren bovendien ruisbijdragen.

Ook de elektronica zal bijdragen aan de ruis. Hierdoor zal zelfs in optische ontvangers met zeer goede fotodetectors de gevoeligheid hoger komen te liggen dan de hiervoor berekende ideale gevoeligheid: zo'n 10 dB meer voor een ontvanger met een lawine-fotodiode ofwel APD, tot zo'n 20 dB hoger voor een pinFET ontvanger.

Praktijkwaarden

Praktische waarden van de gevoeligheid van optische detectors in het golflengtegebied tussen 1300 en 1600 nm, kunnen met de volgende formules worden vastgesteld, waarbij voor de pinFET ontvanger rekening is gehouden met een wat sterkere afname van de gevoeligheid bij hogere seinsnelheden:

$$\begin{aligned} \text{pinFET ontvanger: } <P_s>_{\min} = -35 + 14 \cdot \log R \text{ dBm,} \\ \text{APD ontvanger : } <P_s>_{\min} = -40 + 10 \cdot \log R \text{ dBm,} \\ \text{met } R \text{ in GBd.} \end{aligned}$$

Voor transmissiesystemen wordt nog een extra marge genomen, rekening houdend met onder andere connectorverliezen, temperatuurvariëaties en veroudering van de lichtbron. De ontvangergevoeligheid en de daaraan verbonden waarden van de met optische systemen te overbruggen afstanden, zijn opgenomen in tabel 2. Hierbij is uitgegaan van 1 mW (0 dBm) in de vezel gekoppeld optisch vermogen, een lichtverzwakking bij 1300 nm respectievelijk bij 1550 nm van 0,35 dB/km en 0,25 dB/km, en van 6 dB extra systeemmarge. Evenals in tabel 1 is de transmissiesnelheid R_0 als variabele genomen, waarbij de seinsnelheid volgt uit $R = 6/5 \cdot R_0$ voor een 5B/6 B code.

Tabel 2: Praktische waarden van de ontvangergevoeligheid en de maximale overbrugbare afstanden voor binaire (5B/6B) optische transmissiesystemen bij 1300 nm ($A = 0,35$ dB/km) en bij 1550 nm ($A = 0,25$ dB/km), met een zendvermogen van 1 mW en een foutkans van 10^{-10} .

R_0 (Mbit/s)	$<P_s>_{\min}$ (dBm)		z_{\max} (km)			
			$\lambda \approx 1300$ nm		$\lambda \approx 1550$ nm	
	pinFET	APD	pinFET	APD	pinFET	APD
34	-54	-54	137	137	192	192
140	-46	-48	114	120	160	168
565	-37	-42	88	102	124	144
2400	-29	-35	65	82	92	116
9600	-20	-29	40	65	56	92

Transmissiesnelheden

Opgemerkt moet worden dat transmissie bij 9600 Mbit/s, ofwel 9,6 Gbit/s, nog toekomstmuziek is. Snelheden tot 2400 Mbit/s, ofwel 2,4 Gbit/s, zijn voor de pinFET ontvangers reëel. Maar de APD's zijn in ontwikkeling: in laboratoria zijn de aangegeven hoge waarden al gehaald, bij praktische systemen alleen nog niet. Door het AT&T Bell laboratorium is gerapporteerd over transmissie met 1,5 m optische systemen van 4 Gbit/s over 117 km en van 8 Gbit/s over 70 km.

Onder andere met het oog op reparatielassen neemt men in de praktijk veelal enige extra marge. De overbrugbare afstanden vallen daardoor kleiner uit, bijvoorbeeld ongeveer 35 tot 50

km voor 565 Mbit/s bij 1300 nm. CCITT beveelt voor 140 Mbit/s systemen tussen zender en ontvanger als toegestane lichtverzwakking 28dB aan en voor 565 Mbit/s systemen 24 dB aan. Waarden die blijikbaar met de nodige voorzichtigheid zijn gekozen.

Versterkers

Het zal duidelijk zijn dat met transmissiesnelheden van 140 Mbit/s en 565 Mbit/s in Nederland onderweg geen versterkers nodig zijn in de optische verbindingen tussen de centrales van het lange afstandsnet. Dit betekent een belangrijke kostenbesparing.

Ook voor transmissiesnelheden van enkele Gbit/s tot misschien 10 Gbit/s toe, is dit waarschijnlijk mogelijk, zeker als van het 1550 nm goflengtegebied gebruik wordt gemaakt en van smalbandige lasers of vezels met gunstige dispersie-eigenschappen (straks meer hierover).

Bij lange afstandsverbindingen zoals onderzee kunnen optoelektronische versterkers worden toegepast. Deze bestaan uit een optische ontvanger, een regenerator en een optische zender, welke elektrisch worden gevoed. Zo bevat de eind 1988 voltooide eerste transatlantische glasvezelverbinding TAT8 om de 50 km versterkers.

Ook naar optische versterkers wordt onderzoek gedaan. Daarvoor kan een halfgeleiderlaser dienst doen waarin het optische signaal direct wordt versterkt. Uiteraard moet deze worden gevoed via een elektrische stroom. Hierover zijn uit diverse laboratoria al interessante resultaten gemeld. Het AT&T Bell laboratorium heeft transmissie van 1 Gbit/s over 313 km gerapporteerd, waarbij 4 laser-versterkers werden gebruikt.

Een manier om de quantumlimiet van de gevoeligheid van optische detectors dichter te benaderen dan mogelijk is bij de tot nu toe genoemde ontvangers, zal in het juninummer van het Studieblad worden besproken.

Vermogensbudget

Tenslotte kan nog worden opgemerkt dat het in de vezel gekoppelde optische vermogen, dat hier op 1 mW is gesteld, in de toekomst groter zal worden. Het is waarschijnlijk dat uit-

eindelijk waarden van 100 mW mogelijk zullen worden. Gaan we ervan uit dat ongewenste niet-lineaire effecten in de vezels bij dat vermogen niet optreden, dan zou dat een behoorlijke toename van de overbrugbare afstand betekenen omdat de lichtverzwakking in de vezels zo klein is. Een vergroting van het vermogensbudget met 20 dB, zou bij 1300 nm een toename van de overbrugbare afstand met 57 km en bij 1550 nm met 80 km betekenen!

Begrenzingsen ten gevolge van dispersie

In het voorgaande hebben we de begrenzing besproken die voortkomt uit het vermogensbudget van een glasvezelsysteem. Zoals gezegd treedt bij glasvezelsystemen echter nog een tweede begrenzing op. Een begrenzing die zijn oorzaak vindt in de verbreding van de optische pulsen tijdens het doorlopen van een glasvezel.

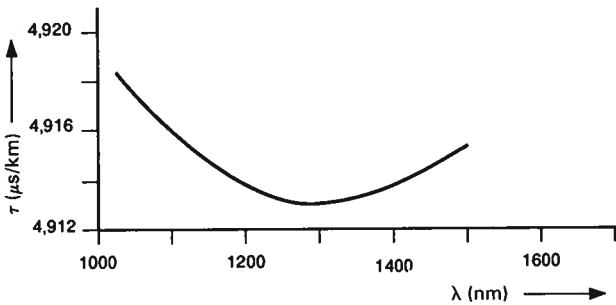
Multi- versus monomodus

In de aanvankelijk veel gebruikte zogenaamde multimodusvezel, waarin het getransporteerde licht zich over een aantal 'wegen' binnen de glasvezel verdeelt, is juist deze meerwegigheid een voorname oorzaak van pulsverbreding. Door een goed ontwerp kan namelijk de looptijd van het licht via de diverse wegen wel redelijk goed gelijk worden gemaakt, maar nooit precies. Daarom zijn in de afgelopen vijf jaar de monomodusvezels sterk opgekomen. In monomodusvezels staat het licht in feite slechts één lichtweg ter beschikking waardoor meerwegigheid als oorzaak van pulsverbreding afwezig is. Met andere woorden, monomodusvezels staan principieel hogere seinsnelheden toe dan multimodusvezels. Daarbij komt nog dat monomodusvezels iets goedkoper zijn dan multimodusvezels. Dit alles heeft PTT Telecom in 1985 tot het besluit gebracht nog uitsluitend optische kabels te installeren met monomodusvezels.

Het feit dat meerwegigheid in monomodusvezels niet voorkomt, betekent niet dat in deze vezels geen grens moet worden gesteld aan de seinsnelheid. Dit als gevolg van de zogenaamde dispersie-eigenschappen van deze vezels. Dit zal nu in het kort worden besproken.

Dispersie

Met dispersie wordt het verschijnsel aangeduid dat de snelheid waarmee een optische golf zich voortplant in glas, afhankelijk is van zijn golflengte. In glasvezels is de situatie iets gecompliceerder omdat naast de dispersie door het materiaal glas, ook de structuur van de glasvezel een effect heeft op de dispersie. In afbeelding 4 is de looptijd per km van een optisch signaal met een bepaalde golflengte ('monochromatisch') in een monomodus glasvezel als functie van de golflengte weergegeven.



Afb. 4: De looptijd per km γ van een optisch signaal in een monomodus glasvezel (voorbeeld).

Een optische puls heeft een bepaalde spectrale breedte, eenvoudig gezegd bevat altijd een aantal golflengten, en zal bij het doorlopen van een lengte vezel worden verbreed tengevolge van de looptijdverschillen voor de verschillende golflengten.

In afbeelding 4 is te zien dat deze pulsverbreding het kleinst is bij een golflengte in de buurt van 1310 nm. De pulsverbreding wordt uitgedrukt met behulp van de zogenaamde dispersie-coëfficiënt D , die het looptijdverschil per eenheid van afstand en per eenheid van spectrale breedte aangeeft.

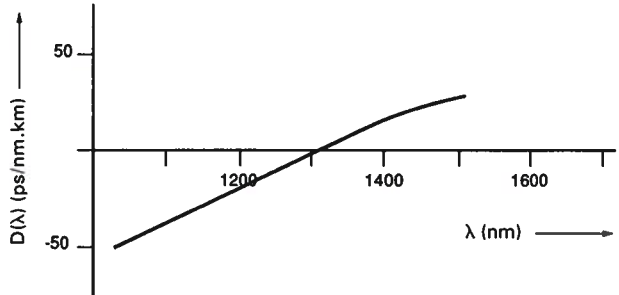
In formule:
$$D(\lambda) = \frac{d\gamma}{d\lambda}$$

waarin γ de looptijd per eenheid van afstand, meestal km, voorstelt. De totale pulsverbreding Δt wordt dan in eerste benadering gegeven door:

$$\Delta t = D(\lambda) \cdot z \cdot \Delta\lambda,$$

waarin z de afstand en $\Delta\lambda$ de spectrale breedte van de bron is. De dispersie-coëfficiënt als functie van de golflengte, zoals die volgt uit afbeelding 4, is weergegeven in afbeelding 5.

Afb. 5: De dispersie-coëfficiënt D als functie van de golflengte voor een monomodus glasvezel (voorbeeld).



In afbeelding 5 is duidelijk te zien dat voor een bepaalde golflengte, aangeduid met λ_0 , de dispersie-coëfficiënt nul is, waardoor de pulsverbreding bij die golflengte zeer klein is. Uiteraard wordt de pulsverbreding niet precies nul omdat de spectrale breedte $\Delta\lambda$ eindig is, en bovendien treedt er nog een tweede orde pulsverbreding op, die in de buurt van de genoemde golflengte een begrenzing geeft. Deze golflengte heet in het Engels de 'zero-dispersion wavelength', wat dus eigenlijk niet correct is.

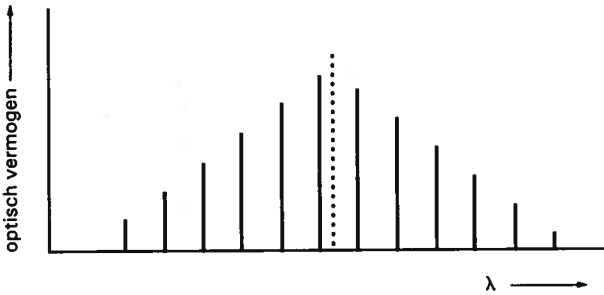
Een optisch transmissiesysteem dat juist bij de golflengte λ_0 werkt, wordt ten opzichte van andere golflengten dus het minst beperkt door de pulsverbreding in de vezel.

Maximale dispersiewaarde

In de praktijk specificeert PTT een golflengtegebied. Voor het 1300 nm gebied heeft CCITT voor 140 Mbit/s systemen 1270 tot 1330 nm, en voor 565 Mbit/s systemen 1285 tot 1330 nm voorgesteld. Daarbij wordt een maximum waarde van de dispersie, zijnde het product van dispersie-coëfficiënt D en afstand gespecificeerd, welke respectievelijk 300 ps/nm en 100-120 ps/nm bedraagt.

Deze maximum waarde zal in het algemeen optreden bij de laagste golflengte omdat die het verst van $\lambda_0 \approx 1310$ ligt. Bij een spectrale breedte van de bron van 2 nm (een reële waarde voor een halfgeleiderlaser zoals die in hedendaagse systemen wordt toegepast), volgt dus een maximaal toegestane pulsverbreding Δt van 600 ps, respectievelijk 240 ps tussen zender en ontvanger. Als we eenvoudigheidshalve aannemen dat de toegestane pulsverbreding gelijk is aan $\frac{1}{4}R$ – dus voor 140 Mbit/s: 1,7 ns en voor 565 Mbit/s: 0,4 ns – volgt hieruit dat

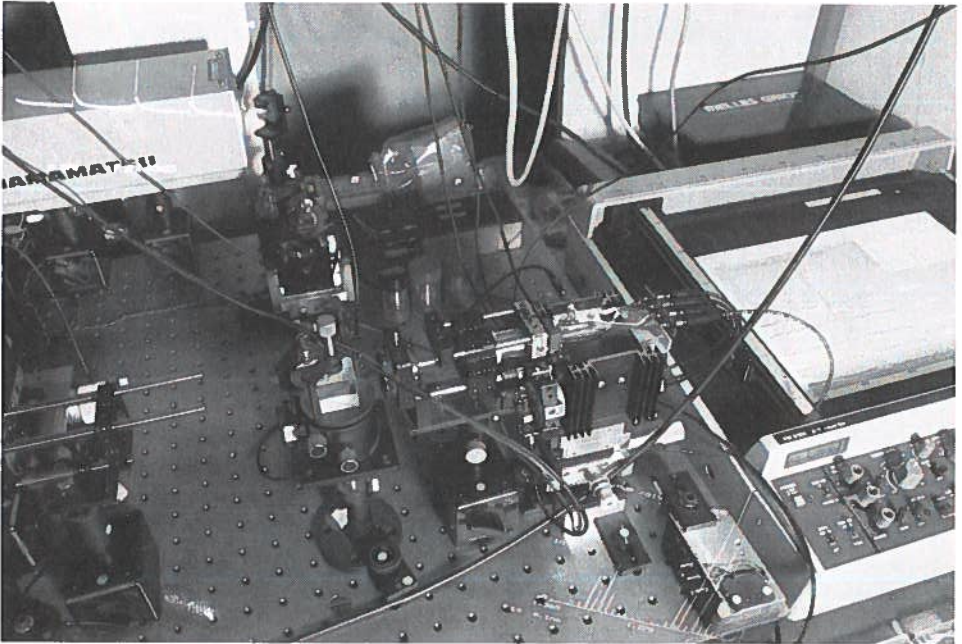
de genoemde dispersie-grenswaarden tamelijk klein zijn. CCITT is ook hier aan de voorzichtige kant gebleven. Voor transmissiesnelheden van 565 Mbit/s en hoger wordt hierbij rekening gehouden met feit dat het spectrum van de momenteel toegepaste halfgeleiderlasers een lijnenspectrum is (zie afb. 6) en dat de energieverdeling over deze spectrale lijnen fluctueert. Dit komt tot uiting als een fluctuatie in het ontvangstniveau, de zogenaamde modusverdelingsruis, vandaar de lage CCITT-waarden voor de dispersie. (Het spectrum in afbeelding 6 is dus een over de tijd gemiddeld spectrum.)



Afb. 6: Spectrum van een halfgeleiderlaser (voorbeeld).

Seinsnelheid

Het afstandsbelegrend effect van de dispersie wordt sterker bij toenemende seinsnelheden. Zoals eerder gezegd kan dit effect worden verkleind door de systeemgolflengte dicht bij de golflengte λ_0 te kiezen. Een andere mogelijkheid is het verkleinen van de spectrale breedte $\Delta\lambda$. In feite zou een laser met slechts één spectraallijn het mooist zijn, mits deze stabiel is. Moderne ontwikkelingen op het gebied van de halfgeleiderlasers richten zich juist hierop. Door het aanbrengen van een golflengte-selectief element in de halfgeleiderlaser kan de laser 'echt monochromatisch' worden gemaakt. Dit zijn de zogenaamde Distributed Feedback (DFB) en Distributed Bragg Reflector (DBR) lasers. In plaats van een spectrale breedte van enkele nm, zoals bij de 'gewone' halfgeleiderlasers, komt men dan in de orde van honderdsten van nm. In welk geval van de spectrale breedte meestal uitdrukt in MHz of kHz. Voor halfgeleiderlasers zijn waarden van minder dan 1 MHz gehaald.



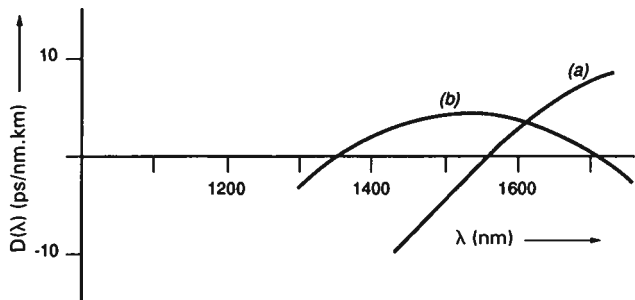
Een opstelling in het RNL voor het meten van diverse eigenschappen van halfgeleiderlasers. Linksboven op de foto is een infrarood camera zichtbaar, waar overheen een opname van een reeks laserpulsen is afgedrukt; rechtsonder is een opname van een laserspectrum zichtbaar gemaakt.

Monochromatische lasers

Het zal duidelijk zijn dat bij deze lasers de pulsverbreding ten gevolge van dispersie in kwartsglasvezels, geen afstandbepalende factor meer is. Wat we in feite krijgen is dat de spectrale breedte van de laser bepaald wordt door zijn modulatie die in de orde van GHz kan liggen. Bij transmissiesnelheden boven 565 Mbit/s zal men dan ook, met het oog op de dispersie, alleen DFB- of DBR-lasers toepassen.

Nieuwe monomodusvezels

Tenslotte moeten nog twee nieuwe typen monomodusvezels, de zogenaamde dispersion shifted en de dispersion flattened vezels, worden genoemd. Door een bijzondere keuze van de optische structuur van een monomodusvezel kan de waarde van de 'zero-dispersion' golflengte λ_0 worden verschoven, van het 1300 nm gebied naar het 1550 nm gebied (zie afb. 7). De zo verkregen 'dispersion shifted' vezel is dan optimaal wat betreft lichtverzwakking en dispersie!



Afb. 7: De dispersie-coëfficiënt als functie van de golflengte voor een dispersion shifted vezel (a) en voor een dispersion flattened vezel (b) (voorbeeld).

Verder kan eveneens door manipulatie van de optische vezelstructuur, de dispersie-coëfficiënt over het gehele golflengtegebied tussen ongeveer 1300 en 1550 nm klein worden gemaakt, bijvoorbeeld maximaal 3 ps/nm.km. Dit wordt een 'dispersion flattened' vezel genoemd (zie afb. 7). Qua dispersie is deze vezel dan over het gehele golflengtegebied tussen 1300 en 1550 nm bruikbaar. Dit is bijvoorbeeld interessant voor toepassing van golflengte multiplexing, dat wil zeggen het gelijktijdig over één vezel transporteren van een aantal optische kanalen met verschillende golflengten.

Ter onderscheiding van deze nieuwe typen monomodusvezels wordt de 'gewone' monomodusvezel tegenwoordig wel aangeduid met 'standaard' monomodusvezel.

(wordt vervolgd)

Kijken in lijnen; enige aantekeningen met betrekking tot de optische telegraaf in Nederland

G. Hogesteeger

'Telecommunicatie door middel van licht; een geheel nieuw fenomeen', zo wordt vaak gezegd. Ten onrechte. Reeds de oudste vorm van telecommunicatie maakte gebruik van het licht. In deze geschiedkundige bijdrage wordt teruggegaan naar het begin van de telecommunicatie: het overbrengen van berichten met behulp van zichtbare tekens, de optische telegrafie.

Reeds vroeg leefde bij de mens het verlangen zijn berichtgeving sneller te laten verlopen dan met behulp van het paard mogelijk was. Aan die wens dankt de optische telegraaf zijn ontstaan. Waarschijnlijk waren de Perzen de eersten, die op systematische wijze een berichtenverkeersdienst onderhielden door middel van fakkels. Ook de Grieken en Romeinen maakten gebruik van deze manier van berichtgeving. Na de val van het Romeinse rijk raakte zij echter in vergetelheid. Snel ging het inderdaad. Volgens Aristoteles slaagden de Perzen er in op één dag een afstand van – hemelsbreed! – ongeveer tweeduizend kilometer te overbruggen. Het grote bezwaar was, dat alleen tevoren afgesproken meldingen konden worden overgebracht.

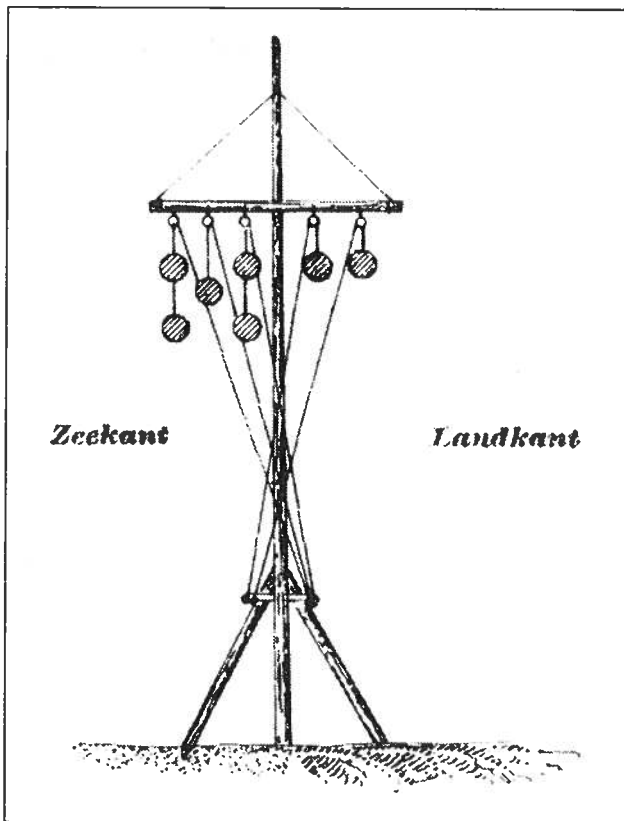
Het oudst bekende voorstel voor optisch telegraafverkeer in ons land kende eveneens slechts de mogelijkheid om vooraf overeengekomen berichten uit te wisselen. In 1581 bracht de bevelhebber bij het beleg van Steenwijk 'eene maniere om van verre malckander aan te spreucken' naar voren.¹ Het overbrengen van berichten zou overdag geschieden door middel van gekleurde doeken, 's nachts met behulp van lantaarns. Dit plan is niet uitgevoerd.

Zeer beperkte mogelijkheden bood het stelsel voor optische telegrafie, dat aan het eind van de achttiende eeuw bestond langs de kust tussen Texel in het Noorden en Westkapelle in het Zuiden. Het diende vooral doelen van militaire aard. Het ging hier om een primitief systeem, waarbij berichten werden overgebracht met behulp van geschut, pektenonnen en vuurpijlen.

Na de Bataafse Revolutie (1795) kwam een meer professio-

¹ W. Ringnalda, *Gedenkboek van de Rijkstelegraaf in Nederland (1852-1902)*, Amsterdam 1902, p. 2.

nele 'telegrafische beseining der kusten' tot stand. Het sein-apparaat bestond uit een mast met een ra, waaraan overdag bollen en 's nachts lantaarns werden opgehangen (afb. 1).

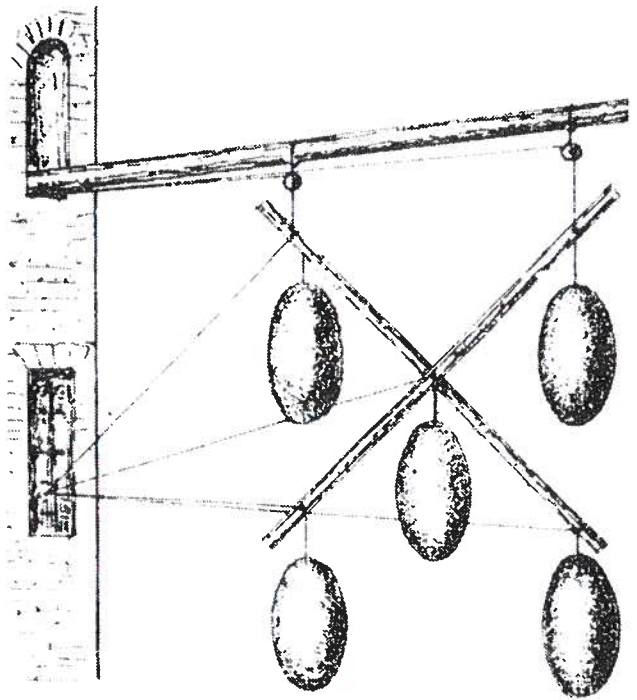


Afb. 1: Toestel van de kusttelegraaf ten tijde van de Bataafse Republiek

Door die bollen of lantaarns in ten opzichte van elkaar variërende posities te hangen, bestond de mogelijkheid eenentwintig verschillende seinen over te brengen. Dit aantal kon eventueel worden vergroot tot honderdzesentwintig. Men was dus in principe in de gelegenheid ieder gewenst bericht over te brengen. De instelling van het apparaat bij het verzenden van een bericht vergde echter veel tijd en de kans op foute waarnemingen aan de ontvangzijde was aanzienlijk. In hoofdzaak bleef het verkeer dan ook beperkt tot standaardberichten. In oktober 1801 werd de dienst gestaakt, omdat de oorlog tussen Engeland en Frankrijk feitelijk tot een einde was geko-

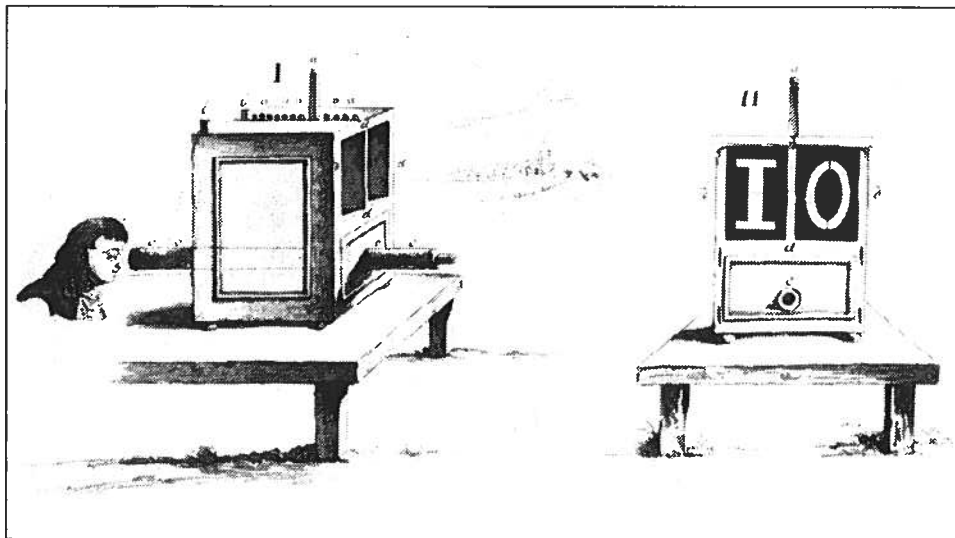
men. De in 1802 gesloten vrede van Amiëns bleek echter niet duurzaam en nog in hetzelfde jaar kwam de kusttelegraaf weer in bedrijf. In 1803 waren er tweeënveertig posten. Toen de Fransen de posten inspecteerden na de inlijving van ons land bij het Franse keizerrijk (1810), bleek een aantal op instorten te staan. Ze werden toen hersteld. In 1815, na de vorming van het Koninkrijk verdwenen ze. Alleen de naam 'Seinpostduin' herinnert in Scheveningen nog aan deze vorm van optische telegrafie.

Afb. 2: Toestel voor de telegraafverbindingen over land ten tijde van het Koninkrijk Holland



Naast de kusttelegraaf kwamen in 1809 ook optische telegraafverbindingen over land tot stand. Het ging hier om verbindingen van Amsterdam met Ossendrecht – de legerplaats van generaal Dumonceau – en met Het Loo bij Apeldoorn. Aan kerktorens werd een horizontale mast bevestigd met daaraan een Andreaskruis. Hieraan kwamen overdag bollen en 's nachts lantaarns te hangen (afb. 2). Door de onderlinge posities van deze bollen of lantaarns te variëren, ontstond de mogelijkheid eenendertig verschillende seinen over te bren-

gen. Ook bij dit systeem ging het weer om een ingewikkeld stelsel. Dit bracht een grote kans op fouten met zich, terwijl de berichtgeving, mede daardoor, traag verliep.



Het is daarom merkwaardig, dat men in 1809 voor dit stelsel koos. Er bestonden op dat moment namelijk betere alternatieven. Eén daarvan stamde zelfs van Nederlandse bodem. Het betrof een uitvinding van de Groningse 'mechanicus' W. Trapman. Dit systeem was in 1795 gebruikt op een particuliere verbinding tussen Groningen en Fernsum. Deze telegraaf bestond uit een kist, waarvan de voor- en achterzijde half zo hoog waren als de zijkanten. In de onderste helft stonden drieënveertig schuiven, waarin een letter, een cijfer of een ander teken was uitgesneden (afb. 3). Plaatste men de kist zodanig, dat het daglicht of een lamp hem van achteren verlichtte, dan werd het teken zichtbaar indien men zo'n schuif omhoog trok. De afstand, waarover de tekens zichtbaar bleven, hing af van de afmetingen van de kist. Een beperking van het aantal tussenliggende posten teneinde de snelheid van de berichtgeving te vergroten, leidde dan ook al snel tot een onhanterbaar apparaat.

Dit bezwaar kleefde in elk geval niet aan het toestel, dat in diezelfde tijd furore maakte, de optische telegraaf van Chappe. Na langdurig experimenteren was Claude Chappe er in 1792

Afb. 3: Telegraafstoel van Trapman

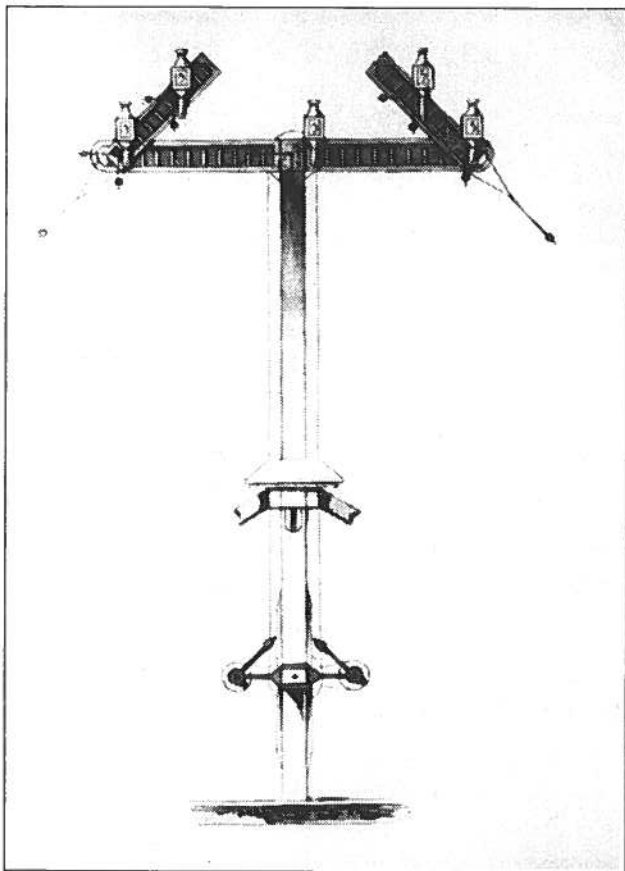
in geslaagd zijn ‘télégraphie aërienne’ te construeren. Hij was daarmee een volledig nieuwe weg op het gebied van de optische telegrafie ingeslagen.

Het succes van de telegraaf van Chappe hing in belangrijke mate samen met het feit, dat in Europa in die jaren voortdurend oorlogen woedden. Franse legers bevonden zich tegelijkertijd op allerlei, vaak ver uiteengelegen plaatsen. Dit vroeg om een communicatiesysteem, waarmee snel grote afstanden konden worden overbrugd. In verband met de voortdurend wisselende posities van het leger moesten de verbindingswegen gemakkelijk te verleggen zijn. Bovendien, omdat de inhoud van de meldingen vaak niet viel te voorzien, moest het stelsel geschikt zijn ieder willekeurig bericht over te brengen.

Zet men hier tegenover de voornaamste kenmerken van de telegraaf van Chappe – een eenvoudig verplaatsbaar en simpel te bedienen toestel met veel mogelijke seintekens die, ook bij minder gunstige weersomstandigheden, op grote afstand zichtbaar waren –, dan is de verklaring van het succes daarmee gegeven.

Het toestel van Chappe bestond uit een verticale mast met daaraan een als een hefboom bewegende dwarsbalk. Aan de uiteinden daarvan zaten beweegbare vleugels (afb. 4). Door de stand van de balk en de vleugels ten opzichte van elkaar te wijzigen, was het mogelijk honderdzesennegentig verschillende seintekens te vormen. 's Nachts geschiedde dit door aan balk en vleugels lantaarns te bevestigen. In de praktijk gebruikte men slechts de helft van het maximaal mogelijke aantal seinen, namelijk achtennegentig; alleen indien de dwarsbalk zich in horizontale of verticale positie bevond, was sprake van een seinteken. Het instellen van de vleugels gebeurde bij een diagonale stand van de dwarsbalk. Deze procedure had het grote voordeel, dat de kans op fouten drastisch werd beperkt: het was immers onmogelijk, dat de ontvanger meende dat een seinteken werd gegeven, terwijl de berichtgever zijn toestel nog aan het instellen was.

De goede waarneembaarheid vormde één van de sterkste punten van de telegraaf van Chappe. Dit kwam de snelheid van de berichtgeving ten goede, aangezien de diverse posten op ruime afstand van elkaar konden worden gevestigd. Op bepaalde trajecten lagen de posten wel vijf tot zes uren gaans, dat wil zeggen meer dan twintig kilometer van elkaar verwijderd. Zo



Afb. 4: Telegraafstoel van
Chappe

overbrugde de eerste verbinding de afstand tussen Parijs en Lille – zestig uren gaans – met twaalf posten. Deze lijn kwam in 1794 tot stand. Van eindpunt naar eindpunt deed een bericht er ongeveer dertien minuten over.

Niet overal bestond de mogelijkheid de posten zo ver van elkaar te vestigen. De gesteldheid van het landschap (hoogteverschillen bijvoorbeeld) en klimatologische omstandigheden (het regelmatig voorkomen van mist bijvoorbeeld) konden een uitbreiding van het aantal posten noodzakelijk maken. Dat vertraagde de berichtgeving dan aanzienlijk. Het telegraafstoel van Chappe mocht dan eenvoudig te bedienen zijn, het voor ieder seinteken telkens opnieuw instellen van alle apparaten van de keten vroeg relatief veel tijd.

Juist in verband met het voorgaande was het noodzakelijk te voorkomen, dat onnodige vertraging optrad in de berichtgeving. Er werd daarom streng op toegezien, dat het personeel op de posten zijn werkzaamheden snel en stipt verrichtte. Op een vermijdbaar oponthoud van minder dan twee minuten volgde een gedeeltelijke inhouding van het toch al karige loon; bij een grotere vertraging volgde ontslag.

Ondanks de genoemde bezwaren bleef het aantrekkelijk gebruik te maken van de optische telegraaf van Chappe. Geleidelijk ontstond over heel Frankrijk een net van permanente verbindingen. Omstreeks 1810 bedroeg de lengte van dit net bijna vijfduizend kilometer en bestonden er ongeveer vijfhonderd stations. Aan dit net waren uitlopers in door Frankrijk bezette gebieden gekoppeld.

Behalve deze permanente verbindingen bestonden er zogenaamde ambulante verbindingen ten behoeve van het leger te velde. Hierbij maakte men vaak gebruik van toestellen van geringere afmetingen. Weliswaar bracht dit vanwege de verminderde zichtbaarheid de noodzaak met zich het verkeer over een groter aantal posten af te wikkelen, maar daar stond tegenover dat de apparaten veel gemakkelijker te verplaatsen waren. Dit woog heel zwaar, juist gezien de nadruk op het ambulante karakter van deze verbindingen.

Gezien de successen valt het niet te verbazen, dat de optische telegraaf van Chappe in het middelpunt van de belangstelling kwam te staan. In vrijwel alle landen werden er modellen van gemaakt en verhandelingen over geschreven. Vooral in Duitsland bestond grote activiteit. Daar verscheen zelfs een toneelstuk met de titel 'Telegraphen'. Ook in ons land werden publikaties gewijd aan en lezingen gehouden over de telegraaf van Chappe. De 'Maatschappij Felix Meritis' in Amsterdam verwierf zelfs een eigen exemplaar.

Dit alles roept wel de vraag op waarom de overheid in 1809 koos voor een toch veel primitiever stelsel van optische telegrafie ten behoeve van haar officiële correspondentie. Die vraag klemt te meer, omdat de vorst van het in 1806 gevormde Koninkrijk Holland, koning Lodewijk Napoleon, zoveel nieuws uit Frankrijk hier introduceerde. Daarbij kan onder andere worden gedacht aan de oprichting van de Paardenposterij in 1807. Een antwoord op de hierboven geformuleerde vraag is, althans op dit moment, niet te geven.

In het verkeer deed de telegraaf van Chappe zijn intrede in ons land pas na de inlijving bij het Franse keizerrijk in 1810. Napoleon besloot toen, dat de bestaande verbinding tussen Parijs en Antwerpen moest worden doorgetrokken naar Amsterdam. Via Hoogstraten en Meerle bereikte de lijn de grens van ons land. De route verliep dan verder als volgt: Bavel – Dongen – Sprang – Heusden – Veen – fort Loevestein – Leerdam – Hagestein – Houten – Utrecht – Westbroek – Vreeland – Ouderkerk aan de Amstel – Amsterdam. Behalve bij Loevestein werd het toestel overal op een kerktoeren geplaatst. In Utrecht moest men daarvoor de weerhaan van de toren van de Sint Jacobskerk verwijderen.

In Amsterdam wilde men in eerste instantie het toestel plaatsen op de toren van de Nieuwe Kerk. Het stadsdeel tussen deze post en Ouderkerk bleek echter hinderlijk voor een goede waarneming van de seinen. Er moest dus een andere vestigingsplaats worden gekozen en dat werd de Weesperpoort. Het gereedkomen van de lijn vormde een gebeurtenis van niet geringe betekenis. Amsterdam verkreeg hiermee een permanente directe verbinding met de Middellandse Zee.

De lijn schijnt niet zeer intensief te zijn gebruikt. Toch is nooit overwogen haar ook open te stellen voor particulier verkeer. Reeds in 1799 schreef de 'Oeconomische Courant' over de betekenis 'van een Werktuig, het welk, behalve het Staatkundig en *Militair* gebruik, tot nog toe van hetzelfde gemaakt, nog oneindig gewichtiger schynt te kunnen gemaakt worden, door hetzelfde dienstbaar te doen zyn aan de Koophandels- en Industrie-Correspondentie, en andere voornaame belangen der Maatschappy, of van derzelve byzondere leden.'²

Napoleon was er de man niet naar zulke mogelijkheden niet te onderkennen. Hij wist echter tevens hoe kwetsbaar zijn regime was en zal zich hebben gerealiseerd, dat de openstelling van het telegraafnet ten behoeve van derden voor hem grote gevaren inhield. Zijn vele politieke tegenstanders binnen en buiten Frankrijk kregen dan immers dezelfde mogelijkheden tot snelle communicatie. Reeds in de zeventiende eeuw was met betrekking tot de telegrafie geschreven, dat 'daer door de verraderijen al te frequent en al te bedekt souden kunnen geschieden.'³

In 1813 kwam met het vertrek van de Fransen het einde voor de verbinding met Parijs. Toen de Franse troepen in novem-

² Oeconomische Courant, 1799, no. 19, 10 april 1799.

³ Wynant van Westen, *Mathematische Vermakelykheden*, Arnhem 1636, p. 127.

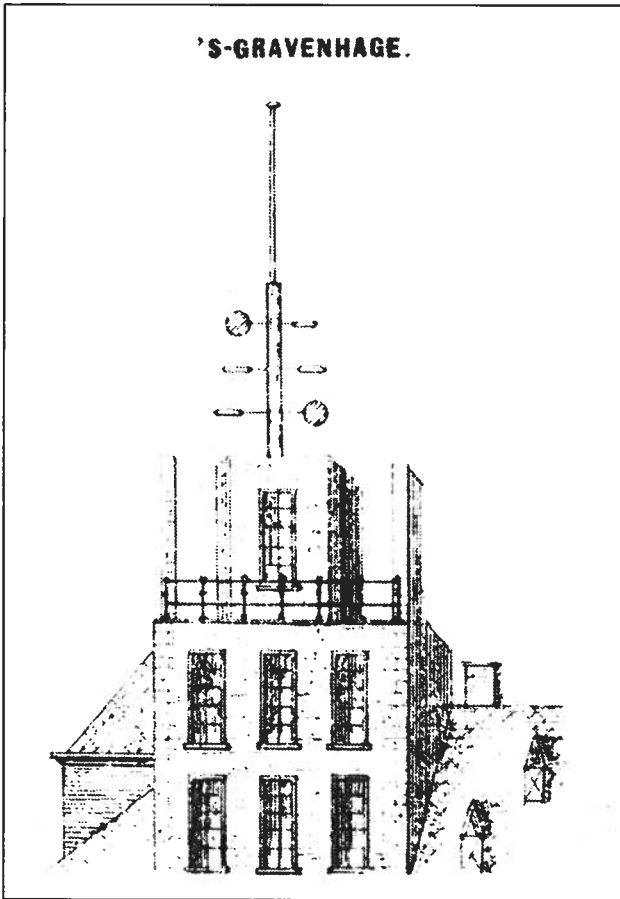
ber uit Amsterdam waren weggetrokken, haalde de menigte het toestel neer en vernielde het. Hetzelfde gebeurde in enige andere plaatsen. Elders liet de overheid de apparaten afbreken en opslaan. In de eerstvolgende jaren is nog overwogen de verbinding op het Nederlandse trajectgedeelte te herstellen. Dit plan is evenwel niet gerealiseerd.

Ook in het volgende tijdvak kwam het niet tot inschakeling van de optische telegraaf ten behoeve van handel en industrie. Dit bleef achterwege ondanks het feit, dat publikaties verschenen, waarin werd gewezen op de grote voordelen, die aan zo'n openstelling waren verbonden. In een waarlijk visionair betoog beschreef een broer van Claude Chappe in 1824 de bijna niet te schatten voorsprong, die een stad op het gebied van handel en industrie verkreeg, indien zij zich in het centrum van een netwerk van optische telegraafverbindingen zou bevinden.⁴ (Zo visionair schreef Chappe l'ainé, dat de lezer soms denkt een publikatie rond één van de moderne telematicaprojecten te lezen!) Een belangrijk beletsel voor de verwezenlijking van zulke ideeën vormde het feit, dat de eerste helft van de negentiende eeuw in politiek opzicht een uiterst onrustig tijdvak was. De machthebbers oordeelden een openbaar telegraafstelsel daarom te gevaarlijk.

In ons land kwam daar nog een belemmerende factor bij. Binnen de overheid ontbrak tot het midden van de eeuw ieder inzicht in de betekenis van een goed berichtenverkeersstelsel voor de economische ontwikkeling van het land. Toen de instelling van de overheid veranderde, was de elektrische telegraaf reeds geïntroduceerd.

Dit alles betekende intussen niet, dat in het jaar 1813 het einde kwam voor de optische telegrafie in ons land. Deze herleefde na de opstand van de Belgen in 1830. De overheid stond toen voor de noodzaak een snelle berichtgeving naar en van Noord-Brabant mogelijk te maken. De verbinding diende bovendien op zeer korte termijn tot stand te worden gebracht. Het ging daarbij in het bijzonder om verkeer met de vestingen Breda en 's-Hertogenbosch. A. Lipkens, adviseur van het departement van Binnenlandse Zaken, ontwierp hiervoor een nieuw toestel, dat zich vooral van bestaande systemen onderscheidde door zijn grote eenvoud. Het bestond uit een verticale stok met daaraan drie zijstokken. Aan elk van de uiteinden daarvan bevond zich een schijf (afb. 5). Die schijven

⁴ Chappe l'ainé, *Histoire de la télégraphie*, Parijs 1824.



Afb. 5: Telegraafstoestel van Lipkens

konden vrijwel onzichtbaar worden gemaakt door ze in horizontale positie te plaatsen. Alle zes schijven waren apart te bedienen, zodat drieënzestig verschillende seintekens vielen te geven.

De kracht van het stelsel van optische telegrafie van Lipkens lag in zijn eenvoud. Dat gold in de eerste plaats voor het opzetten van de verbindingen. Reeds elf dagen na het verstrekken van de opdracht kwam het berichtenverkeer tussen Den Haag en Breda op gang. Bovendien bleek de telegraaf van Lipkens het eerste optische telegraafstoestel, waarbij het niet noodzakelijk was alle posten in één lijn te plaatsen. Het was dus mogelijk knikken in de lijn op te nemen.

Het verkeer zelf verliep eveneens zeer vlot. De simpele bediening van de toestellen stond daar garant voor. Bovendien bleek de waarneembaarheid van de seintekens dusdanig goed, dat op de verbinding weinig hinder werd ondervonden van slechte weersomstandigheden. Zelfs de later aangelegde zijlijn naar Vlissingen bleek gemiddeld slechts twintig dagen per jaar onbruikbaar te zijn wegens slecht weer. De voor de telegraafverbinding verantwoordelijke man bij het departement van Binnenlandse Zaken, G. Jooss, kon in 1834 dan ook met enige trots schrijven, 'dat hoge personen bij hun verblijf te 's-Gravenhage aan (het stelsel van Lipkens) hunne goedkeuring en bijval hebben gegeven, waarop ik prijs gesteld heb, vooral met opzicht tot de zoodanige die geheel bekend waren met de samenstelling van de Fransche telegraaf, welke tot heden toe voor de beste gehouden werd.'⁵

⁵ Algemeen Rijksarchief, archief Telegrafische Gemeenschap, no. 4, rapport d.d. 23 september 1834.

In 1839 sloten Nederland en België vrede. De telegraafverbindingen werden opgeheven en de toestellen opgeborgen in 's Lands Magazijnen'. Het betekende het einde voor de optische telegrafie in ons land; althans voor zover het verbanden over land betrof.

Voor het verkeer tussen wal en schip en tussen schepen onderling bleef men echter voorlopig aangewezen op de optische telegraaf. Daarin kwam pas rond de overgang van de negentiende naar de twintigste eeuw verandering met de komst van de radiotelegrafie. Met de openstelling van het bijtelegraafkantoor 'Scheveningen-Haven' in 1904 werd de optische telegrafie ook op dit gebied ver teruggedrongen. Geheel verdwijnen deed zij overigens niet: nog steeds gebruiken schepen vlagge-seinen en staan er semaforen waar de belangrijkste vaarwegen uitmonden in zee.

Maatschappelijke aspecten van telecommunicatie

■ *Y.M. van der Veen*

Met het oog op discussies in het parlement over verdere ontwikkelingen rondom de telecommunicatie-infrastructuur, bracht de Nederlandse Organisatie voor Technologisch Aspectenonderzoek (NOTA) op 25 april 1989 aan de Tweede Kamer het 12 pagina's tellende rapport 'Maatschappelijke aspecten van telecommunicatie' uit. In dit rapport wordt naast een aantal aanbevelingen op het gebied van wet- en regelgeving, met name aandacht gevraagd voor het toegenomen en nog verder toe te nemen belang van telecommunicatie. Of zoals het in het rapport wordt verwoord: 'telecommunicatievoorzieningen zijn in toenemende mate een voorwaarde voor elke burger om deel te nemen aan maatschappelijke activiteiten van uiteenlopende aard'.

Met deze constatering wordt in het rapport 'Maatschappelijke aspecten van telecommunicatie' nog eens ten overvloede onderstreept hoe belangrijk telecommunicatie is en dus hoe belangrijk de diensten en produkten van PTT Telecom zijn. Als voorbeelden worden daarbij genoemd:

- distributie en uitwisseling van informatie (databanken en videotexdiensten);
- communicatie (telefonie, elektronische post, direct-marketing, 06-diensten);
- transacties langs elektronische weg (electronic data interchange, interbancair en giraal verkeer etc.).

Met name het belang van deze laatste soort diensten zal volgens de nota sterk toenemen en van grote invloed zijn 'op talloze activiteiten en processen in de samenleving'.

Nieuwe diensten

Onbetwist is volgens NOTA het belang, met

name voor het midden- en kleinbedrijf, van een up-to-date openbaar net en van de ontwikkeling van nieuwe telediensten voor algemeen gebruik, waarbij 'de concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven en de vorming van een Europese markt in belangrijke mate zal afhangen van deze ontwikkeling van nieuwe telecommunicatievoorzieningen.'

De ontwikkeling van netwerken is daarbij volgens het rapport in sterke mate internationaal bepaald – 'het formuleren van diensten, rekening houdend met de specifieke Nederlandse context, biedt goede mogelijkheden voor het voeren van een nationaal beleid'.

Rol van de gebruiker

In dat nationaal beleid zal de rol van de gebruiker nadrukkelijker moeten worden beklemtoond want 'het zijn uiteindelijk de toepassingen en de gebruikers van telecommunicatievoorzieningen en van de verschillende diensten, die de functionaliteit moeten bewijzen en het rendement van de gigantische investeringen aantonen'.

Niet langer dient volgens NOTA daarom de techniek de ontwikkeling van de telecommunicatie aan te sturen (zoals tot nu toe het geval is), maar meer en meer zullen de eisen van de gebruikers – als ervaringsdeskundigen – leidend moeten zijn.

Probleem bij dit alles is volgens het rapport wel:

- dat de ontwikkeling van diensten die gebruik maken van telecommunicatiefaciliteiten, achterblijft bij de verwachtingen en dat (zeker in vergelijking met de Verenigde Staten) aan de beschikbaarheid van infrastructuur te eenzijdig prioriteit wordt gegeven;
- dat gebruikers moeten worden gemotiveerd in de ontwikkeling van diensten te participeren.

Zeker waar in 'Maatschappelijke aspecten van telecommunicatie' de gebruiker zo centraal wordt gesteld ('gegeven de essentiële rol die telecommunicatie vervult in talloze maatschappelijke processen en activiteiten, is bijna elke

burger belanghebbende') en het begrip gebruiker zo ruim wordt gedefinieerd ('niet alleen gaat het hierbij om professionele gebruikers en de consument als klant van commerciële diensten, maar ook om gebruikers van niet-commerciële diensten en het gebruik als privé-persoon in lokale gemeenschappen, verenigingen etc. '), is het ronduit teleurstellend te noemen dat NOTA in dit rapport aan de Tweede Kamer op geen enkele wijze gewag maakt van de noodzaak van deskundigheidsbevordering onder gebruikers en dus van voorlichting en educatie. Evenmin komt aan de orde welke rol het onderwijs hierin kan vervullen. Toch zal kennis van zaken een noodzakelijke voorwaarde zijn om te bewerkstelligen dat gebruikers kunnen en willen participeren. Terecht bepleit NOTA zaken als gebruikersvriendelijkheid, interactiviteit ('de groeiende informatiestroom vraagt om selectie door de gebruiker'), flexibiliteit ('flexibiliteit biedt de gebruiker keuzemogelijkheden tussen verschillende technische systemen en media') en de noodzaak van experimenten ('de ervaring leert dat toepassingen van nieuwe technieken vaak heel anders zijn dan aanvankelijk aan de tekentafel werd beoogd'). Dit alles neemt echter niet weg dat een vergroting van deskundigheid onder (potentiële) gebruikers een eerste noodzakelijke stap is om de toekomstvisie van NOTA tot realiteit te kunnen maken.

PTT Telecom onderkent dat belang van voorlichting en educatie gelukkig wel, getuige o.a. de reizende tentoonstelling 'PTT Telecom van dichtbij bekeken', de grote hoeveelheid leermiddelen die aan uiteenlopende onderwijsvormen ter beschikking wordt gesteld en het PTT/NIVO-scholenproject waarvan in het juni-nummer van het Studieblad verslag zal worden gedaan. Ten slotte kunnen telecommunicatie- en informatiesystemen alleen in handen van goed geïnformeerde, welbewust kiezende gebruikers minder kwetsbaar en economisch en functioneel integer zijn.

Visual communication systems were probably used by pre-historic man. However, *sophisticated* high-performance communication systems using modulated lightwaves in optical fiber cables that *carry* 50,000 conversations or digital data messages *simultaneously* have only been in operation for a couple of years. Following the first installation in 1976, a total of 27 optical fiber cable *trunks* were installed in six countries by the end of 1978. Today there are hundreds, and the number is rising exponentially.

Compared to wire, the advantages of optical fiber have been proven to include lower *attenuation*, higher bandwidth, lower electromagnetic interference, lower *cross talk*, higher security, lower shock *hazard*, no short circuits, smaller size, reduced metal consumption, lower corrosion, lighter weight, and reduced cost per message unit. No installed cable has ever failed. Present trends indicate that fiber communication *traffic volume* will overtake wire communication before the end of the 1980s. Fiber-optic applications include industrial process control, display systems, medical monitoring, diagnostics, *prosthetics*, and computing and data processing, as well as many others. The broadest application, however, involves the transport of information in conventional telephone, telegraph, radio, television, and facsimile systems. Fiber optica and lightwave communication applications are revolutionizing these communication media. For example, the great battle for signal *transmission loss* reduction has finally been won. In less than 10 years of intensive research and development, optical fiber attenuation (*insertion loss*) – the greatest single obstacle to widespread application – was reduced from several hundred decibels per kilometer to less than five. A little more than one is *projected*; perhaps the Rayleigh scattering or infrared absorption limits will be reached. At an ever-increasing *rate*, more efficient and simple light-modulating and light-detecting components are being marketed along with *self-contained* prepackaged optical links.

Overgenomen uit Martin H. Weik, D.Sc.: *Fiber Optics and Lightwave Communications Standard Dictionary (Preface)*, uitgever Van Nostrand Reinhold Company (1981)

<u>visual</u>	visueel, met het oog waarneembaar
<u>sophisticated</u>	modern, geavanceerd
<u>carry</u>	dragen, overbrengen
<u>simultaneously</u>	tegelijk, tegelijkertijd
<u>trunk*</u>	interlokale geleiding
<u>attenuation</u>	demping
<u>cross talk*</u>	overspraak
<u>hazard</u>	gevaar, risico
<u>traffic volume</u>	verkeersomvang
<u>prosthetics</u>	prothetische geneeskunde (kunstledematen)
<u>transmission loss</u>	transmissiedemping
<u>insertion loss</u>	tussenschakelverlies
<u>to project</u>	(o.a.) een toekomstplan maken voor
<u>rate</u>	tempo
<u>self-contained</u>	op zichzelf staand, onafhankelijk

* Spelling en terminologie zijn Amerikaans, waarbij o.a. de volgende verschillen opvallen t.o.v. Brits Engels (rechts):

fiber	fibre
trunk	trunk circuit
cross talk	crosstalk
kilometer	kilometre

