 ISSN 0254-3486 = *SA Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie* **19**, no. 3-4 2000

Navorsings- en oorsigartikels

Optieseveselkommunikasie: verlede, hede en toekoms

B.M. Lacquet
Sentrum vir Optiese Kommunikasie, Fakulteit Ingenieurswese,
Randse Afrikaanse Universiteit, Posbus 524, Aucklandpark, 2006

Ontvang 5 Junie 2000; aanvaar 13 September 2000

UITTREKSEL

Die eksponensiële groei in die gebruik van die Internet en die gepaardgaande groeiende behoefte aan bandwydte dwing die telekommunikasienywerheid om die bestaande netwerke vinniger uit te brei. Optiese vesel is die enigste transmissiemedium wat potensieel onbeperkte bandwydte het en ook baie hoë datatempo's kan hanteer. Na 'n kort oorsig oor die geskiedenis van optiese kommunikasie word verduidelik wat optiese vesel is, en hoe 'n eenvoudige optieseveselkanaal funksioneer. Dan volg 'n beskrywing van die erbium-gedoteerde optieseveselversterker en golflengtedelingsmultipleksering. Albei is bemagtigingstegnologie wat sedert die laat tagtigerjare die toekoms van optieseveselkommunikasie dramaties verander het, van maar net nóg 'n tipe kommunikasiestelsel tot 'n onmisbare deel van ons alledaagse lewe. 'n Kort beskrywing van 'n optiese netwerk en die vooruitgang wat sedert 1980 gemaak is, word gevolg deur 'n oorsig van die bemagtigingstegnologie op die gebiede van komponente, materiale en netwerke wat benodig word om nog hoër kapasiteit en nog hoër bandwydte te verkry.

ABSTRACT

Fibre optic communications: past, present and future

The exponential increase in the use of the Internet and the consequent growing need for higher bandwidth demand that the telecommunications industry expand the laid networks at a much faster rate. Optical fibre is the only transmission medium that has the potential of unlimited bandwidth and the ability to handle very high data rates. After a brief overview of the history of optical communications, the working of a simple fibre-optic link and the way in which a simple optical fibre channel functions are described. This is followed by a discussion of erbium-doped fibre-optic amplifiers and wavelength-division multiplexing, which are both enabling technologies that have dramatically changed the future of optical fibre communications from being just another communication system to one that has become part of our daily lives. A discussion of an all-optical network and the progress that has been made in lightwave transmission capacity since 1980 is followed by a brief overview of the enabling technologies required at the component, materials and network levels in order to achieve an even higher capacity and bandwidth.

1. AGTERGROND

Tegnologiese innovasie het in die twintigste eeu die dryfveer in die rykdom van nasies geword. Die "kennis-gebaseerde" ekonomie se grootste bates is wetenskaplike kennis en intellektuele eiendom. Dit het die konvensionele en tasbare bates as aanduiders van die nasionale rykdom en ekonomiese potensiaal vervang. Dit is baie duidelik dat hierdie tendens oor die afgelope dekades versnel het en dat dit 'n dominante kenmerk van die nuwe millennium gaan wees. Hierdie tendens gaan ook al hoe meer die wenners en verloorders in die wêreld van môre bepaal. Die wondere van die inligtingsrevolusie hou egter ook die gevaar in dat dit die gaping tussen "kennis-ryk" en "kennis-arm" lande en gemeenskappe gaan vergroot. Meer sosiale onrus, meer armoede, meer terrorisme en spanning is voorspelbare uitkomste hiervan.

Die Internet is 'n fasiliteit om kennis te deel en die gebruik daarvan groei eksponensieel. Indien dit wys aangewend word, kan dit 'n belangrike rol speel in die ontwikkeling van menslike hulpbronne, wat weer tot ekonomiese ontwikkeling kan lei. Die gebrek aan toegang tot die Internet in "kennis-arm" lande en streke is egter 'n bron tot kommer. Gelukkig bemoei die Wêreldbank, die Verenigde Nasies, die Europese Unie, en nog ander instansies hulle met die vraagstuk. Die potensiaal vir die opheffing van mense is baie groot. Wêreldleiers en veral die leiers van "kennis-arm" nasies moet die wysheid aan die dag lê om voordeel hieruit te trek.

Die eksponensiële groei van die Internet en ander vorme van data- en videokommunikasie het die aanvraag na bandwydte in netwerke dramaties laat groei. *The Wall Street Journal* het byvoorbeeld berig dat die Amerikaanse publiek 4 triljoen e-posboodskappe tydens 1998 ontvang het teenoor 4 biljoen gewone posstukke. Die visepresident van die Afdeling: Netwerktegnologie-beplanning van MCI Worldcom, Jack Wimmer, het gemeld dat daar tans honderdmiljoene gebruikers van die Internet is, en dat daar 7 biljoen webbladsye met inligting beskikbaar is. Vergelyk dit met die 830 miljoen telefoonlyne wêreldwyd wat oor 'n tydperk van 100 jaar geïnstalleer is, en die Internet is nog net 10 jaar oud!

Geen ander tegnologie as optiese vesel kan voorsien in hierdie enorme volume bandwydte wat netwerkverskaffers benodig vir die 21ste eeu nie. Lig in sy vele vorme staan so sentraal aan die menslike bestaan dat dit meestal as vanselfsprekend aanvaar word. Ons kyk almal met verwondering na die lig wat 'n kers uitstraal, die lig van 'n wegholveldbrand, 'n vuurwerkvertoning, of wanneer ons 'n beeld reg voor ons waarneem tydens 'n laservertoning. Hierdie artikel handel oor die lig wat ons nie kan sien nie, die lig wat gebruik word om oor baie lang afstande te kommunikeer, die lig wat in 'n optiese vesel beweeg, die lig wat Afrika kan verlig.

1.1 Brokkies geskiedenis van liggolfkommunikasie

Telekommunikasie is die oordra van informasie oor lang afstande. Dit kom van die Griekse woord "*tele*" vir "ver weg", en die Latynse woord "*communicare*" vir "deel met ander". Daar was nog altyd die behoefte om oor lang afstande te kommunikeer. In die vroeë eeue is dit gedoen deur byvoorbeeld geskrewe en mondelinge boodskappe te voet, te perd of per skip met 'n boodskapper te stuur. Selfs duiwe is gebruik om hierdie taak uit te voer. Dit is duidelik dat die tydskale waarmee daar tóe gewerk is, baie lank was.

Tydens oorloë was die oordra van boodskappe 'n baie dringende saak.[1] Dit het gelei tot sig-lyn-kommunikasiestelsels, dit is verskeie bemande bakens wat as herhalerstasies van sigbare rook of optiese seine dien. Die Griekse skrywer Aischulos vertel in sy drama Oresteia hoe die nuus van die val van Troje in die jaar 1200 v.C. oor 'n afstand van 400 km, soos die kraai vlieg, van Klein Asië na Argos in die hedendaagse Griekeland gestuur is. Die sein se betekenis (die informasie) is vooraf bepaal. Tydens die bestaan van die Oostenryks-Hongaarse Ryk is 'n uitvinding van John Dee, die maanstraaltelegraaf, gebruik oor 10 herhalerstasies om 'n oorwinning oor die Turke aan te kondig. Tydens die Suid-Afrikaanse oorlog van 1899-1902 is daar ook gebruik gemaak van sig-lyn-kommunikasie, maar dit was met 'n heliograaf, en die boodskappe is met Morsekode gekodeer. "*Hélios*" is die Grieks vir "son", en "*graphos*" die Grieks vir "geskryf". Die informasiedigtheid in al hierdie voorbeelde was egter baie laag en van 'n binêre aard, dit wil sê, die sein was óf daar óf nie daar nie.

Seinbakens en rookseine kan egter ook deur buitestanders en die vyand gesien word. Dit is dus 'n multigebruiker-uitsaaikanaal en is as sodanig in die sestiende eeu deur die Roomse Kerk gebruik om met hul gemeentes te kommunikeer. Atmosferiese steurings soos mis, rook, reën en sneeu het hierdie kommunikasiemiddel egter baie onbetroubaar gemaak.

Gedurende die Franse rewolusie (1790-1794) het Claude Chappe 'n sigbare telegraaf ("ver" + "geskryf") gebou. Die herhalerstasies was ongeveer 10 tot 20 km uitmekaar wat dit maklik gemaak het om deur 'n verkyker waargeneem te word. Teen ongeveer 3 tot 4 karakters per minuut het dit byna 30 minute geneem om 'n boodskap van Rysel tot in Parys te versend oor 'n afstand van 230 km. Die probleem was egter steeds dat die vyand die sein ook kon waarneem, en dit het Chappe en sy uitvinding in onguns laat verval.

Verskeie deurbrake in die vorige eeu het die kommunikasie van informasie oor lang afstande baie verbeter. Die eerste elektriese telegraaf is in 1838 deur Samuel Morse gebou en dit is ses jaar later kommersieel met draadkabels geïmplementeer. Die telefoon is in 1876 deur Alexander Graham Bell uitgevind en die eerste telefoonsentrale is in 1878 in New Haven, in die staat Connecticut in die VSA, in bedryf gestel. Langgolflengte-radiokommunikasie is moontlik gemaak deur bydraes van James Maxwell in 1873, Heinrich Hertz in 1887 en Guglielmo Marconi in 1895. Laasgenoemde het 'n radio-apparaat in 1895 gedemonstreer. Omdat telefoonseine baie verswak word deur transmissie oor 'n elektriese kabel, was radiotelefonie vir 'n baie lang tyd die enigste telefoondiens oor die Atlantiese Oseaan. Die eerste transatlantiese telefoonkabel tussen Newfoundland en Skotland, TAT-1, is in 1956 in gebruik geneem. Dit het bestaan uit twee aparte koaksiale kabels - een vir elke transmissierigting, en 36 tweerigtingspraakkanale. 'n Mens moes 'n oproep bespreek vir 'n bepaalde tyd wanneer 'n operateur jou sou terugskakel en deurskakel. Die lynkwaliteit was baie swak, maar ten minste was die diens beskikbaar. Die gebruik van 'n hoëfrekwensie-draergolf het groter bandwydte beskikbaar gestel en as gevolg daarvan het die informasiekapasiteit van kommunikasiekanale dramaties toegeneem. Hierdie ontwikkeling het daartoe bygedra dat televisie- en mikrogolfkanale tot stand gekom het, en sedert 1965 is satelliete ook ingespan vir interkontinentale kommunikasie.

Optiese kommunikasiekanale is eers weer in 1988 gebruik vir medium- tot langafstandtransmissie van informasie. Dit was 'n ondersese optieseveselkabelkanaal tussen die VSA en Europa, TAT-8, wat informasie teen 'n tempo van 296 Mb in een sekonde gestuur het. Om dit in perspektief te stel: 'n Boek met 600 bladsye vol woorde kan deur ongeveer 15 miljoen elektroniese bisse voorgestel word, dit is, 15 Mb. Bogemelde kommunikasiekanaal was dus in staat om die inhoud van byna twintig boeke met 600 bladsye elk in een sekonde te stuur.

Watter ontwikkelinge het in die voorafgaande sowat tweehonderd jaar plaasgevind wat hierdie medium van kommunikasie weer effektief gemaak het? In die Victoriaanse tyd is baie navorsing oor optika gedoen. So het John Tyndall byvoorbeeld in 1854 'n eksperiment voor die *Royal Institution of Great Britain* gedoen waar hy getoon het dat lig wat in 'n waterstraal beweeg binne die straal bly, en nie "uitlek" nie. Alexander Graham Bell het in 1880 'n "fotofoon" gebou en 'n patent daarop ontvang. Hierdie fotofoon het spraakseine oor 'n paar honderd meter gestuur. Dit is gegenereer deur 'n ligbundel se intensiteit te moduleer en is ontvang met behulp van 'n fotosel. "*I have heard articulate speech produced by sunlight. I have heard a ray of sun laugh and cough and sing*", het Bell in Februarie 1880 gesê. Alhoewel dit die eerste draadlose foon was, het ander uitvinders en tydgenote hierdie uitvinding egter nie as prakties of belangrik beskou nie. Hoekom het hierdie eksperimentele resultate dan nie toé reeds tot optiese kommunikasiestelsels gelei nie?

Die antwoord is dat die lig nie baie ver deur die media kon beweeg nie voordat dit heeltemal geabsorbeer of verstrooi was deur onsuiwerhede en ander nie-idealiteite van die media. Die suiwerste glas wat gedurende die vorige eeu en tot en met 1969 vervaardig kon word, het 'n verswakking van tipies 1000 dB/km gehad. Indien 'n mens die lig van 'n 100 Watt-gloeilamp in die transmissiemedium kon inkoppel, sal daar slegs 79 Watt uitkom nadat die lig een meter beweeg het, 10 Watt na tien meter en 1 nanowatt na 110 meter (dit is 'n miljoen keer swakker as 'n kommersiële laserwyser). K.C. Kao[2] en G.A. Hockham in Engeland en A. Werts[3] in Frankryk het in 1966 artikels gepubliseer oor die transmissie van lig deur glasgolfleiers. Hierin is die redes vir die swak transmissie deur dié medium tot in daardie stadium uitgewys. In 1968 het Nippon Sheet Glass Co. daarin geslaag om glas te vervaardig waarvan die verliese slegs 100 dB/km was, en in 1970 het Corning Glass glas geproduseer waarvan die verliese slegs 20 dB/km was. Dit was die deurbraak waarop daar gewag is. Vir dieselfde 100 Watt-gloeilamp sal 1 Watt na 1 kilometer waargeneem word. Dit het beteken dat die herhalerspasiëring dieselfde sou moes wees as dié vir koperkabelstelsels en ook dat sulke optiese stelsels baie aanlokliker begin raak het. Teen 'n frekwensie van 1 MHz is die verliese in 'n koaksiale koperkabel 2,5 dB/km en die verliese neem toe na ongeveer 50 dB/km by 1 GHz. Vandag is die verliese in optiese vesel so min as 0,2 dB/km. Om dieselfde voorbeeld te gebruik: nou sal ongeveer 96 Watt na 1 kilometer nog beskikbaar wees. Figuur 1 toon die verliese as 'n funksie van golflengte wat tans in tipiese silikagebaseerde optiese vesel verkry word.[4] In die beginjare het transmissiestelsels die eerste venster by 0,85 μm golflengte gebruik (hierdie golflengte is in die naby-infrarooigebied en word dikwels ook vir die afstandbeheer van huishoudelike toestelle gebruik), en later is die tweede venster by 1,3 μm gebruik waar die verswakking kenmerkend minder as 0,35 dB/km is. Eers teen die einde van die tagtigerjare, toe ligbronne en detektors vir die 1,55 μm-gebied

beskikbaar geraak het, is die derde venster gebruik. Die verliese in hierdie venster is ook die kleinste. Die gebied van 1,26 µm tot 1,65 µm het die potensiaal om tot 50 THz bandwydte beskikbaar te stel. Daar is dus groot potensiaal vir die gebruik van moderne optiese vesel as 'n kommunikasiekanaal met ongekende bandwydte.

In 'n optiesevesel-kommunikasiekanaal beweeg die lig in 'n baie dun soliede glasstaaf wat omring is met materiaal waarvan die brekingsindeks effens kleiner is, en 'n bufferlaag. Die verskil in materiaalsamestelling van die kern en die glasomhulsel gee aanleiding tot twee tipes algemeen gebruikte optiese vesel. In die eerste geval is daar 'n skerp oorgang van die hoër brekingsindeks van die kern na 'n effens laer brekingsindeks van die glasomhulsel, wat trapindeksvesel genoem word. In die tweede geval is daar 'n geleidelike oorgang tussen die twee lagies materiaal. Dit word gegradeerde-indeksvesel genoem. 'n Verdere baie belangrike onderskeid word getref tussen twee klasse liggeleiding binne die veselkern, naamlik enkelmodus en multimodus. 'n Vereenvoudigde diagram wat die voortplanting van lig in enkelmodus- en multimodusvesel voorstel, word in figuur 2 gegee.[5] Die geleiding van lig deur 'n optiese vesel kan beskryf word in terme van 'n stel geleide elektromagnetiese golwe wat die modusse van die golfleier genoem word. Slegs 'n bepaalde hoeveelheid modusse kan in 'n vesel voortplant afhangende van die struktuur en materiaaleienskappe daarvan.

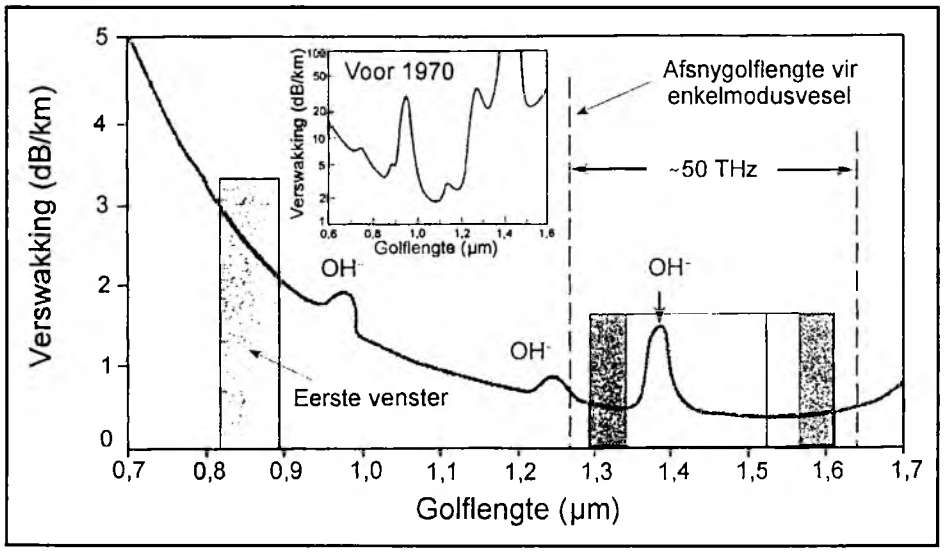
Optiesevesselstelsels werk by baie hoë frekwensies van ongeveer 2 x 10^{14} Hz. Die frekwensie is kenmerkend eenmiljoen keer hoër as die draerfrekwensie van byvoorbeeld die SABC2 TV-kanaal. Optiesevesel-kommunikasiestelsels het heelwat inherente voordele bo kopergebaseerde stelsels. Dit sluit onder meer in die lae transmissieverliese en die groot bandwydte, die klein grootte en klein gewig van die kern van die medium waardeur die lig beweeg, immuniteit teen elektromagnetiese versteurings en ook elektromagnetiese pulse, elektriese isolasie, die sekuriteit van die sein, en natuurlik, die groot bron van rou materiaal (silika en kwarts) wat wêreldwyd beskikbaar is.

2. 'N VEREENVOUDIGDE OPTIESEVESEL-KOMMUNIKASIEKANAAL

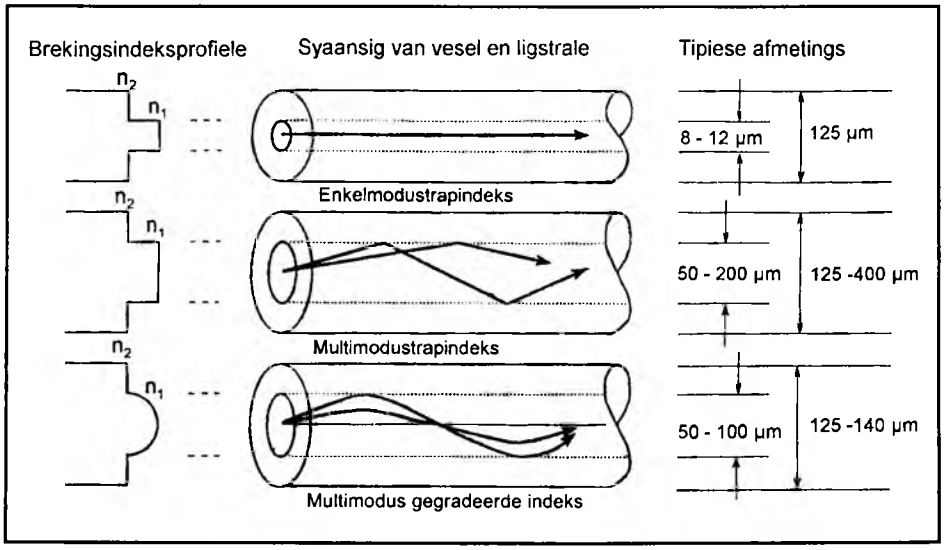
'n Optiesevesel-kommunikasiekanaal is soortgelyk aan enige ander kommunikasiekanaal, hetsy dit in 1200 v.C. of vandag gebruik word. Dit bestaan basies uit 'n sender (die entiteit wat die boodskap stuur), 'n kabel (die transmissiemedium of die roete wat geneem is), en 'n ontvanger (die entiteit wat die boodskap ontvang en dit interpreteer). Bykomende elemente sluit in optiesevesel- en kabellaste, herhalers, koppelaars en versterkers.

In liggolfkommunikasiestelsels word lig as die medium van kommunikasie gebruik. 'n Ligbron wat dimensioneel versoenbaar is met die kern van die optiese vesel word gebruik om lig in die vesel te lanseer. Met die ontdekking van die laser in 1960 en die halfgeleierlaser in 1962 is nuwe geleenthede geskep vir optiese kommunikasie. Halfgeleierglimdiodes (LED's) en laserdiodes is by uitstek geskik vir senders omdat hulle teen hoë tempo's gemoduleer kan word deur eenvoudig die voorspanningstrome te verstel. Die elektriese insetseine na die senders kan óf analoog óf digitaal wees, en die stroombane skakel die elektriese seine om na optiese seine deur die strome deur die diodes te varieer. Navorsing oor nuwe materiale, komponentstrukture en vervaardigingstegnologie het nuwe betroubare en stabiele lasers met voldoende optiese uitsetdrywing die lig laat sien wat gebruik kon word in die eerste veseloptiese kommunikasiestelsels in die laat sewentigerjare. Met die ontwikkeling na die 1,55 µm-golflengtegebied en die laeverlies optiese vesel, is nuwe vereistes aan die lasers gestel.

Nadat 'n optiese sein in die veselkern gelanseer is, sal dit verswak en vervorm word soos wat dit deur die vesel propageer as gevolg van verstrooiing, absorpsie en verskeie dispersie-meganismes in die vesel. Dit word in figuur 3 geïllustreer. By die ontvanger word die verswakte en vervormde gemoduleerde optiese drywing deur 'n fotodiode waarge-



Figuur 1: Verswakking van tipiese moderne silikagebaseerde optiese vesel.



Figuur 2: Vergelyking van enkelmodus en multimodus optiese vesel.

neem. Die fotodetektor skakel die optiese drywing om na 'n elektriese stroom. Die halfgeleier pin- en lawinediodes is die twee belangrikste fotodetektors wat in 'n optiesevesel-kanaal gebruik word. Hierdie komponente is baie doeltreffend en reageer baie vinnig. Die ontvanger is 'n baie meer ingewikkelde komponent as die sender omdat dit die inkomende sein moet waarneem, versterk en die vervormde sein moet regstel. Met die groeiende aanvraag na spoed en bandwydte moet nuwe materiale, komponentstrukture en vervaardigingstegnologie ondersoek word om die mark te bevredig. Nadat 'n optiese sein 'n bepaalde afstand langs die vesel af beweeg het, word dit soveel verswak en vervorm dat 'n herhaler in die kanaal benodig word om die sein te herstel. Hierdie herhaler was in die beginjare 'n rug-aan-rug-skakeling van 'n ontvanger en 'n sender.

Om voordeel te trek uit die enorme potensiaal vir kapasiteit van 'n optieseveselstelsel, moet 'n mens gevorderde tegnieke en netwerke inspan wat meer ingewikkeld is as die eenvoudige enkelkanaal punt-tot-punt-skakel.

3. VERSKEIE NETWERKE

Daar bestaan tans verskeie telekommunikasienetwerke.[6] Die eerste soort netwerk is dié wat deur privaat maatskappye gebruik word. Netwerke binne geboue word lokalearea-netwerke (LAN's) genoem, MAN's is netwerke wat op kampusse of in 'n metropolitaanse gebied gebruik word, terwyl 'n WAN 'n netwerk is wat 'n nog wyer area bedien. Die tweede tipe netwerk is die publieke netwerk wat deur telekommunikasiemaatskappye opgerig word en dan aan maatskappye en ander gesofistikeerde kliëntedienste gebied word. 'n Telekommunikasiemaatskappy het 'n sentrale kantoor in elke woonbuurt in die omgewing waarbinne dit opereer. 'n Toegangsnetwerk is daardie deel van die netwerk wat klein besighede en huisbewoners bedien. 'n Plaaslike sentrale verbind die diensverskaffer se sentrale kantore binne 'n metropolitaanse gebied. Die langafstandnetwerk verbind stede of groot verkeersnawe met mekaar. Daar is ook nog die ondersese netwerke wat oor duisende kilometers strek. Die verskillende netwerke sou deur verskillende diensverskaffers besit en bedryf kon word.

4. MULTIPLEKSERINGSTEGNIEKE

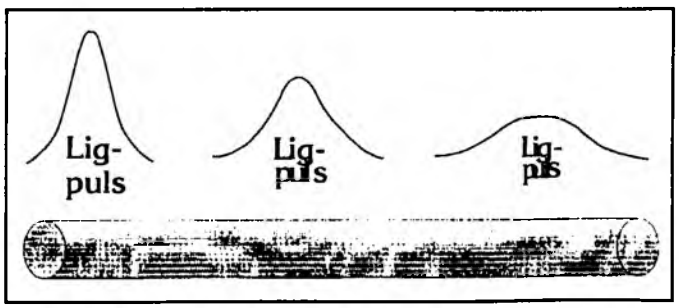
Die groeiende vraag na bandwydte en die relatiewe hoë koste om nuwe optiese vesel te lê, het telekommunikasieverskaffers aangemoedig om na alternatiewe maniere te kyk om die bandwydte van bestaande veselkabels te vergroot. Dit kan vermag word deur die tempo waarteen data oorgestuur word (bistempo) te verhoog, maar dit benodig elektronika wat teen 'n hoër spoed kan skakel. Laasgenoemde sou óf te duur óf nog nie kommersieel beskikbaar wees nie. 'n Tweede opsie is om laerspoed-datastrome in 'n hoërspoed-datastroom elektronies te multiplekseer teen die transmissiebistempo deur middel van tyddelingsmultipleksering (TDM). Die hoogste kommersiële TDM-transmissietempo is tans 10 Gbs. Hierdie multiplekseringsfunksie kan ook opties gedoen word en word dan optiese TDM (OTDM) genoem. OTDM-stelsels sal waarskynlik nie voor oor tien jaar kommersieel beskikbaar wees nie.

Die bandwydte kan ook deur middel van golflengtedelingsmultipleksering (WDM) verhoog word. Dit is basies dieselfde as frekwensiedelingsmultipleksering wat reeds 'n lang tyd in radiostelsels gebruik word om byvoorbeeld verskillende programme by verskillende draerfrekwensies uit te saai. Die basiese idee van WDM is om verskillende datastrome gelyktydig op verskillende golflengtes (kleure) te stuur. Daar is dus baie kanale teen verskillende golflengtes op dieselfde vesel. TDM bied 'n manier om die bistempo op elke kanaal te verhoog. 'n Kombinasie van hierdie twee komplementerende multiplekseringstegnieke word tans gebruik om tot 2 Tb/s te versend. Dit is natuurlik nog net in die laboratorium behaal. Die beginsels van TDM en WDM word in figuur 4 geïllustreer.

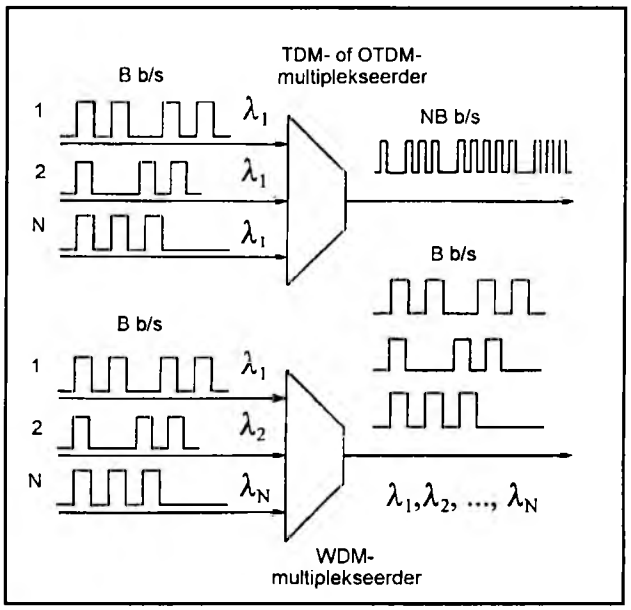
5. DIE ERBIUMGEDOTEERDE OPTIESEVESEL-VERSTERKER

Teen die laat jare sewentig het min mense daaraan getwyfel dat hoëspoed-langafstand-telekommunikasie uiteindelik deur optieseveseltegnologie oorheers sou word. Koaksiale koperkabel het verliese van 2,5 dB/km teen 'n modulasietempo van 1 MHz en dit neem toe tot meer as 50 dB/km teen 1 GHz. Optiese vesel, daarteenoor, het lae verliese van 0,2 dB/km en 'n ongeëwenaarde kapasiteit tot 50 THz. Nogtans het die transatlantiese en transstilleoseaanse punt-tot-punt-kommunikasiestelsels se bistempo van 296 Mb/s teen die laat tagtigerjare nie aan die verwagtinge van die telekommunikasie-gemeenskap voldoen nie. Elektroniese herhalers was baie duur en hulle kon slegs by voorafbepaalde bistempo's, in een datamodulasieformaat en by een golflengte werk. Die einde van optieseveselkommunikasie was in sig!

Hierdie prentjie het gelukkig in die laat tagtigerjare dramaties verander met die uitvinding van die erbiumgedoteerde optieseveselversterker (EDFA). 'n Suid-Afrikaner, dr. P. Morkel, was deel van die span by die Universiteit van Southampton waar die uitvinding gemaak is. Hierdie optiese versterker wat in figuur 5 skematies voorgestel word, kan verskeie optiese seine



Figuur 3: Dispersie. Die ligpuls wat deur die vesel propageer, word verbreed en verswak.



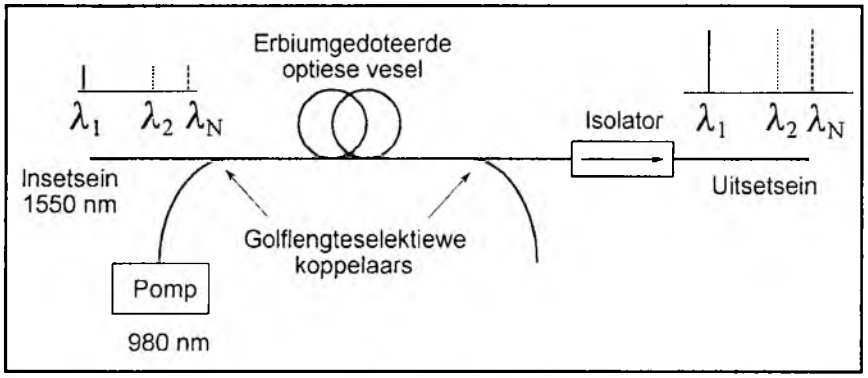
Figuur 4: Twee algemeen gebruikte multiplekseringstegnieke om die transmissiekapasiteit te verhoog.

gelyktydig versterk oor 'n baie wye bandwydte soos getoon in figuur 6. Die versterker is nie sensitief vir die individuele bistempo, tipe modulasie, of drywingsvlak nie, vervorm die sein nie noemenswaardig nie en voeg ook nie veel ruis by die sein nie. Teen 1992 kon 'n enkele 5-Gb/- sein ononderbroke oor 'n 9000 km lange optiese vesel versend word.

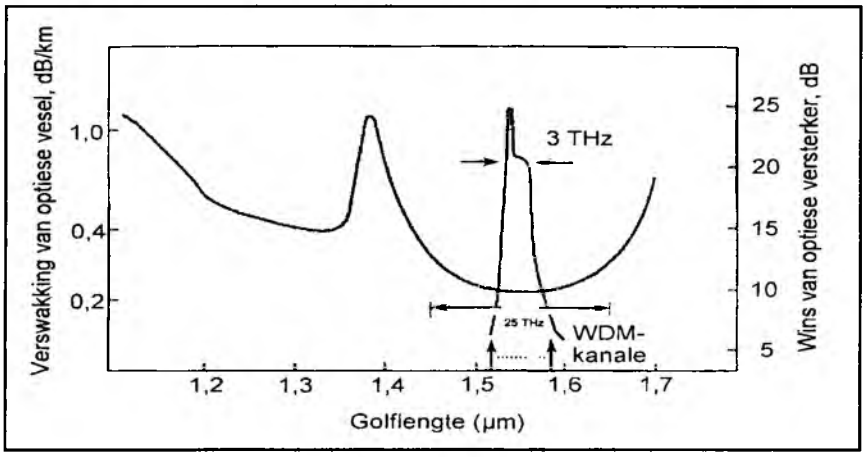
6. GOLFLENGTEDELINGSMULTIPLEKSERING (WDM)

Die wyeband optiese versterkers het die deur geopen tot die multipleksering van seine by verskeie golflengtes op dieselfde optiese vesel. Hierdie tegniek staan bekend as golflengtedelings-multipleksering (WDM). Dit is baie belangrik om die kanale ver genoeg van mekaar af in golflengte te spasieer. Die doel is om die golflengtes so te spasieer dat daar nie kruisspraak tussen die kanale is nie, en dat dryf in die karakteristieke van die optiese komponente met tyd geakkommodeer kan word. Die tipiese spasiëring varieer van 3,2 nm tot 0,2 nm in golflengte (400 GHz tot 25 GHz in frekwensie). Die posisies van die golflengtes word deur die ITU (International Telecommunication Union) gereguleer. Die beginsel waarop 'n WDM-stelsel gebaseer is, word in figuur 7 getoon. Ligstrale van laserdiodes wat teen verskillende golflengtes uitstraal, word in die kern van die optiese vesel gekoppel deur 'n golflengtemultiplekseerder of 'n passiewe samesteller soos byvoorbeeld 'n multi-inset-enkel-uitset-koppelaar. Die multigolflengtesein kan weer versprei word deur gebruik te maak van 'n passiewe koppelaar, of die sein kan gedemultiplekseer word en dan na die onderskeie ontvangers gestuur word. In die geval van die passiewe koppelaar kan 'n filter by elke ontvanger wat ingestem is vir 'n spesifieke golflengte slegs een kanaal laat deurgaan en dit kan dan deur die ontvanger waargeneem word.

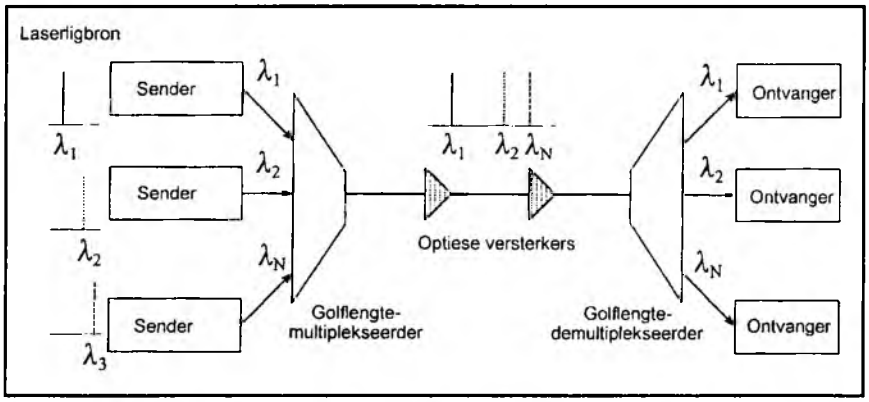
Verskeie bemagtiginstegnologie word/is benodig om WDM tot sy volle potensiaal te laat ontwikkel.[7, 8] Dit sluit onder meer in 'n multigolflengte-laserligbron op 'n enkele substraat, 'n verstelbare optiese subnanometer-banddeurlaatfilter wat in millisekondes verstel kan word, 'n golflengte-roeteskakelmatriks of 'n multiplekseerder en demultiplekseerder wat seinverwerking asook skakeling van individuele golflengtes toelaat, en die EDFA, maar één met 'n uniforme wins oor die hele bruikbare bandwydte.



Figuur 5: 'n Skematiese voorstelling van 'n Erbiumgedoteerde optiesevesel-versterker.



Figuur 6: Golflengte-afhanklikheid van die wins van 'n EDFA.



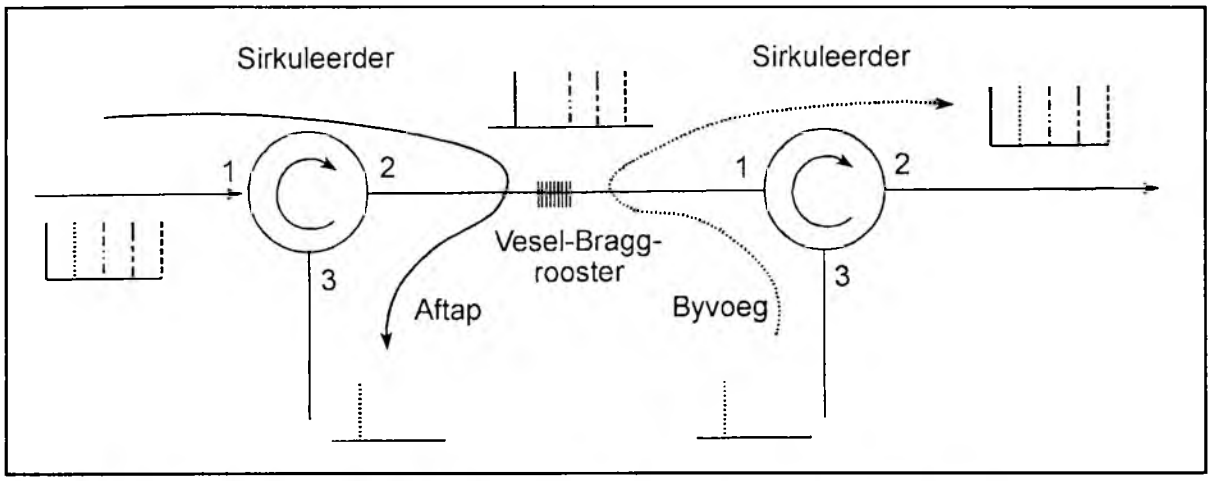
Figuur 7: 'n Vereenvoudigde golflengtedelingsmultiplekseerder.

7. DIE ALLES-OPTIESE NETWERK

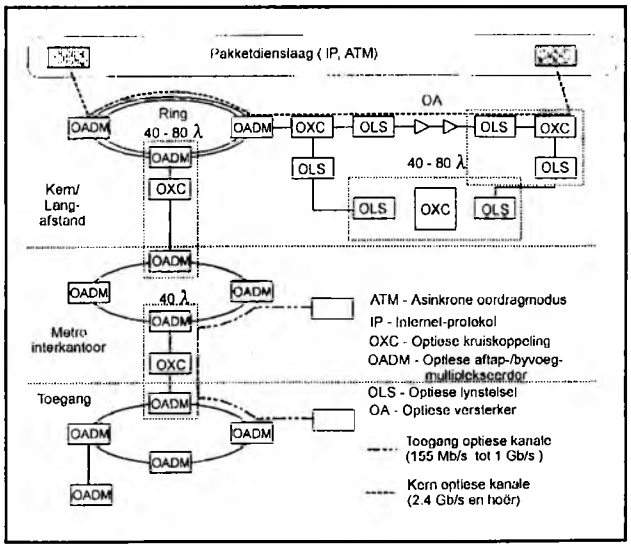
Die vinnige wêreldwye ontplooiing van punt-tot-punt-WDM-lynstelsels in telekommunikasie-netwerke word beskou as die eerste stap in die rigting van 'n alles-optiese netwerk. Voeg hierby optiese elemente soos optiese byvoeg-/aftapmultiplekseerders (OADM), optiese kruisskakelaars (OXC) wat óf elektriese óf optiese skakelmatrikse gebruik, en 'n mens het die begin van 'n golflengte-gestuurde roeteskakelmatriks wat die manipulasie van kanale in WDM-stelsels toelaat net soos tydgleuwe in TDM-stelsels gemanipuleer kan word.

'n Alles-optiese skakelaar is 'n komponent wat enige inset aan enige uitset kan verbind. 'n Optiese byvoeg-/aftapmultiplekseerder wat op vesel-Bragg-roosters en optiese sirkuleerders[9] gebaseer is, word in figuur 8 geïllustreer. 'n Vesel-Bragg-rooster is 'n golflengtefilter wat 'n spesifieke deel van die inkomende ligspektrum reflekteer. Indien die filter 'n baie nou band het, word net een van die inkomende golflengtes gereflekteer en sodoende word die sein gedemultiplekseer. Deur hierdie filter met 'n sirkuleerder te kombineer, word 'n aftap-/byvoegmultiplekseerder gevorm. Dit is 'n uiters belangrike komponent wat by optiese nodes benodig word. Lig propageer deur die sirkuleerder vanaf terminaal 1 na terminaal 2, terwyl lig wat in die teenoorgestelde rigting na terminaal 2 beweeg, gelei sal word na terminaal 3 en daar uitgaan. Lig wat vanaf terminaal 3 in die sirkuleerder inbeweeg, gaan by terminaal 1 uit, ensovoorts.

'n Voorgestelde argitektuur vir 'n alles-optiese netwerk word in figuur 9 gegee.[10] 'n



Figuur 8: 'n Skematiese voorstelling van 'n aftap-/byvoegmultiplekseerder/demultiplekseerder.



Figuur 9: Netwerklae, insluitend die optiese laag.

Aantal van bogemelde komponente word daarin gebruik. Net soos die optiese versterker (EDFA) die tegnologiese bemagtiger was van die ontwikkeling van WDM-punt-tot-punt-lynstelsels, so is die OADM en die OXC bemagtigingstegnologie vir die ontwikkeling van die alles-optiese netwerke. 'n Aantal sake wat aangespreek moet word, sluit in: analoognetwerkingenieurswese, diensdeursigtigheid, oorleefbaarheid, diensbaarheid en kruisbewerking.

8. VOORUITGANG IN LIGGOLFTRANSMISSIE SEDERT 1980

Die kommersiële en eksperimentele vooruitgang in die transmissiekapasiteit van enkelmodus optiese vesel word in figuur 10 gegee.[8, 11, 12] Kommersiële stelsels het 'n maksimum kapasiteit van 400 Gb/s in 1998 bereik, terwyl eksperimentele stelsels reeds 2 Tb/s oortref het. Die stelsels word in drie kategorieë ingedeel: Tyddelingsmultipleksering (TDM) van seine waar die multipleksering óf elektronies óf opties kan gebeur, en WDM-stelsels. Tot op hede is die OTDM-stelsels nog net eksperimentele stelsels. Die stadiger groei in ETDM word toegeskryf aan die alombekende elektroniese bottelnek, terwyl die stadige groei in die WDM-kapasiteit te wyte is aan ekonomiese redes. Na 1993 was die vooruitgang in laasgenoemde stelsels baie beter. Dit was as gevolg van nuwe laboratoriumtegnieke (wat nie algemeen aanvaar word as realistiese voorstellings van die werklike toestande in die praktyk nie) wat die koste van multikanaal-WDM-stelsels baie verminder het, asook die gebruik van dispersiebestuur in die vesel. Die werkverrigting van kommersiële stelsels is vyf tot sewe jaar agter dié van eksperimentele stelsels. Daar word verwag dat 'n 1 Tb/s-stelsel teen 2005 'n kommersiële produk sal wees. Voor daardie tyd, egter, moet daar nog vele ingenieursprobleme opgelos word.

9. BEMAGTIGINGSTEGNOLOGIE VIR NÓG HOËR KAPASITEIT EN HOËR BANDWYDTE

Hoëspoednetwerke, insluitend rigtingbepaling en optiese skakeling is die volgende oogmerke vir optiese kommunikasie. Daar moet aandag aan 'n aantal sake rakende fotonika en netwerke geskenk word om die visie van 'n alles-optiese netwerk te verwesenlik.

9.1 Optiese materiale en komponente

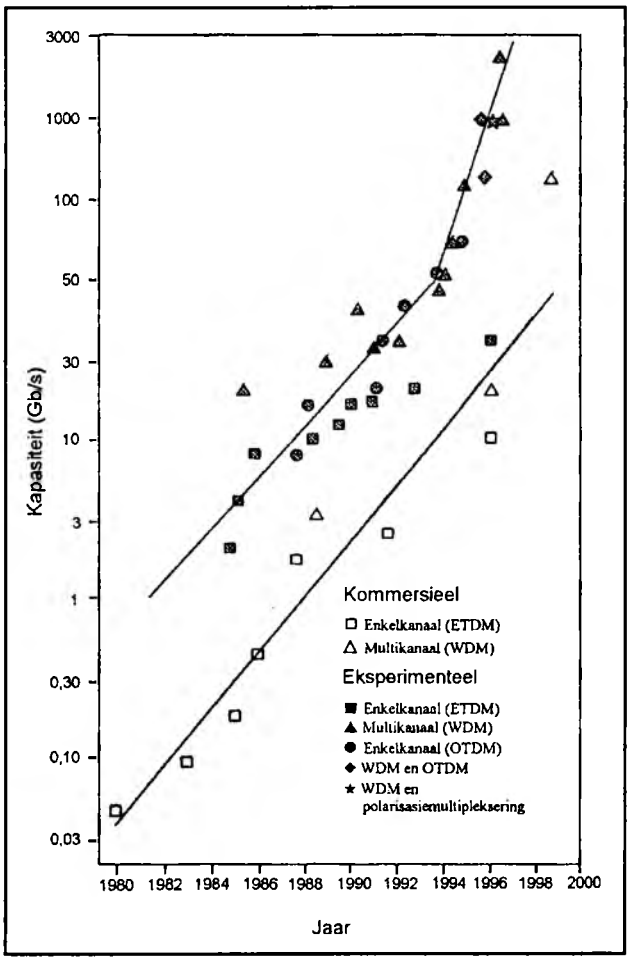
Golflengteselektiewe optiese komponente is baie belangrik vir WDM-netwerke waar die nodefunksionaliteit deur optiese tegnologie sonder elektriese multipleksering en demultipleksering behoort plaas te vind.[13-15] Planêre liggolfbane is geïntegreerde golfleierkomponente wat op silikon- of glassubstrate vervaardig word en by die optiese vesel aangepas word om doeltreffende koppeling tussen die geleide optiese seine te verseker. Hierdie planêre liggolfbane is belangrike optiese komponente en substelsels vir WDM- en TDM-stelsels, asook vir huurdernetwerke. Dit sluit onder meer in: N x N sterkoppelaars, termo-optiese matriksskakelaars, geskiktegolflengteroosters (AWG), golflengtemultiplekseerders en demultiplekseerders, byvoeg-/aftapmultiplekseerders, modulators, sirkuleerders, programmeerbare dispersievereffenaar, en hibriede-optoëlektroniese geïntegreerde tegnologie. Die kruisspraakprobleme wat sy kop uitsteek met die al kleiner wordende kanaalspasiëring en die dryf van komponentcienskappe moet aandag kry. Daar is 'n behoefte aan ultrahoëspoed optiese skakelaars met 'n hoë wegsterfverhouding, wat onafhanklik is van polarisasie, wat baie min drywing verbruik, 'n plat frekwensiekarakteristiek het, en kompak en modulêr is. Verder behoort stabiele multigolflengtelaserligbronne vir WDM-stelsels met tot 100 golflengtes op 'n enkele substraat geïntegreer te word. Groter waarde moet ook geheg word aan navorsing oor golflengteomsettingskomponente in afwagting van die gebruik van 'n optiese kruisskakelaar (OXC). Die betroubaarheid en vervaardigingstegnieke van alles-optiese komponente behoort ernstig aandag te kry.

9.2 Optiese netwerke

Die effektiefste wyse om die aantal WDM-kanale en die transmissiekapasiteit van optiese netwerke by 1,55 μm te verhoog, is die vergroting van die versterking-bandwydte-produk van die optieseveselversterkers. Die laeverlies-silika-veselvenster tussen 1,45 μm en 1,65 μm kan moontlik gedek word deur kombinasies van hibriedeversterkers wat bestaan uit 'n Raman-veselvoorversterker en 'n EDFA, of 'n tulium-gedoteerde veselversterker (TDFA) wat in kaskade geskakel is. Belowende resultate is sover in die literatuur vermeld.

Die gebruik van solitonpulse in dispersiegekompenseerde langafstand-WDM-stelsels word ook ondersoek. 'n Optiese netwerk behoort nie net groot hoeveelhede informasie oor te dra nie, maar dit moet ook betroubaar, buigbaar, skaleerbaar en eenvoudig om te bedryf wees. Dit behoort 'n baie funksionele vermoë te hê om 'n netwerk[16] wat onklaar raak, te kan herstel, dit wil sê, 'n selfherstellende netwerk wat outomaties die verkeer kan herstel deur van bystandskapasiteit gebruik te maak indien 'n fouttoestand voorkom. Ander moeilikhede wat oorkom moet word, sluit die volgende in: betroubaarheid, golflengte- en tydstabiliteit, polarisasiesensitiwiteit, voorgeskrewe standaarde, komponentspesifikasie en stelselontwerpverrekening.

Daar word in die vooruitsig gestel dat individuele verbruikers se behoefte aan bandwydte steeds sal groei. Dit sal die behoefte aan veselverbinding nader aan die werkplek of huis laat toeneem. WDM behoort die telekommunikasie-infrastruktuur verder te penetreer met die gevolg dat hoëspoednetwerke, rotering en skakeling, nader aan die kantoor of huis sal kom.[17] Hierdie punt is die laaste bottelnek in die netwerke. Die mening is dat 'n tipe vesel-na-die-huis (FTTH)-stelsel wat nie uit aktiewe komponente in die huurdernetwerke bestaan nie, die oplossing sal wees. Optiese toegangsnetwerke en lokalearea-netwerke toon groot potensiaal vir besigheid in tegnologie soortgelyk aan dié wat tans die baie hoëspoedstelsels moontlik maak. Die groot telekommunikasieverskaffers en vervaardigers van telekommunikasietoerusting moedig dus die standaardisering van transmissiestelsels soos FSAN (Full Service Access Network) aan. Daar word beoog om die koste te verlaag deur onderdele en toerusting gemeenskaplik te maak vir alle deelnemers in die industrie. Publieke telekommunikasie maak staat op 'n baie diverse netwerk van netwerke met verskillende topologieë, ontplooide tegnologie, dienste en onderliggende besigheidsmodelle. 'n Praktiese alles-optiese netwerk moet dus verder kan gaan as bloot die punt-tot-punt-WDM-transmissie. Dit moet ook die behoeftes van die diverse netwerkomgewing in ag neem.



***Figuur 10:** Die transmissiekapasiteit van optieseveselstelsels het oor die afgelope vyftien jaar eksponensieel gegroei.*

Die proses van standaardisering word hoofsaaklik gedryf deur ITU-T[18] (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) en die IEC (International Electrotechnical Commission). Eersgenoemde organisasie bespreek byvoorbeeld stelselargitektuure, monitering en beheer van stelselfunksies, koppelvlakspesifikasies en die vereistes vir kabels en onderdele. Die IEC bevorder op sy beurt die standaardisering van tegniese terminologie en toetsmetodes wat benodig word vir gladde kommersiële transaksies ten opsigte van onderdele en toerusting.

Soos wat kanaalspasiëring verklein, word die vereistes ten opsigte van akkuraatheid en stabiliteit van multi-optiese draers baie streng om kruisspraak tussen draers by verskillende golflengtes te voorkom. Ten einde die optiese spektrum baie effektief te benut, gaan die optiese frekwensiespesifikasie strenger word. Dit beteken[19] dat elke komponent en substelsel in die toekomstige alles-optiese transportnetwerke, asook die toerusting wat gebruik word vir die karakterisering daarvan, baie akkuraat ten opsigte van die optiese frekwensie moet wees. 'n Absolute frekwensieverwysing word benodig om dit te kan meet en so te hou. Optiese monitering en multidraergenerasie is ook baie belangrike elemente van frekwensiebestuur.

10. WAT IS DIE BESIGHEIDSVOORUITSIGTE?

'n Onlangse meningspeiling deur *Photonics Spectra*, 'n vaktydskrif vir die fotonika-industrie, het getoon dat 60% van die lesers (hoofsaaklik in die VSA) verwag dat die kommunikasie-area die vinnigste groei vir hul industrieë in die volgende 10 jaar sal bring. Hierdie sentiment word ook in Japan wat 'n leier op hierdie gebied is, uitgespreek. Daar word selfs voorspel dat spraakverkeer 'n gratis diens gaan word. Hierdie mening word deur die meeste diensverskaffers gedeel.

Ten spyte van die finansiële krisis in Asië die afgelope paar jaar, groei die optoëlektroniese industrie steeds wêreldwyd. So byvoorbeeld, was die groei in produksie in Japan[20] van glimdiodes gedurende 1997 sowat 10,6%, die groei in produksie van optiese vesel 6,3% en die groei in die produksie van fotodiodes 27,2% in vergelyking met die vorige jaar. Dit dui op 'n verhoogde aanvraag na komponente vir optiese kommunikasie. Werklike belegging in N&O en die aantal voltydse navorsers in 1996, toon 'n gemiddelde groei wat hoër is as die gemiddelde groei in die elektriese en meganiese industrieë. Die werklike uitgawes het in daardie jaar met 6,5% verhoog en dit is sowat 7,3% van die totale uitset. 'n Aantal maatskappye het ook vervaardigingsaanlegte in ander lande. Daar is egter 'n traagheid om in daardie lande uit te brei. Die grootste probleme sluit in die probleem om geskoolde arbeid te kry, hoë werkloosheid, taalprobleme, stabiliteit in geldeenhede, misdaad en monetêre probleme. Hierdie probleme word ten opsigte van Asiatiese lande ondervind, maar is

ongelukkig nie onbekend in Suid-Afrika nie.

In Japan werk die staat nou saam met die industrie en die akademici om die optoëlektroniese nywerheid en tegnologie te bevorder deur 'n aantal staatsorganisasies, soos byvoorbeeld MITI (Ministry of International Trade and Industry). Die OITDA (Optoelectronic Industry Technology Development Association) se missie is om die huidige en toekomstige tendense te bepaal, en versnelde tegnologiese ontwikkeling, standaardisering, waagbesighede en kreatiewe kleinsake aan te moedig en om internasionaal saam te werk. 'n Doel, gebaseer op hul voorspelde gemeenskapsbehoeftes vir die 21ste eeu, tegnologiese vooruitskattings en samesprekings met 'n verskeidenheid van belangegroep, is daargestel om 'n informasiekommunikasiestelsel te bou met die vermoë van 100 Mb/s bistempo vir tuisgebruik en 5Tb/s vir langafstandkanale. Die OITDA se roetekaart vir publieke optiese kommunikasiestelsels is soortgelyk aan dit wat die OIDA (Optoelectronics Industry Technology Development) in die VSA saamgestel het.[21,22]

Volgens hierdie kaarte is dit duidelik dat die visie 'n alles-optiese netwerk teen 2015 is wat data kan stuur teen 5 Tb/s oor afstande van 1000 km in die langafstandnetwerke. Die volgende tegnologie behoort teen daardie tyd kommersieel beskikbaar te wees: optiese tyddelingsmultipleksering (OTDM) wat teen 1 Tb/s werk, 100-kanaal-WDM-stelsels, 'n optiese versterker met 'n 100 nm bandwydte, geïntegreerde optika insluitend 'n 100 Gb/s-modulator en -fotodiode, golfleiergeïntegreerde multi-golflengtelaserdiodes, 100 x 100 optiese matriksskakelaar en optiese aftap-/byvoegmultiplekseerders. Die optiese vesel behoort teen daardie tyd 'n baie lae dispersie van van 0,01ps/nm-km te hê, en daar sal vir die nie-lineariteite soos dispersie in die optiese domein gekompenseer word.[4] Dit is baie duidelik uit bovermelde dat 'n groot aantal ingenieursprobleme nog aangespreek moet word. Dit maak hierdie veld baie uitdagend.

11. WAAR PAS AFRIKA IN HIERDIE PRENTJIE IN?

Die potensiaal vir die opheffing van mense is enorm indien die gereedskap voorsien deur die tegnologie van die informasie-eeu gebruik word en die leier en veral die leiers van die "kennis-arm" nasies die wysheid het om dit aan te gryp. Daar is 'n aantal inisiatiewe deur Westerse lande en besighede om die gemeenskappe van die sub-Sahara-gebiede te bemagtig om informasie- en kommunikasietegnologie in hul eie sosiale en ekonomiese ontwikkeling toe te pas. Sowat 500 miljoen Afrikane woon in landelike gebiede met weinig tot geen infrastruktuur nie, veral nie telekommunikasiegeriewe nie. Een van die programme is die Acacia Initiative met die steun van Nortel Networks, die ITU en die Internasionale Ontwikkelingsnavorsingsentrum.[23] Die doel is om dié persone wat die nuwe Afrika moet rigting gee (in hierdie geval in Kenia en Senegal) te help om innovasies aan te gryp wat reeds bewys gelewer het dat dit beter telekommunikasiedienste na meer mense bring, en voortdurende verbeteringe in die lande waar die tele-digtheid baie laag is, meebring. Dit gaan hoofsaaklik oor die ontwikkeling van menslike hulpronne. Dit is uiters noodsaaklik dat hierdie opleidingsprogramme tot die vestiging van 'n telekommunikasie-infrastruktuur lei. Die meerderheid Afrika-state het egter nie die finansiële bronne om dit te kan doen nie. 'n Eerste stap sal die ontwikkeling van dienste in die sentra wees waar die grootste aantal mense is. Met ons eie ondervinding van koperkabeldiefstal, is optiese vesel waarskynlik die enigste alternatief. Hierdie stelsels behoort aan ondersese optiese-veselkabels verbind te word. Africa ONE was 'n beplande projek deur AT&T Submarine Systems en Alcatel Submarine Networks om 'n ondersese WDM/SDH-ring rondom die kontinent te lê. Die totale lengte is sowat 40 000 km met nodes by 'n 40-tal lande. Hierdie projek word tans deur 'n ander voorgestelde optiese netwerk vervang.

Suid-Afrika se hoë aanvraag na bandwydte kom van data-verkeer en ook gebruikers van die Internet. Die land gebruik alreeds die grootste deel van die beskikbare bandwydte op die Kaapstad-Europa ondersese kabel. Bottelnekke ontstaan in die ekonomies-aktiewe sentra met die gepaardgaande Internet-wagsindroom. Dit is noodsaaklik dat ons die kapasiteit uitbrei en die beskikbare bandwydte van die bestaande telekommunikasie-infrastruktuur verhoog. Soos voorheen gestel, is optiese vesel die enigste keuse en ons moet dus die huidige netwerk uitbrei en opgradeer deur beskikbare tegnologie te gebruik. Daar is baie faktore wat in ons guns tel. Dit sluit in 'n goed ontwikkelde infrastruktuur, goeie bestuur, goeie menslikehulpbron-potensiaal, en 'n uitstekende industriële basis met Telkom om netwerkbeplanning en lê van die kabels en ander toerusting te doen, ATC (Edms) Bpk. om meer van hul goeie kwaliteit optiese vesel te vervaardig, buitelandse vennote, ens. Die infrastruktuur van Suid-Afrika kan na Suidelike Afrika uitgebrei word en sodoende kan ons poog om die hele subkontinent op te hef.

AFSLUITING

Dit is verblydend om te weet dat lig, die essensie van lewe, ingespan kan word om by te dra tot die ontwikkeling van menslike hulpbronne in Afrika. Ons weet dat dit aanvanklik slegs 'n rol kan speel by die ontwikkeling van mense in hoër bevolkingsdigtheid-omgewings en hopelik lei tot die ontwikkeling van basiese vaardighede wat op hul beurt weer kan lei tot die ekonomiese ontwikkeling van hierdie sentra. Sonder kommunikasie met handelsvennote, veral diegene in ontwikkelde lande, sal die ekonomie faal en gaan dit nie moontlik wees om die basiese infrastruktuur uit te brei na die ondervoorsiende streke waar sulke dienste broodnodig is nie. Soos die proses van opheffing momentum kry, so behoort die ekonomie van die "kennis-arm" nasies te groei. Hopelik is dit 'n lawineproses. Ons vertrou dat die leiers van hierdie lande deel sal word van die proses en nie wapens aankoop om hulself teen die denkbeeldige vyand te beskerm wat dalk net hul eie verarmde mense is wat ook hunker na 'n beter lewe nie.

'n Kroniese tekort aan bandwydte, stadige Internet-dienste, ensovoorts, sal 'n negatiewe invloed op Suid-Afrika se ekonomie hê. Ons moet die telekommunikasiedienste uitbrei na onderbediende streke en ons moet die gereedskap van die informasie-eeu inspan om die leeromgewing van ons jeug te verbeter want hulle is die toekoms van die land.

Ons het ook 'n kroniese tekort aan werksgeleenthede in Suid-Afrika. Die telekommunikasie-industrie sou baie werksgeleenthede op verskillende vaardigheidsvlakke kon verskaf. Dit is moontlik om nuwe, klein, eerste besighede te begin wat fotoniese komponente en stelsels vir ons eie bedryf en ook vir uitvoer, vervaardig. Lande soos Denemarke, Swede en Skotland het baie kleiner bevolkings as Suid-Afrika, maar tog voer ons sulke komponente van hulle af in. Die behoeftes van die optoëlektroniese nywerheid (en dit gaan veel wyer as optiese telekommunikasie) in Suid-Afrika moet bepaal word sodat ons 'n visie vir die 21ste eeu kan vorm, kan bepaal watter produkte ons gaan benodig, kan bepaal watter industrieë nodig is, watter tipe mannekrag daar benodig gaan word, watter industrieë geskep moet word en watter industrieë aanvanklik deur die Staat ondersteun moet word. Daar is geen rede waarom Suid-Afrika nie die lig van Afrika kan wees nie en aan hulle en ons die pad kan wys na die nuwe millennium, weg van armoede, sosiale onrus, oorloë en spanning. Kom laat ons begin werk!

VERKLARING VAN AFKORTINGS

AWG	-	Arrayed waveguide grating / geskiktegolfleierrooster
EDFA	-	Erbium-doped fibre amplifier / Erbiumgedoteerde optieseveselversterker
FSAN	-	Full service access network / voldienstoegangsnetwerk
FTTH	-	Fibre to the home / vesel-na-die-huis
IEC	-	International Electrotechnical Commission
ITU	-	International Telecommunication Union
LAN	-	Local area network / lokaleareanetwerk
LED	-	Light emitting diode / glimdiode
MAN	-	Metropolitan area network / metropolitaanse areanetwerk
MITI	-	Ministry of International Trade and Industry
OADM	-	Optical add/drop multiplexer / optiese byvoeg-/ aftapmultiplekseerder
OITDA	-	Optoelectronics Industry Technology Development Association
OIDA	-	Optoelectronics Industry Technology Development
OTDM	-	Optical time division multiplexing / Optiese tyddomeinmultipleksering
OXC	-	Optical cross-connect / optiese kruisskakelaar
SDH	-	Synchronous digital hierarchy / sinkrone syferhiërargie
TDFA	-	Thulium-doped fibre amplifier / Tulium-gedoteerde optieseveselversterker
TDM	-	Time domain multiplexing / tyddomeinmultipleksering
WAN	-	Wide area network / wyeareanetwerk
(D)WDM	-	(Dense) Wavelength division multiplexing / (digte) golflengtedelingmultipleksering

LITERATUURVERWYSINGS

1. Einarsson, G. (1996). *Principles of Lightwave Communications* (John Wiley & Sons, New York).
2. Kao, K.C., Hockam, G.A. (1966). Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies, *Proceedings IEE*, 113, 1151-1158.
3. Werts, A. (1966). Propagation de la lumiére cohérente dans les fibres optiques, *L'Onde Electrique*, 46, 967-980.
4. Refi, J.J. (1999). Optical fibers for optical networking, *Bell Labs Technical Journal*, January - March, 246 -260.
5. Keiser, G. (1991). *Optical Fibre Communications*. (2e Uitgawe Uitgawe, McGraw-Hill, Inc., New York).
6. Ramaswami, R., Sivarajan, K.N. (1998). *Optical networks. A practical perspective* (Morgan Kaufmann Publishers, Inc, San Francisco, CA.).
7. Miskovic, E. (1999). Wavelength lockers keep lasers in line, *Photonics Spectra*, February, 104 - 110.
8. Willner, A.E. (1997). Mining the optical bandwidth for a terabit per second, *IEEE Spectrum*, April, 32-42.
9. Hakimoglu, Z., Au-Yeung, V. (1999). Circulators help designers innovate network solutions, *Optoelectronics World*, February, S7 - S12.
10. Alferness, R.C., Bonenfant, P.A., Newton, C.J., Sparks, K.A.,Varma, E.L. (1999). A practical vision for optical transport networking, *Bell Labs Technical Journal*, January - March, 3-18.
11. Chraplyvy, A.R. (1999). High-capacity lightwave transmission experiments, *Bell Labs Technical Journal*, January - March, 230 - 245.
12. Weiss, S.A. (1999). Speed Demons: Is 'Faster' better and cheaper?, *Photonics Spectra*, February, 96 - 102.
13. Al-Salameh, D.Y., Fatehi, M.T., Gartner, W.J., Lumish, S., Nelson, B.L., Raychaudhuri, K.K. (1998). Optical networking, *Bell Labs Technical Journal*, January - March, 39 - 61.
14. Okamoto, K. (1998). Bringing telecom networks up to speed, *Circuits and Devices*, September 26-34.
15. Okamoto, K. (1999). Recent progress of integrated optics planar lightwave circuits, *Optical and Quantum Electronics*, 31, 107-129.
16. Doshi, B.T., Dravida, S., Harshavardhana, P., Hauser, O., Wang, Y.(1999). Optical network design and restoration, *Bell Labs Technical Journal*, January - March, 58 - 84.
17. Dutta-Roy, A. (1999). Cable. It's not just for TV, *IEEE Spectrum*, May, 53-59.
18. Http://www.itu.int
19. Yoshimura, H., Sato, K-I., Takachio, N. (1999). Future photonic transport networks based on WDM technologies, *IEEE Communications Magazine*, February, 74-81.
20. OITDA Activity Report (1997), 11, 72 pp.
21. Http://www.OIDA.org
22. Http://www.bell-labs.com/user/tkw/ed/ieecd_bergh_edit.html
23. Http://www.itu.int/newsroom/press/releases/1999/9-06.html

Bea Lacquet ontvang die B.Sc.Hons.-, M.Ing.- (cum laude) en die D.Ing.-graad in Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese aan die Randse Afrikaanse Universiteit, Johannesburg, in 1980, 1984 en 1988 onderskeidelik. In 1984 het sy die SAMES-prys verwerf vir die beste artikel wat gebaseer was op die werk gedoen vir die meestersgraad, en in 1994 het sy die Presidentstoekenning van die Suid-Afrikaanse Instituut vir Elektriese Ingenieurs (SAIEI) ontvang. Gedurende 1990 het sy as besoekende ingenieur by die Microsystems Technology Laboratories by Massachusetts Institute of Technology in Boston in die VSA gewerk, en in 1996 was sy besoekende professor by die University of Alberta en die Telecommunications Research Laboratories in Edmonton, Kanada. Dr. Lacquet is tans professor in Elektriese en Elektroniese Ingenieurswese aan die RAU en dien op verskeie komitees binne die Fakulteit Ingenieurswese en binne die Universiteit. Sy is 'n aktiewe lid van die SAIEI en is tans lid van die Raad, voorsitter van die Onderrig en Opleidingskomitee, lid van die Elektronika en Programmatuurafdelingkomitee en 'n mederedakteur van die Handelinge van die Instituut. Sy is 'n geregistreerde professionele ingenieur en dien tans op die Professionele Advieskomitee van die Suid-Afrikaanse Raad vir Ingenieurswese. Haar navorsingsbelangstelling is wyd in die velde van sensors, seinverwerking, nie-destruktiewe meettegnieke en komponente vir optieseveselkommunikasiestelsels. Dr Lacquet is die outeur en mede-outeur van meer as 60 eweknie-geëvalueerde vaktydskrifartikels en het reeds sowat 50 bydraes tot konferensies en simposia gemaak.