

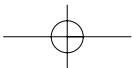
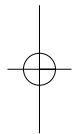
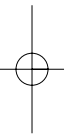


**Universiteit Twente**  
*de ondernemende universiteit*



## **“Bouwen in de woestijn”**

door Prof.dr.ir. Wim van Etten



# "Bouwen in de Woestijn"

Afscheidsrede

Prof.dr.ir. Wim van Etten  
Universiteit Twente  
vrijdag 2 november 2007

## **Mijnheer de Rector Magnificus, Mijnheer de Decaan, waarde collega's, beste familie, vrienden en kennissen, geachte aanwezigen**

### **1. Inleiding**

Wat doet een mens als hij pas met pensioen is? Hij ruimt zijn huis wat op en begint op zolder. Daar vindt hij onder andere zijn oude schoolrapporten terug. Zo ook ik; dat was schrikken. Mijn rapporten uit de tweede en derde klas lagere school, zo heette dat toen nog, waren van een zodanig bedroevend niveau, dat waarschijnlijk niemand toen verwachtte, dat ik vandaag hier afscheid zou nemen als hoogleraar van deze universiteit. Terugkijkend verbaast het mij nu nog, dat ik met zulke slechte cijfers overging. Het is een zeer menselijke eigenschap om je falen te wijten aan anderen. In mijn geval kan ik die bedroevende resultaten toewijzen aan het feit, dat ik in die klassen opgezaald werd met dezelfde onderwijzer, en wel één met een zeer eigenaardig karakter, zeg maar gewoon een rare. Nadat ik van die rare onderwijzer was verlost, gingen de cijfers op mijn rapporten in stijgende lijn, zowel op de lagere school alsook in het vervolgonderwijs.

Welk beroep ik zou gaan kiezen is lange tijd onzeker geweest. Mijn keuze was aanvankelijk pastoor, totdat de als zodanig dienstdoende functionaris in het dorp waar ik opgroeide voor mij diezelfde keuze meende te moeten maken. Ik houd niet van dwang en drang, maar meer van vrijheid van handelen en ruimte voor inventiviteit. Ik meende die te kunnen vinden in het onderwijzersvak, maar ook op dat pad lag een schaduw, de toelatingscommissie van de kweekschool, tegenwoordig PABO geheten, zag het niet zitten, om overigens onduidelijke redenen. Gezien mijn latere carrière denk ik toch niet, dat mijn rekenvaardigheid onder de maat was, zoals tegenwoordig veelvuldig het geval schijnt te zijn onder PABO-leerlingen. Enkele van mijn vrienden kozen voor een technische richting en ik sloot me daar toen maar bij aan, aangezien mijn aanvankelijke ambities in rook opgingen en bij gebrek aan een iets beters voor mij op dat moment. Zo belandde ik met enkele schoolkameraden op de HTS elektrotechniek, een keuze die dus door toeval tot stand kwam en waar ik uiteindelijk, tot op de dag van vandaag, zeer gelukkig mee ben. Na de HTS eerst militaire dienstplicht, alvorens de ingenieurs-studie aan de universiteit Eindhoven kon worden aangepakt, eveneens in de elektrotechniek. Naast die studie heb ik gedurende drie jaar een voltijdse baan gehad als onderzoek-assistent in de groep van wijlen prof. Zaalberg van Zelst, die toen hoogleraar was in de elektronica aan de Technische Universiteit Eindhoven.

Nadat ik het ingenieursdiploma had behaald, aanvaardde ik een baan bij Philips op een ontwikkelingsafdeling voor oscilloscopen. Daar deed ik weer een belangrijke levenservaring op, namelijk bij de sollicitatie werden perspectieven geboden over de baan die niet overeenkomstig werden ingevuld. Behalve mijn weerstand tegen dwang en drang, houd ik er zeker ook niet van om bedot te worden. Binnen een jaar hield ik het daar dan ook voor gezien, om universitair docent te worden aan de Universiteit Eindhoven, in de groep Telecommunicatie, die toen onder leiding stond van prof. Jan van der Plaats. Dat was een schot in de roos; ik heb daar 24 jaar met heel veel plezier gewerkt. Het vakgebied van de telecommunicatie is volgens mij het oudste en meest veelzijdige en dynamische toepassingsgebied van de elektrotechniek. Bovendien, de kritische wijze waarop Jan mijn werk beoordeelde, zijn nuchtere en relativerende houding, maar vooral de vrijheid van handelen die ik van hem kreeg en de interessante discussies met hem over de onderzoeksvragen die zich voordeden, heb ik als buitengewoon stimulerend ervaren, zoals ik destijds in mijn intrede reeds memoreerde.

Op een dag zag ik een advertentie waarin de Universiteit Twente een hoogleraar zocht in de Telecommunicatie. 's Avonds thuisgekomen, opperde ik tijdens het gezamenlijke avondmaal om daar op te solliciteren. Onder mijn kinderen, die toen op de middelbare school zaten, brak een soort van oproer uit. Een verhuizing naar een volstrekt ander deel van het land zagen zij helemaal niet zitten, en ik heb er toen dan ook maar vanaf gezien. Echter, toen zij enkele jaren later het huis uit waren, was de vacature in Twente nog niet vervuld, en toen heb ik alsnog gesolliciteerd, met als gevolg mijn aanstelling aan deze universiteit begin 1994.

Bij mijn komst hier in Twente was de leerstoel Telecommunicatie ongeveer zeven jaar onbezet geweest. Ik kan u zeggen, het is dan of je in een woestijn wordt gedropt. De staf was onderbezet en er liep eigenlijk geen onderzoek, de laboratoriumuitrusting was jaren achter en het verplichte onderwijs had juist een vernieuwingsronde ondergaan, waarvan ik het telecommunicatiegedeelte moest gaan opzetten en voor mijn rekening nemen. Daarnaast was het pakket van keuzevakken in de telecommunicatie mijns inziens te beperkt. Daar heb ik in de loop der jaren flink wat uitbreiding aan gegeven, zodat nu een evenwichtig en vakgebied-dekkend onderwijspakket aangeboden wordt. Ook het onderzoek is aardig op gang gekomen. Over al deze zaken zal ik later in deze rede wat meer zeggen.

De wetenschap zoals die bij uitstek wordt bedreven aan de universiteit, bevat een tweetal hoofdelementen, te weten het wetenschappelijk onderwijs en het wetenschappelijk onderzoek. Daarbij behoort onze kernactiviteit naar

mijn mening het onderwijs te zijn. De beoefening van het wetenschappelijk onderzoek heeft m.i. een tweeledig doel:

1. Genereren van wetenschappelijke kennis ten behoeve van de maatschappij;
2. De wetenschapper gelegenheid bieden om zich steeds verder te bekwaamen, zodat hij/zij op het allerhoogste niveau studenten kan opleiden.

Deze tweeledigheid is naar het model dat Wilhelm von Humboldt invoerde bij de oprichting van de universiteit van Berlijn in het begin van de negentiende eeuw, en dat nadien veel navolging heeft gekregen in Europa en aan Amerikaanse universiteiten. Bij dat model vormen onderwijs en onderzoek als het ware een samenhangend geheel, zoals schering en inslag één weefsel vormen. Hoewel er de afgelopen jaren een aantal aanslagen is gepleegd op dit model, hanteren de meeste universiteiten het nog steeds en lijkt het mij ook onverstandig om het te verlaten.

In mijn eerste baan bij prof. Zaalberg werd ik geacht nieuwe elektronische schakelingen te ontwerpen en te testen; een praktische bezigheid dus. Omdat ik werkstudent was aan diezelfde universiteit, studeerde ik ook voor mijn vakken; voornamelijk theorie dus. Mede hierdoor en omdat ik de hoogleraar en de wetenschappelijk medewerkers in die groep dat ook zag doen, ging ik steeds proberen om de theorie en de praktijk met elkaar te vergelijken, om te zien of die theorieën ook in de praktijk bruikbaar waren om verschijnselen adequaat te beschrijven. Deze attitude heb ik gedurende heel mijn loopbaan vastgehouden en verder ontwikkeld. Ik probeerde steeds als het ware theorie en praktijk met elkaar kloppend te maken. Dat betekent ook dat bij de opzet van onderzoeksprojecten zo mogelijk ook voorzien wordt in “demonstrators”, opstellingen waarmee je kunt laten zien, dat je ideeën en theorieën kloppen, en leiden tot een praktisch realiseerbare toepassing. Technische wetenschappen zijn immers in hoge mate toegepaste wetenschappen. Vaak werd mijn nieuwsgierigheid gewekt en de kiem gelegd voor een stuk onderzoek door een verrassende, praktische waarneming. Immers, kennis begint bij de waarneming van iets wat we nog niet begrijpen.

Tijdens mijn loopbaan in de telecommunicatie, die zich uitstrekt van 1970 tot 2007, hebben zich drie belangrijke omwentelingen voorgedaan in dat vakgebied, te weten:

1. De digitalisering van het openbare telefoonnet in de jaren zeventig van de vorige eeuw;
2. De grootschalige invoering van glasvezels als breedbandig transmissie-medium in de tachtiger jaren van de vorige eeuw, waarmee gepaard ging

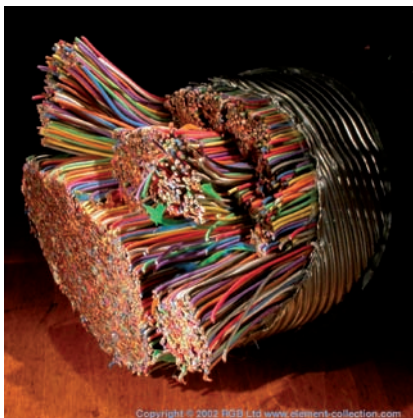
- het gebruik van licht als drager van de informatie;
3. De draadloze toegang van de abonnees tot private, lokale en openbare telecommunicatienetten in de negentiger jaren van de vorige eeuw.
- Deze ontwikkeling gaat nog steeds door.

Aan alle drie deze ontwikkelingen heb ik in de onderzoeks- en onderwijs-sfeer een steentje mogen bijdragen. Ter illustratie hiervan zal ik enkele van de onderzoeksonderwerpen uit mijn loopbaan beschrijven, in de hoop u zo enig inzicht te geven hoe ik te werk ging. Het zal u duidelijk zijn, dat ik daarbij verre van volledig kan zijn. Ik doe een greep uit het hele scala en presenteer u enkele van de belangrijkste, c.q. meest interessante zaken.

## 2. Onderzoekservaringen

### 2.1 Overspraak

Zoals gezegd, in de jaren zeventig van de vorige eeuw werd begonnen met de digitalisering van het vaste telefonienet. Destijds was er nog geen uitgebreid mobiel netwerk zoals nu. De verbindingen liepen merendeels via koperdraden, want de glasvezel als zodanig was al wel bekend, maar men had toen nog het idee dat die ongeschikt zou zijn als transmissiemedium voor de lange afstanden. De meeraderige koperkabels zagen er uit zoals bijvoorbeeld in Figuur 1, d.w.z. vele aderenparen samengeslagen in een kabel.

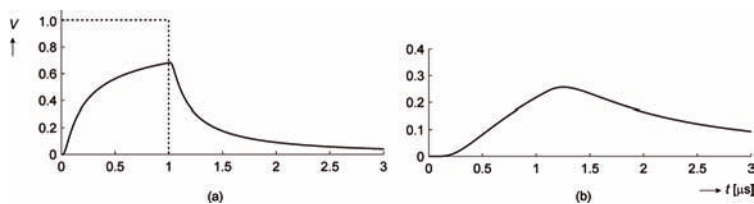


Figuur 1: Aanzicht van een veeladerige koperkabel

Door de relatief hoge frequentiecomponenten die in het digitale signaal aanwezig zijn, was de overspraak in die kabels voor die toepassingen een probleem. De kabelfabrieken werkten aan andere kabelconstructies om dit probleem te ondervangen. Tijdens een bezoek aan een kabelfabriek werd ik geconfronteerd met een mogelijke oplossing, die men voor ogen had. Nog tijdens het bezoek had ik het idee, dat er helemaal geen nieuwe kabelconstructie nodig was, maar het mogelijk moest zijn om de bestaande kabels te gebruiken en het probleem aan de kabeluiteinden op te lossen.

Teruggekomen op mijn werkplek begon ik daar meteen aan te werken.

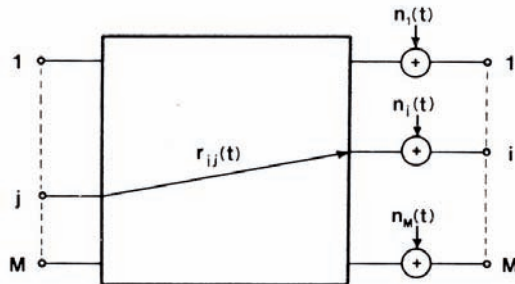
Wij hadden al veel werk gedaan aan de transmissie van signalen over enkelvoudige aderen. Daarbij treedt ook al een probleem op bij overgang naar digitale formaten. Dat is het probleem van de zogenaamde intersymbool-interferentie. Wordt op een koperlijn een puls gezet, dan wordt die puls flink uitgesmeerd in de tijd; dit is weergegeven in Figuur 2. Figuur 2(a) geeft de respons van een data-puls ter breedte van  $1 \mu\text{seconde}$  op een veel gebruikte telefoniekabel met een lengte van  $1 \text{ km}$ , terwijl Figuur 2(b) de respons geeft van dezelfde puls op een kabellengte van  $3 \text{ km}$ . We zien dat de puls zich heeft uitgebreid voorbij de  $1 \mu\text{seconde}$ , een gedeelte van de tijdschaal die bedoeld is voor volgende data-pulsen. De eerste puls verstoort dus een flink aantal volgende pulsen, wat aanleiding kan geven tot fouten bij de ontvangst. Wij zouden dit effect kunnen aanduiden met "overspraak in de tijd". Bij overspraak tussen aderen verstoort een puls op een aderpaar de pulsen op andere, naburige aderen. Mutatis mutandus geldt dit voor alle aderen. Er is dus een wederzijdse beïnvloeding van alle aderen op alle andere. Dit zouden we "overspraak in de ruimtelijke dimensie" kunnen noemen. Mijn idee was, dat het voor een puls op een bepaald aderpaar niet uitmaakt waar de storing vandaan komt. Dat bracht mij op het idee om de twee genoemde soorten overspraak als twee verschijningsvormen te zien van eenzelfde fenomeen, en dus te zoeken naar een gemeenschappelijke beschrijvingswijze en oplossing.



Figuur 2: Respons van een telefoonlijn op een data-sigitaal; lengte  $1 \text{ km}$  (a) en lengte  $3 \text{ km}$  (b)



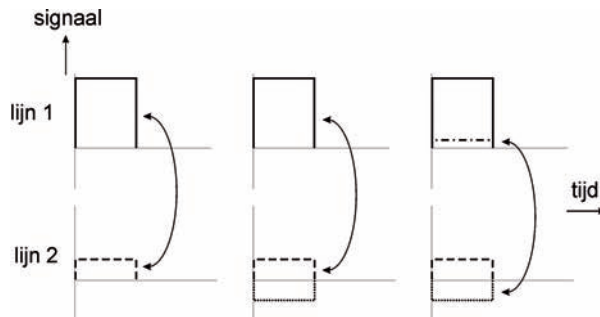
De door mij gevonden oplossing heeft jaren later ook toepassing gevonden in radiosystemen onder de naam MIMO (multiple input multiple output). Het model is aangegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Model voor MIMO-systeem met ruis

Laten we aannemen dat het systeem  $M$  ingangen heeft en  $M$  uitgangen. Er is een bepaalde overdracht van elke willekeurige ingang naar elke willekeurige uitgang. Voor zover ingang en uitgang met elkaar corresponderen, is dat een gewenste overdracht van data, maar zodra dat niet het geval is, noemen we het overspraak. Een complicerende factor is het feit, dat de overspraak zich ook in de tijd uitspreidt; m.a.w. de overspraak bevat ook weer intersymbool-interferentie.

Mijn oplossing was eigenlijk voor de hand liggend. Ik zet in serie met het kanaal een kunstmatig systeem met een zodanige overdracht, dat de overspraak en de intersymbool-interferentie worden gecompenseerd. Het principe is weergegeven in Figuur 4. Het signaal op lijn 1 geeft een overspraaksignaal op naburige lijn 2, aangegeven door middel van het gestreepte blokje. Door aan die lijn 2 nu een signaal aan te bieden dat even groot is als die overspraak (het gestippelde blokje), maar tegengesteld is van teken wordt de overspraak opgeheven. Echter dat gestippelde blokje levert op zijn beurt weer overspraak op naar lijn 1 (de streep-stippellijn in de rechter-boven figuur), waarvoor op die lijn ook weer gecorrigeerd moet worden, enzovoort. Daarnaast speelt ditzelfde probleem zich ook nog af in de tijddimensie (zie Figuur 2), waardoor het geheel nogal complex wordt. Dit is echter goed aan te pakken met geschikte wiskundige technieken. Vinden van een geschikte beschrijvingswijze was dan ook al de helft van de oplossing.



Figuur 4: Overspraak op een naburige lijn en de correctie daarop

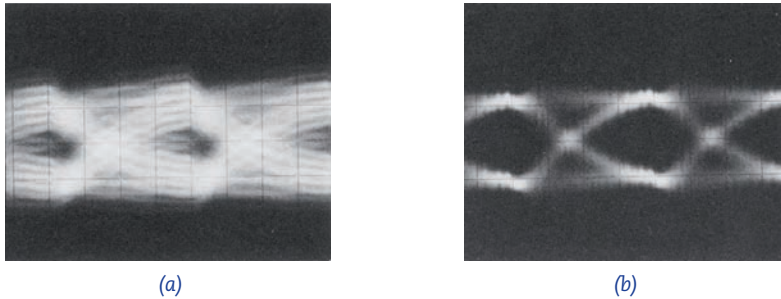
Dit stuk onderzoek bracht mij op een zienswijze hoe je onderzoek moet doen op een technisch toepassingsgebied. Daarin is een viertal stappen te onderscheiden:

1. Modelvorming aan de hand van een fysische beschouwing: het fysisch model;
2. Omzetting van fysisch model naar een wiskundige beschrijving van het systeem: het mathematische model, met daarbij de mathematische formulering van de probleemstelling;
3. Het probleem wiskundig oplossen;
4. De gevonden wiskundige oplossing terugvertalen naar de fysica: de technische realisatie van de oplossing.

In mijn colleges schets ik studenten dit vierluik. Vooral die laatste stap vinden studenten vaak moeilijk. Toch is de beheersing van dit gehele proces wat van een student een goed ingenieur maakt.

Terugkomend op het overspraakprobleem; voor de fijnproevers kan ik ook nog melden, dat ik ervan uitging dat de ontvangen signalen allemaal ook nog verstoord werden door ruis. Vervolgens heb ik het kunstmatige systeem zo geoptimaliseerd, dat bij de data-overdracht er een minimaal aantal detectiefouten optrad. Hiervoor is een combinatie van handige wiskundige beschrijvingen en technieken nodig. Figuur 5 laat het resultaat zien van een 1 km lange 4-aderige kabel. Figuur 5(a) toont het data-signaal zoals dat wordt ontvangen, dus met alle beschreven storingen en Figuur 5(b) laat zien hoe het signaal is “opgeknapt” nadat er optimale bewerking op is toegepast.

Wie schetste mijn verbazing toen begin dit jaar bleek, dat een tweetal artikelen die ik over dit onderwerp schreef [1,2], was opgenomen in het boek “The Best of the Best”, een verzameling van een vijftigtal artikelen die naar de mening van een daartoe ingestelde commissie de meeste impact hebben



Figuur 5: Data-sigitaal zoals dat getransporteerd is over 1 km kabel (a); na correctie van de storingen (b)

gehad op de ontwikkeling van de telecommunicatie in de afgelopen 50 jaar [3]. De artikelen zijn gekozen uit alle IEEE publicaties, tijdschriften en conferentiebijdragen, over die 50 jaar. Het betreft een totaal van 28.000 artikelen.

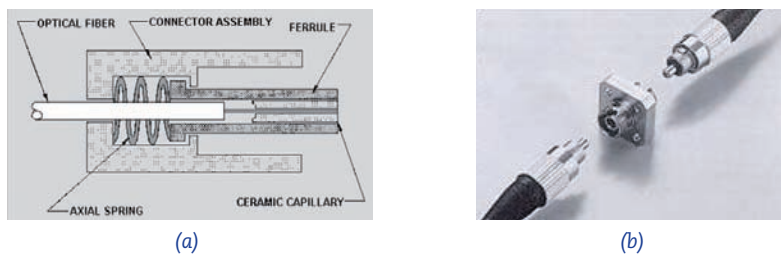


Figuur 6: "The Best of The Best"

## 2.2 Glasvezelconnectoren

Misschien niet de meest spectaculaire, maar naar mijn idee wel één van de meest aardige ervaringen is die met glasvezelconnectoren. Tijdens de ontwikkeling van een "demonstrator" kregen we veel minder vermogen in de

ontvanger dan we mochten verwachten. Na lang zoeken ontdekten we, dat het verlies moest komen doordat één van de connectoren niet helemaal goed was. Inspectie onder de microscoop leerde, dat de vezel los in de connector zat. Normaliter zit de vezel gelijmd in een keramische buisje (“ferrule”) (zie Figuur 7(a)), maar de lijm had niet goed gehecht en het vezeleinde lag iets achter het uiteinde van de “ferrule”, waardoor er ruimte bleef tussen de vezeluiteinden. Bij koppeling van twee vezels door middel van een speciaal koppelstukje (zie Figuur 7(b)) worden de veertjes in de connectoren in elkaar gedrukt, waardoor normaliter de vezeleinden tegen elkaar worden aangedrukt. Dit geeft dan een goede overgang, met weinig verliezen. Als de vezels elkaar niet raken, treedt er natuurlijk verlies op, maar bij de experimenten varieerde het verlies ook nog eens vrij sterk. Dat prikkelde mijn nieuwsgierigheid naar de oorzaak daarvan.

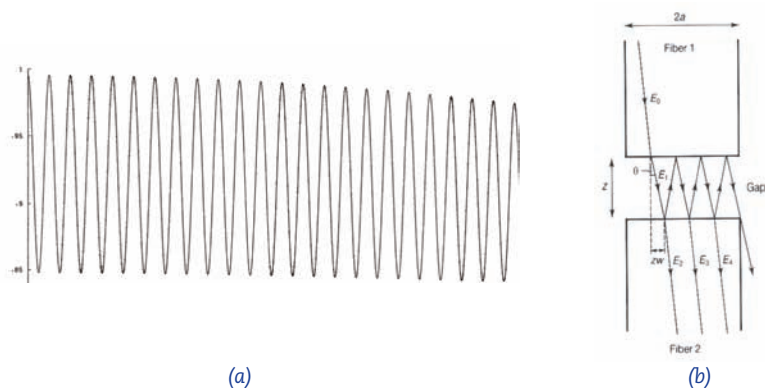


Figuur 7: Doorsnede van een optische connector (a); connectoren met koppelstukje (b)

Als u voor een etalageruit staat en achter de ruit is het niet al te licht, dan ziet u van uzelf een spiegelbeeld in de ruit. Dit wordt veroorzaakt door het feit, dat de snelheid van het licht in het glas anders is dan die in lucht, wat tot gevolg heeft dat een gedeelte van het licht reflecteert en u ziet dat als een spiegeling. Telkens als een lichtstraal een overgang moet maken van lucht naar glas of andersom treedt er zo'n reflectie op, wat natuurlijk een verlies betekent voor het doorgaande licht, van zo'n 4%. Als nu 2 vezels worden gekoppeld en er bevindt zich een afstand tussen de vezeluiteinden zoals in de slechte connector die ik beschreef, dan moet het licht eerst de ene vezel uit en na een (kleine) afstand te hebben afgelegd de andere vezel weer in. Dat is twee maal 4% verlies. In de artikelen die ik vond over dit onderwerp werd dit verlies van totaal 8% wel genoemd, maar als een apart fenomeen gezien, los van de verliezen die veroorzaakt worden doordat de veze-

luiteinden op enige afstand van elkaar zitten. We hebben dus de volgende situatie: zitten de vezels precies tegen elkaar gedrukt, zoals in een goed functionerende connector, dan is er geen verlies, maar als de vezels enigszins uit elkaar zitten bedraagt het verlies 8%. Vraag: wanneer zitten de vezels tegen elkaar? Dus op welke positie vindt de sprong plaats van 8% verlies naar nul? Is dat bij een afstand van  $1 \mu\text{m}$ , of  $1 \text{ nm}$  of nog kleiner? Ik heb altijd het idee gehad, dat de natuur geen sprongsgewijze veranderingen toelaat en wilde dus weten hoe de overgang van 8% naar nul precies zou moeten verlopen.

Na een grondige analyse kwam ik tot het resultaat dat gegeven is in Figuur 8(a). In deze figuur staat de overdracht tussen de twee te koppelen vezels als functie van de afstand tussen de vezels. Inderdaad de overgang is niet abrupt zoals ik vermoedde, maar gaat geleidelijk. Verder ziet u dat de overdracht een oscillerend karakter heeft. Het belangrijkste resultaat is, dat in geval de vezels tegen elkaar zitten de overdracht 1 is (niet precies in deze figuur, omdat er een benadering is toegepast [4]), om daarna oscillerend uit te doven naar de bekende 92%. Intussen worden minima bereikt van 84%; een verlies dus van 16%, tweemaal de voorspelde 8%. Zowel het oscillerend karakter als dit dubbele verlies in de minima volgen uit het feit, dat de directe golf en de eerste dubbele reflectie beurtelings in fase en in tegenfase zijn

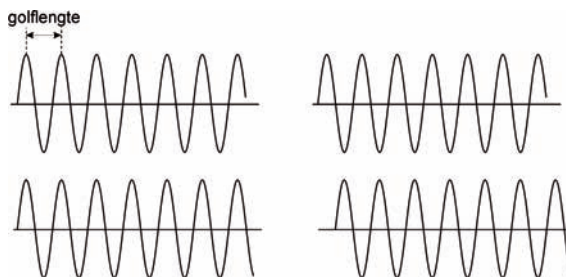


Figuur 8: Overdracht tussen twee glasvezels als functie van de afstand tussen de eindvlakken (a); een aantal interfererende lichtstralen (b)

bij verandering van de afstand.

Het oscillerend effect is als volgt te verklaren (zie Figuur 8(b)). Bij reflectie

van een lichtstraal tegen het eindvlak van "Fiber 2" treedt de genoemde reflectie op, maar deze gereflecteerde lichtstraal treft even later het eindvlak van "Fiber 1" die hem vervolgens weer terugkaatst naar "Fiber 2". Dit spel herhaalt zich alsmaar. In de ontvangende "Fiber 2" komen dus meerdere versies van dezelfde lichtstraal bij elkaar: de directe straal  $E_2$  en de gereflecteerde stralen  $E_3$ ,  $E_4$  en eventuele meerdere reflecties. Het totale vermogen bestaat nu, naast de vermogens in de individuele stralen, ook nog uit de zogenaamde interferentietermen. Die kunnen begrepen worden, als we beseffen dat licht beschreven kan worden als een golfverschijnsel. In het linker gedeelte van Figuur 9 zijn twee golven onder elkaar getekend, met als eigenschap dat ze precies hetzelfde zijn. De bovenste golf is bijvoorbeeld  $E_2$  uit Figuur 8(b) en de onderste bijvoorbeeld  $E_3$ . Bij de interferentie moeten we kijken naar de gemiddelde waarde van de vermenigvuldiging van de momentane waarden van de twee golven. In de toppen zijn beide golven positief en in de dalen beide negatief. Het product levert in beide situaties dus iets positiefs op. De overdracht heeft dan een maximum. In het rechter gedeelte van Figuur 9 is de onderste golf verschoven ten opzichte van de bovenste; dit is het gevolg van het feit dat de onderste een keer extra op en neer is gegaan tussen de twee vezels, waardoor die golf later aankomt. Nu is steeds de bovenste positief als de onderste negatief is en omgekeerd. Het product zal dus altijd negatief zijn. Dat geeft een minimum in de overdracht. De afstand tussen twee maxima of twee minima zal gelijk zijn aan een halve golflengte, omdat de interfererende golven een extra golflengte uit elkaar komen te liggen, als de afstand van de vezels toeneemt of afneemt met een halve golflengte; immers de tweede golf moet op en neer door de "gap"



Figuur 9: Links: 2 golven in fase; rechts: 2 golven in tegenfase

tussen de vezels.

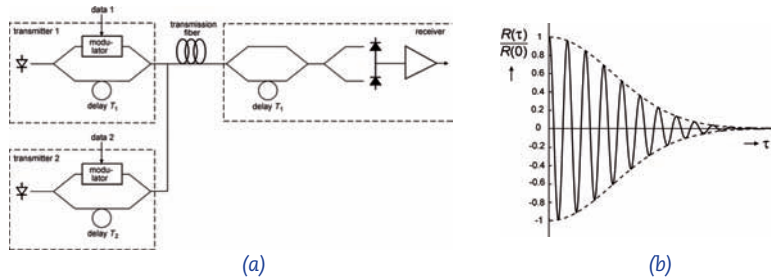
De overdracht uit Figuur 8(a), die voortkomt uit een berekening, is dus

volledig te begrijpen. Iets wat je als wetenschapper altijd moet doen: kijken of je de resultaten van je analyses ook zonder berekeningen kunt verklaren, puur op fysisch inzicht.

### 2.3 Coherente multiplexing

Multiplexing is een techniek, of beter een verzameling van technieken, om een transmissiemedium door meerdere gebruikers tegelijkertijd toegang te geven tot het medium. We zouden het dus ook een toegangstechniek (in het Engels “access”) kunnen noemen. De oudste en meest bekende vorm van multiplexing is frequentie-multiplexing. U weet waarschijnlijk allemaal, dat elke radio- en TV-zender op zijn eigen golflengte uitzendt; dit om ze van elkaar te kunnen onderscheiden. Toch maken ze allemaal gebruik van hetzelfde, gemeenschappelijke medium, dat we in dit geval vaak aanduiden met het begrip de “ether”.

Coherente multiplexing is een nieuwe manier van gemeenschappelijk gebruik van een medium. Het principe is weergegeven in Figuur 10(a), en het is ontwikkeld binnen de optische communicatie, maar is ook toepasbaar in



Figuur 10: Principe van coherente multiplexing (a); uitgangssignaal als functie van de onderlinge vertragingstijd (b)

bijvoorbeeld de radiocommunicatie.

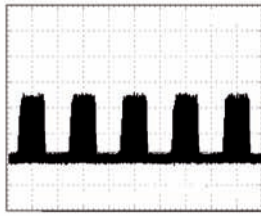
Laten we ons voorlopig concentreren op de bovenste zender, “transmitter 1”. Hierin wordt het signaal van de laser gesplitst; in één tak wordt de informatie op die draaggolf gemoduleerd, in de andere tak wordt de draaggolf alleen maar vertraagd. Daarna worden beide samengevoegd. In de ontvanger wordt het totaal weer gesplitst, in één tak vertraagd en in de tweede

tak onvertraagd doorgegeven, waarna de twee takken weer samenkomen. De signaalsterkte die uit de ontvanger komt als functie van de onderlinge vertraging ( $T_1$  in Figuur 10(a)), is weergegeven in Figuur 10(b). We zien hier een analoog verloop als bij de connectoren. Dit is begrijpelijk, immers daar waren ook twee golven van dezelfde oorsprong die na splitsing weer samenkamen. Het verschil zit hem in het feit, dat bij de connector de tweede golf veel zwakker was dan de eerste. Daardoor gaf het interferentieverschijnsel slechts een relatief kleine rimpeling in het totaal. Nu zijn echter de golven van gelijke sterkte en kan het interferentie-resultaat volledig heen en weer zwaaien van maximaal plus naar maximaal min (hier genormeerd op 1). Behalve deze oscillatie zien we ook, dat de signaalsterkte afneemt bij toemende vertraging. Dit effect is een gevolg van het feit, dat de lichtbron niet ideaal is en we gebruiken dit nu om meerdere signalen tegelijkertijd over te zenden zonder dat die elkaar storen. Om dit te kunnen begrijpen gaan we terug naar Figuur 10(a). Daar is als voorbeeld een tweetal zenders getekend met een verschillende vertraging, namelijk  $T_1$  en  $T_2$ . Als we nu aan de ontvangkant rechts ook een vertraging  $T_1$  aanbrengen dan is de totale vertraging van zender 1 naar ontvanger netto gelijk aan nul en hebben we volgens Figuur 10(b) maximaal signaal. Echter van zender 2 naar ontvanger is de netto vertraging  $T_2 - T_1$ . Als we deze waarde bij het ontwerp van het systeem nu zo maken, dat we uitkomen helemaal aan de rechterkant van de grafiek in Figuur 10(b), dan zien we dat het signaal voor deze zender nul wordt. Door aan de ontvangkant dus de vertraging instelbaar te maken, kunnen we afstemmen op een willekeurige zender in het systeem.

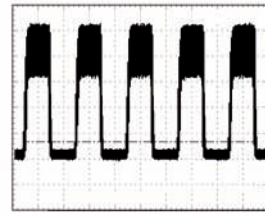
Het systeem heeft één groot nadeel, kleine variaties van de vertraging veroorzaken een sterke fluctuatie in het signaal. Deze variaties kunnen bijvoorbeeld optreden als gevolg van veroudering van de componenten of door temperatuursafhankelijkheid van de componenten. In mijn laatste publicatie nu, heb ik het systeem zodanig uitgebreid, dat bij variatie van de vertraging niet meer de getrokken lijn gevolgd wordt, maar de stippellijn [5]. Uit de figuur blijkt duidelijk, dat het systeem nu veel ongevoeliger is geworden voor die fluctuaties. Dit wordt bevestigd door de experimentele metingen, die gegeven zijn Figuur 11(a) en 11(b). Figuur 11(a) geeft het datapatroon van een reeks die bestaat uit afwisselend een hoog en een laag niveau. Meerdere reeksen zijn hier over elkaar heen geschreven. Tijdens de meting werd het systeem opgewarmd.

Duidelijk is te zien, dat tijdens de intervallen met hoog niveau, de signaalwaarde niet stabiel is, immers alle mogelijke waarden komen voor, wat wil





(a)



(b)

Figuur 11: Uitgangssignaal van het standaard coherent-multiplexing-systeem (a); uitgangssignaal van het gemodificeerde systeem (b)

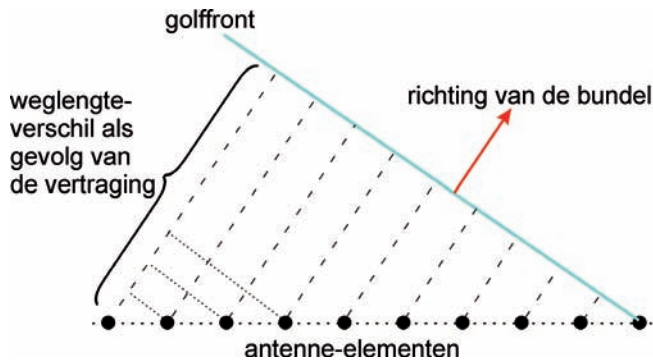
zeggen dat het hoge niveau soms ook laag wordt en zich niet onderscheidt van het bedoelde lage niveau. In Figuur 11(b) is de meting nog een keer gedaan met het gemodificeerde systeem. Hoewel het hoge niveau nog wat fluctueert, daalt het niet tot dezelfde waarde als het bedoelde lage niveau. De fluctuaties die nog reesteren, zouden nog kunnen worden weggewerkt als we het systeem zouden hebben kunnen integreren in een optische chip. De realisatie van zo'n chip kost echter nogal wat geld en we konden helaas geen geldgevende instantie vinden die bereid was dat stuk van het onderzoek te financieren. Iets wat ontzettend jammer is, want ook uit het werk dat mijn promovendus Arjan Meijerink heeft verricht, volgt dat toepassing van coherente multiplexing zeer interessant kan zijn. Dit werk is zo buitengewoon geschikt voor universitair onderzoek, omdat de signaalanalyse heel wat hoogstandjes vergt van de onderzoeker. Aan de andere kant is het systeemconcept heel eenvoudig te implementeren, wat weer interessant is voor de productie van het systeem. Bovendien is het systeem nogal ongevoelig voor variaties in de componentwaarden, wat belangrijk is voor praktische toepassing.

## 2.4 Optische bundelvorming

Met dit onderwerp heb ik me de laatste jaren beziggehouden en dit heeft ook de aanzet gegeven tot de beoefening van een hele nieuwe onderzoekslijn in mijn groep. Ik kom daar later nog op terug.

Bundelvorming is bedoeld om antennes beter hun werk te laten doen.

Dat wordt bereikt door meerdere antennes in elkaars nabijheid te plaatsen

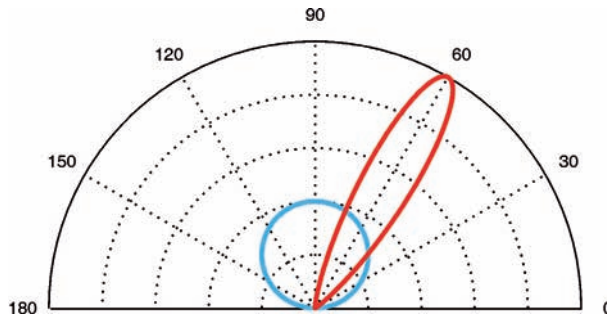


Figuur 12: Principe van bundelvorming met meerdere antenne-elementen

en de werking van die antennes te coördineren. Dit wordt toegelicht aan de hand van Figuur 12. De zwarte bolletjes onderaan in de figuur stellen de verschillende antennes voor; zij zijn opgesteld in een lijn en op regelmatig onderlinge afstand. Het signaal dat aan de meest linkse antenne wordt aangeboden, wordt als eerste verstuurd. De tweede van links krijgt zijn signaal een zekere tijd later en de derde tweemaal zoveel later, enz. Daardoor komen bij de blauwe lijn alle signalen op hetzelfde moment aan en zal de samengestelde golf zich voortplanten in een richting die loodrecht staat op die blauwe lijn; dit is aangegeven met de rode pijl. In alle andere richtingen zullen de verschillende bijdragen van de afzonderlijke antenne-elementen elkaar niet ondersteunen, omdat ze dan niet tegelijkertijd aankomen. Dit heeft tot gevolg, dat er in de andere richtingen minder vermogen wordt uitgestraald, c.q. minder vermogen wordt ontvangen. Het effect wordt gemonstreerd in Figuur 13. De blauwe cirkel geeft aan hoeveel vermogen er in een bepaalde richting wordt gestraald in geval van een enkele antenne. De rode kromme geeft hetzelfde aan, maar dan voor het samenstel van meerdere antennes die samenwerken op de manier zoals zojuist omschreven. Drie aspecten worden meteen duidelijk:

1. Het maximum van de rode bundel is groter dan dat van de blauwe, wat betekent dat als ontvangstantenne het systeem met meerdere antennes gevoeliger is en dat bij gebruik als zendantenne er meer vermogen verzonden wordt in die richting;
2. Het samengestelde systeem heeft een smallere bundel; voor de zendantenne betekent dit, dat er minder storing wordt geproduceerd in ongewenste richtingen en voor de zendantenne, dat die ongevoeliger is voor

- signalen uit ongewenste richtingen;
3. Het maximum van de bundel is gedraaid als gevolg van de onderlinge

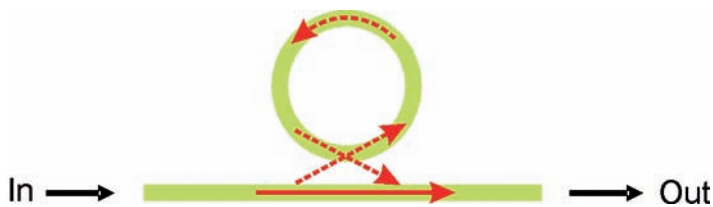


Figuur 13: De bundel van een enkele antenne (blauw) en die van enkele samenwerkende antenne-elementen (rood)

vertraging in de signalen van de verschillende elementen.

Dit laatste aspect maakt dit soort antennes zo aantrekkelijk, zeker als men kans ziet om de vertraging elektronisch of optisch continu te veranderen. Ons onderzoek richt zich de laatste jaren voornamelijk op deze optische, continu instelbare vertraging. Op een enkele chip wordt een aantal van die vertragingselementen aangebracht, voldoende om het hele systeem aan te sturen.

Het basiselement dat we daarvoor gebruiken, is de zogenaamde optische ringresonator. Licht van een laser wordt in de chip gekoppeld en wel in de rechte golfgeleider (zie Figuur 14). Aan deze rechte golfgeleider zit een tweede ringvormige golfgeleider gekoppeld. Een gedeelte van het licht wordt van de rechte geleider naar de ring gekoppeld. Na een rondgang door de ring wordt weer een klein gedeelte teruggekoppeld in de rechte geleider, maar het restant gaat een tweede keer rond in de ring, wordt weer gedeeltelijk teruggekoppeld in de rechte en gedeeltelijk doorgelanceerd in de ring, enz. Op de lange duur komt al het licht toch weer in de rechte geleider terecht. Maar intussen is het licht door al die rondgangen wel vertraagd, en dat is precies wat we wilden. Nu kunnen we op die chip de hoeveelheid licht die in de ring gekoppeld wordt heel precies regelen met een elektrische spanning. Daarmee regelen we dan de vertraging; immers minder sterke koppeling betekent, dat het licht langer in de ring blijft, dus meer vertraging, en omgekeerd. Op de chip zit voor elk antenne-element zo'n vertragingsschakeling en elk van die circuits is afzonderlijk instelbaar. Op deze manier kunnen we



Figuur 14: Optische ringresonator met in- en uitkoppeling vanuit de rechte golfgeleider

dus de hele bundelsturing op één chip zetten.

Zo'n systeem op een enkele chip heeft een aantal voordelen:

1. Het is compact;
2. Goedkoop, betrouwbaar en in grote aantallen te reproduceren;
3. Het kan zeer hoge frequenties verwerken, omdat de vertraging in het optische domein zijn beslag krijgt.

Het gebruik van bundelvormers heeft een groot aantal voordelen:

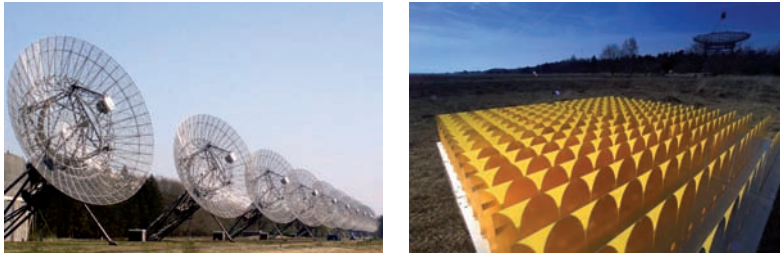
1. Er is geen mechanische beweging nodig om de bundel in een andere richting te laten wijzen;
2. Vermogen kan efficiënter worden benut in een gewenste richting;
3. Storende bronnen kunnen al in de antenne worden geëlimineerd;
4. Meerdere bundels kunnen onafhankelijk van elkaar worden uitgestraald, c.q. ontvangen door een enkel antenne-systeem.

Door de laatste drie eigenschappen kan bij inzet van dit soort antenne-systemen de capaciteit van draadloze netwerken aanzienlijk worden vergroot.

Het werk van de leerstoel Telecommunication Engineering op dit gebied wordt zowel nationaal als internationaal erkend. Die erkenning blijkt uit samenwerking met Astron in een tweetal projecten. De bekende schotels van de Synthese Radio Telescoop in Westerbork (zie Figuur 15(a)), bedoeld voor sterrenkundige waarnemingen, zijn in 1970 in gebruik genomen en over enkele jaren aan vervanging toe. De enorme constructies, met een diameter van 25 meter elk, moeten mechanisch worden gericht op een gewenst punt aan het firmament. Het beoogde nieuwe antenne-systeem zal van het type zijn als zojuist omschreven, waardoor mechanische sturing niet meer nodig is; voor een impressie zie Figuur 15(b). Het is een systeem dat zal bestaan uit een miljoen eenheden van elk  $1 \text{ m}^2$ , waarbij elke eenheid bestaat uit 64 antenne-elementen. Het hele project is zo kostbaar, dat een grootscheepse internationale samenwerking nodig is om het geheel te kunnen financieren.

Samen met o.a. Astron onderzoeken wij of de optische bundelvormer naar ons ontwerp in deze toepassing bruikbaar is. Naast de technische haalbaarheid zal ook gekeken moeten worden of het concept in deze toepassing financieel aantrekkelijk kan zijn.

Bij een tweede toepassing is naast het Nederlandse bedrijfsleven



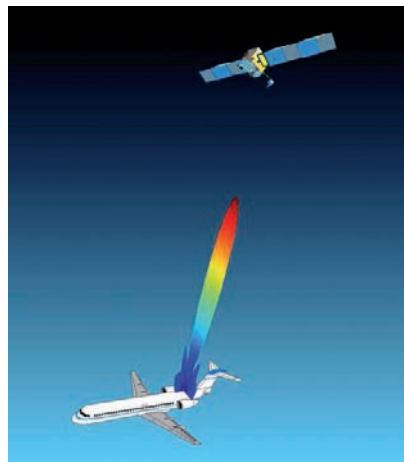
(a)

(b)

Figuur 15: De schotels van de Synthese Radio Telescoop in Westerbork (a); impressie van een nieuwe generatie antennes (b)

(Lionix en Cyner), ook betrokken het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR). Deze samenwerking vindt plaats in een project, dat is ingebed in een Europese samenwerking (PIDEA+). Het gaat er daarbij om de passagiers in een vliegtuig de mogelijkheid te bieden toegang te verkrijgen tot allerlei breedbandige telecommunicatiediensten, zoals mobiele telefonie, Internet, en een aantal radio- en televisiestations. Een impressie wordt gegeven in Figuur 16. Als een vliegtuig zich op grote hoogte bevindt, en zeker als dat ook nog eens boven de oceaan is, is contact met aardse antennes zeer moeilijk, zo niet onmogelijk. De aangewezen weg is dan via satellieten. Echter de bundel van de antenne op het vliegtuig moet dan precies gericht zijn op de satelliet. Bijsturing gedurende de vlucht is dan noodzakelijk, gezien de geografische positie van het vliegtuig, die zich geleidelijk wijzigt, maar ook door de momentane bewegingen van het vliegtuig. Een systeem met bundelvorming via meerdere antenne-elementen biedt dan uitkomst. De antenne op het vliegtuig kan zodanig worden vormgegeven, dat het een geheel vormt met de vliegtuigromp en vrijwel geen afbreuk zal doen aan de aërodynamische eigenschappen. Het zal u niet verbazen, dat EADS, de moedermaatschappij van Airbus, ook in het Europese consortium aan dit project werkt, samen met nog enkele andere Europese bedrijven en universiteiten.

Verder blijkt de internationale erkenning ook uit het feit, dat vrijwel elke conferentiebijdrage die wij over dit onderwerp insturen, wordt gehonoreerd met een uitnodiging voor een mondelinge presentatie, en er reeds verschillende artikelen zijn geplaatst, c.q. geaccepteerd voor publicatie in internationale toptijdschriften op dit gebied.



Figuur 16: De antenne-bundel vanuit een vliegtuig gericht op een satelliet

### 3. Nieuwe ontwikkelingen in het vakgebied

Tijdens mijn loopbaan heb ik het voorrecht gehad, getuige te mogen zijn van een aantal belangrijke ontwikkelingen, zoals ik aan het begin van mijn rede schetste. Een aantal van deze ontwikkelingen vindt nog steeds voortgang. De belangrijkste hiervan wil ik u nu schetsen.

#### 3.1 Ontwikkelingen op het vaste net

Na de digitalisering, wat op zich al een grote omwenteling was, volgde spoedig de invoering van het gebruik van glasvezels. Het grote voordeel van dit medium, vooral voor interlokale en transatlantische verbindingen, werd snel onderkend door de operators. Spoedig waren dan ook in de tachtiger jaren van de vorige eeuw alle verbindingen op de hogere netvlakken uitgevoerd

met deze techniek. Tot op de dag van vandaag is de invoering van glasvezels tot in de woning van de abonnee ("Fiber-to-the-Home": FTTH) niet goed op gang gekomen. Ondanks dat door middel van een landelijk projectmatige samenwerking tussen technische universiteiten en industrieën, reeds in 1981 een werkend systeem (DIVAC) hiervoor was gedemonstreerd. Enerzijds heeft dat te maken met het feit, dat de apparatuur hiervoor nog te duur is, hoewel dat zeer snel verbetert, anderzijds is in de loop der jaren de bandbreedte van de koperkabels zodanig opgerekt (denk aan ADSL), dat dit medium voor de meeste gebruikers (nog) toereikend is. Ik ben er echter van overtuigd, dat op termijn glas naar de abonneewoning onontkoombaar is. Straks hierover meer.

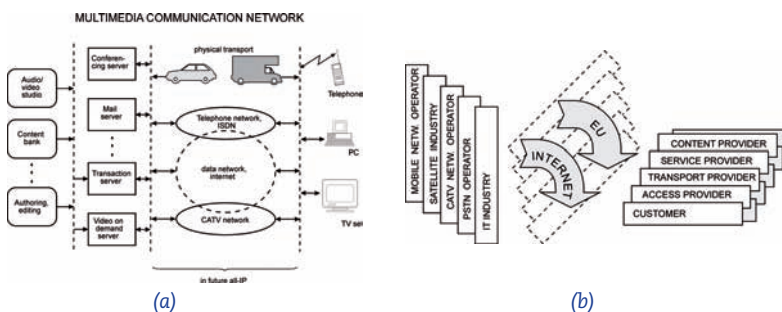
Een andere ontwikkeling op het vaste net is de convergentie van netwerken. Het vaste net is begonnen als telegrafienetwerk, gevolgd door het telefonienetwerk. Beide ontwikkelingen vonden plaats in de tweede helft van de negentiende eeuw en waren meer dan een eeuw lang de aangewezen communicatiemiddelen. Na de ontwikkeling en opkomst van de computer, in het midden van de vorige eeuw, ontstond de behoefte aan digitale informatie-uitwisseling. Om in die behoefte te voorzien, werden de modems ontwikkeld in de zestiger jaren. Echter voor het transport was men aangewezen op het wereldwijde telefoonnet en dat transport ging dus in wezen analoog. Lokaal ontstonden ook netwerken om computers te koppelen. Echter, de computerwereld en de lokale netten ontwikkelden zich vrijwel autonoom. Daarnaast ontstond er in de zeventiger jaren nog een derde netwerkvorm,

	Telephone world	Data world	Radio/TV world
Requirements	Telephone (dialog)	Internet, PC (messaging, retrieval, transaction)	CATV system, TV set (distribution)
Intelligence	↑↑		
Two-way communication			
Switching, addressing			
Billing, security		↓↓	↑↑
Real time			
Broadband	↓↓		

Figuur 17: Kenmerken van de drie klassieke informatie-gemeenschappen

dat voor de distributie van omroepsignalen, de zogenaamde CATV-netten. Elk van de drie genoemde netten had zo zijn eigen specifieke eigenschappen, die uiteraard voortvloeiden uit de behoeften van de betrokken gemeenschap (zie Figuur 17). Inmiddels heeft er convergentie plaatsgevonden tussen deze netwerken, waardoor het onderscheid is vervaagd. Zo bieden de CATV-netwerk-operators nu ook ADSL en telefonie aan, en de telefoon-operators TV. Alle netwerken convergeren naar multimedia-netwerken (zie Figuur 18(a)).

Deze ontwikkelingen hebben plaatsgevonden o.a. onder druk van de Europese Unie, die open concurrentie tot speerpunt van haar beleid heeft verheven, naar mijn idee soms tot in het absurde toe. Overigens is de telecommunicatiesector er één waar dit beleid zijn vruchten heeft afgeworpen. Als gevolg van de komst van Internet enerzijds en de bemoeienis van de EU met de sector anderzijds, is er een verandering opgetreden in de organisatie rond het service-aanbod. Was vroeger de hele keten van een bepaalde service in handen van één organisatie (de verticale organisatie), nu doorloopt elke service een aantal lagen die op elkaar volgen (de horizontale organisatie) van "content provider", die voor de inhoud van de informatie zorgt, tot abonnee. Daartussen zitten dan: "service provider", "transport provider" en "access provider" (zie Figuur 18(b)). Elk van deze lagen wordt in principe door een gespecialiseerd bedrijf verzorgd.



Figuur 18: Convergentie van specifieke netwerken naar multimedia-netwerken (a); overgang van verticale netwerkgorganisatie naar horizontale organisatie (b)

Naast de convergentie in deze zin, zal er in de nabije toekomst nog een convergentie plaatsvinden, namelijk die van de transporttechniek. Toen ik in



1970 mijn carrière in de telecommunicatie begon, was er alleen nog een analogo telefonienet. Het uiterst beperkte dataverkeer werd via modems afgehandeld via dat telefonienet. Gaandeweg is er een omslag gekomen; de openbare netten werden gedigitaliseerd en gingen steeds meer data vervoeren, met op zijn beurt steeds meer dataverkeer via Internet. Het aanbod van telefonie is qua transportcapaciteit die dat vergt, inmiddels nagenoeg verwaarloosbaar klein geworden ten opzichte van het totale Internet-verkeer. Tijd dus om de netwerken niet meer primair toe te spitsen op die telefonie, maar op het Internet. Met deze omslag is onlangs in ons land een begin gemaakt en zal in het hele netwerk successievelijk worden ingevoerd, we noemen dit "all IP". Parallel daaraan zullen de wijkcentrales in hun huidige vorm verdwijnen en het glas tot in de straat van de abonnee worden gebracht. Dit alles moet het openbare net, vooral dus de laatste kilometers naar de abonnee, sneller en flexibeler maken. Daardoor is het mogelijk de gebruikers, naast snel Internet-toegang, ook diensten aan te bieden als: digitale video omroep (IP-TV), digitale "video-on-demand", digitale audio, etc. Omdat het klassiek telefoonnet (PSTN: "public switched telephony network") verdwijnt, zal de abonnee aangewezen zijn op Internet-telefonie. VoIP ("voice over IP") is de algemene benaming om spraak, zoals bij telefonie, te versturen via Internet. Bij Internet-telefonie biedt de telefonie-operator in principe een klassiek telefonie-abonnement aan, maar wordt het signaal door de operator vervoerd over het Internet. Het is dus VoIP met daar boven op een uitgebreide telefonie-service. Met Internet-telefonie zijn de afgelopen tijd nogal wat problemen geweest, en nog wel. Hoewel het in principe geen probleem mag geven, was de toeloop bij invoering van dit soort abonnementen zo groot, dat de aanbieders er door werden verrast. Een combinatie van fouten, mede als gevolg van de drukte en slecht management, gaf veel hinderlijke storingen en dus veel ergernis. In principe moet Internet-telefonie geen probleem zijn, zolang de transportcapaciteit van de netwerken ruim bemeten is. Iets wat door gebruik van de reeds genoemde glasvezels nu en in de nabije toekomst gegarandeerd zal zijn.

Vervolgens dringt zich de vraag op, of de glasvezel doorgetrokken zal worden, c.q. moet worden tot in de woning van de abonnee. In het voorgaande heb ik die vraag al bevestigend beantwoord. Laat ik beginnen met te zeggen, dat de standaarden hiervoor lang op zich hebben laten wachten [6,7]. Lange tijd was de aansluiting van de abonnee het stiefkind van de telecommunicatie-industrie. Men noemde het ook "the last mile". Pas toen tijdens de economische crisis van het begin van deze eeuw de omzetten in elkaar zakten, ontdekte men dit braakliggend terrein. De standaarden kwamen toen

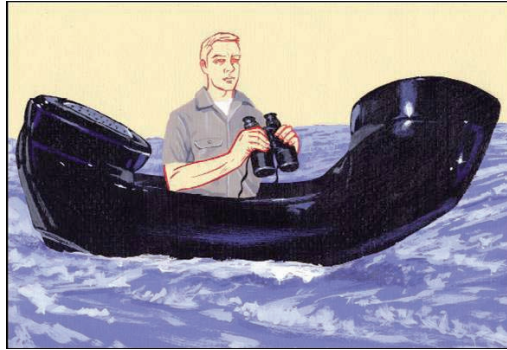
van de grond en de benaming werd omgedoopt in "the first mile", waarmee aangegeven werd, dat men eindelijk de abonnee als startpunt wilde zien van de communicatie en niet als eindpunt. Hoewel er nu voorzien wordt in glas naar de woning is de aangeboden capaciteit nog zeer beperkt, waardoor nauwelijks voordeel ontstaat, vergeleken met wat het bestaande kopernet kan bieden. De huidige standaarden voorzien nog slechts in het gebruik van één golflengte op de glasvezel en men noemt deze systemen PON's (passieve optische netwerken). Wij participeren in een landelijk samenwerkingsproject, gefinancierd vanuit de zogenaamde BSIK-gelden, dat beoogt om op flexibele wijze meerdere golflengten te implementeren, om zo de mogelijkheden van deze netwerken te vergroten. Bij gebruik van meerdere golflengten spreekt men van WDM-PON. Juist op "the first mile" blijft de concurrentie van het kopernet groot. In "IEEE Communications Magazine" van afgelopen juni presenteert Joseph Cioffi, een van de pioniers van ADSL, een artikel waarin hij CuPON introduceert, waarbij "Cu" staat voor koper [8]. In dat artikel betoogt hij, dat de capaciteit per abonnee van CuPON groter is dan die van PON. Dat vereist grote data-snelheden op de dikke bundels meeraderige kabels met de risico's van overspraak, waarover ik eerder uitvoerig vertelde. Het zal u niet verbazen, dat Cioffi hiervoor de oplossing vindt in de manier zoals ik die heb ontwikkeld en waarover ik eerder al sprak in dit betoog. Overigens geeft Cioffi wel een wat gekleurde stand van zaken weer. Hij vergelijkt namelijk zijn CuPON met de PON-standaard. Daarbij zit het koper aan zijn absolute maximum capaciteit, terwijl bij overgang van PON naar WDM-PON de glasvezel nog volop uitbreidingsmogelijkheden heeft. Ook steunt het CuPON-concept op de aanvoer van de signalen via glasvezel vanuit de wijkcentrale tot in de straat; pas daarna kan CuPON worden uitgerold over een afstand van maximaal 300 meter naar de woningen. In tegenstelling daarmee voorziet PON in signaaltransport via glasvezel vanuit de wijkcentrale over een afstand tot 20 km naar de woning. Dat maakt dat CuPON en PON eigenlijk niet met elkaar vergeleken kunnen worden.

### 3.2 De radionetwerken

Vergelijken we de vooruitgang op het gebied van de radiocommunicatie met die van het vaste net, dan zien we een soort pendule-beweging. In de jaren tachtig van de vorige eeuw stond het vaste net in de belangstelling wegens de spectaculaire vorderingen in de glasvezeltechnologie, terwijl de slinger richting radio bewoog in de negentiger jaren, vanwege de opkomst van GSM.

Hoewel mobiele telefonie al wat langer beschikbaar was op basis van analoge techniek, gaf de komst van GSM toch een doorbraak voor het groot-schalig gebruik, met extra faciliteiten zoals o.a. SMS en GPRS. Ten opzichte van de klassieke telefonie over het vaste net is mobiele telefonie in eerste instantie geen wezenlijke verandering ten aanzien van de basis-service, namelijk spraakcommunicatie over (grote) afstand. Echter, omdat "het snoertje" gemist kan worden, geeft het een enorme vergroting van de actieradius; je kunt overal bellen: op straat, in de winkel, restaurant, etc. Dat was de sleutel van het succes. De geweldige revenuen die de exploitatie van de GSM-netwerken genereerden, heeft menig operator overmoedig gemaakt. Men dacht het succes te kunnen uitbreiden naar een totaal andere service, namelijk die van de mobiele Internet-toegang door middel van UMTS. Ook de overheden dachten een graantje mee te pikken door via een veiling van de beschikbare frequenties flink wat geld uit de zakken te kloppen van de operators. Behalve dat mijns inziens de successen van GSM niet zo maar doorvertaald kunnen worden naar mobiel Internetten, vielen deze acties ook juist samen met de uiteenspatting van de "dot-com"-economie. Menig operator kwam aan de rand van de afgrond en de fraaie opbrengst die de overheid dacht te hebben van de veiling verdampte weer, doordat diezelfde overheid als grootaandeelhouder van de voormalige staats-"operator" de waarde van zijn aandelen evenredig zag dalen. Uiteraard kwamen ook de producenten van apparatuur in de problemen of gingen kopje onder.

Het mobiele, analoge netwerk werd het eerste generatie (1G) netwerk genoemd, GSM heet tweede generatie (2G) en UMTS derde generatie (3G). Reeds tijdens de ontwikkeling van UMTS werd al over een 4G-systeem gesproken, echter zonder dat daarbij duidelijk was wat 4G aan nieuws zou bieden ten opzichte van voorgaande systemen. Men spreekt over een netwerk van netwerken, dat als een soort universeel medium geschikt is voor elke willekeurige service. Nu een concrete invulling van dit concept alsmat op zich laat wachten, durven sommigen al niet meer over 4G te spreken en veegt men een nieuwe generatie gemakshalve onder de naam "next generation" (NG). De bekende grondlegger van de modemtechnologie, Robert Lucky, constateert in zijn column "Reflections" in IEEE Spectrum een fundamenteel gebrek aan visie waar het heen zou moeten gaan nu telefonie kennelijk niet meer de kurk is waarop de telecommunicatie drijft [9]. Hij spreekt spottend over "next next ... generation". Zo somber als Lucky ben ik niet, maar we zullen moeten accepteren, dat zeer fundamentele ontwikkelingen als glas-vezelcommunicatie en GSM zich uiterst zelden voordoen.



*Figuur 19: Nu telefonie niet langer meer de kurk is waarop de telecommunicatie drijft, is er nogal wat onzekerheid waar het heen zal gaan, volgens Lucky [9]*

De digitalisering waarover ik in het begin van mijn rede sprak, heeft lange tijd het analoge radio-bolwerk ontzien. Momenteel wordt ook dit laatste bolwerk gesloopt; ik doel op de oproepsignalen. Analoge TV-zenders zijn in ons land onlangs op zwart gezet en hoewel DAB ("digital audio broadcast") niet echt wil lukken, zal op termijn ook de analoge radio-omroepzenders dit lot beschoren zijn. De digitalisering van de communicatie is dan vrijwel compleet. Hierbij moet niet de verkeerde conclusie getrokken worden, dat kennis van analoge techniek niet meer nodig zou zijn. Ik merkte al eerder op, dat de natuur niet van scherpe overgangen houdt, en dat geldt ook hier. Dat wil zeggen, het transmissieproces zal altijd analoog verlopen en er zal dus ook altijd kennis nodig blijven van analoge signaaloverdracht en signaalbewerking.

De nieuwe digitale zendtechnieken moeten geschikt zijn voor zeer hoge data-snelheden. Immers, de abonnee wil steeds meer nieuwe services, die op hun beurt die hogere snelheden vereisen. Bovendien moeten die services via de radioweg gemakkelijk toegankelijk worden gemaakt. Twee technieken dienen zich hiertoe aan. De eerste is de zogenaamde gepulste "ultra wideband" (UWB) en de tweede is orthogonale frequentie-multiplexing (OFDM). Bij de eerste worden zeer korte pulsen verstuurd, die inherent een breed spectrum hebben. Voordeel van deze techniek is zijn relatieve eenvoud; nadeel is dat de controle over het uitgezonden spectrum nihil is, waardoor andere gebruikers kunnen worden gestoord. De tweede techniek leent zich beter om het spectrum zeer precies te beleggen en die belegging aan te passen aan de

behoefden en de momentane beschikbaarheid van spectrale ruimte en het stoonniveau in elk deel van het gebruikte spectrum. OFDM is dan ook een techniek die men momenteel terugvindt in vrijwel alle moderne transmissie-standaarden.

Inmiddels is er dan toch een nieuw concept ontwikkeld onder de formele naam IEEE802.16 [10], door enkele fabrikanten van producten die aan die standaard voldoen, aangeduid als WiMAX. Het is een standaard voor breedbandige, draadloze toegang en biedt ruime mogelijkheden tot invulling van het eerder genoemde systeem van de vierde generatie (4G). De standaard beslaat het frequentiegebied van 2 tot 66 GHz en kan worden toegepast zowel in de frequentiegebieden waarvoor een licentie vereist is, als voor gebieden waarvoor dat niet nodig is. Er worden verschillende technieken toegepast op de fysische laag; daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen de frequentiegebieden 2-11 GHz en 11-66 GHz; dit vanwege het verschil in propagatie-eigenschappen van radiogolven in die twee gebieden. Als transmissieformaten zijn ATM en Ethernet gespecificeerd, terwijl duplexing zowel in tijddomein als frequentiedomein kan plaatsvinden. En ook in deze standaard speelt OFDM weer een hoofdrol.

Gezien het grote frequentiedomein waarop de standaard is gedefinieerd, de variëteit aan transmissie-, toegangs- en duplextechnieken is het een soort universele standaard voor de toekomst. Overigens worden de specificaties steeds uitgebreid; zo werkt men momenteel aan toevoeging van mobiliteit voor gebruik in o.a. auto's en treinen.

De eerste toepassingen richten zich op vaste, breedbandige Internet-toegang, die snel kan worden opgezet, vooral als er geen vaste infrastructuur aanwezig is. Dit biedt vooral goede perspectieven in ontwikkelingslanden.

### 3.3 Microgolf-photonica

Microgolf photonica is het interdisciplinaire vakgebied dat de interactie tussen microgolven en optische signalen bestudeert en toepast. Het gaat dus om de ontwikkeling van breedbandige, optische componenten die werken bij micro- of millimetergolven en toepassing van deze componenten in microgolf- en optische systemen. Typische componenten zijn:

- halfgeleiderlasers;
- breedbandige fotodiodes;
- optische microgolfmodulatoren;
- fasedraaiers;

- “splitter/combiners”;
- vertragingslijnen;
- filters;
- mixers.

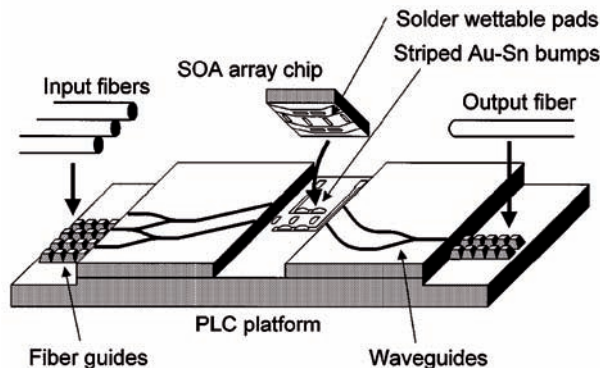
In het algemeen zal men een mengsel van dit soort componenten nodig hebben, om een systeem van te bouwen. Bij voorkeur worden die componenten in optisch geïntegreerde vorm gemaakt, zo mogelijk met meerdere tegelijk op een plak. Op die manier krijgen we een optisch geïntegreerd circuit, dat zoveel mogelijk signaalbewerkingen uitvoert in het optische domein.

De potentiële toepassingen zijn legio; te denken valt onder andere aan:

- Een verbinding waarbij een microgolfsignaal over grote afstand dient te worden overgebracht. Door het signaal te moduleren op een optische golf en die te transporteren over een glasvezel kan men gebruik maken van de zeer lage verliezen van de glasvezel. Transport via een koperkabel zal in het algemeen onaanvaardbare hoge verliezen met zich meebrengen, speciaal voor de hoge frequenties.
- Opwekken van zeer hoge frequenties, tot in het terahertz-gebied. Door twee optische bronnen die weinig in golflengte met elkaar verschillen in een detector te mengen, wordt de verschilfrequentie opgewekt. Een gering golflengteverschil geeft al een groot frequentieverschil. Door weer die golven te transporteren over een glasvezel, kan die hoge frequentie als het ware op afstand worden opgewekt.
- Frequentieconversie naar (zeer) hoge frequenties;
- Een voedingsnetwerk voor een stelsel van basisstations in een mobiel netwerk;
- Een voedingsnetwerk voor radio-toegangspoorten (“radio access points”) voor een WLAN-netwerk;
- Distributie van radiosignalen over glasvezel (“radio-over-fiber”);
- De reeds genoemde optische bundelvorming.

Deze manier van optische signaalbewerking heeft een aantal voordelen. De belangrijkste daarvan is wel de breedbandigheid. Als eenmaal het signaal in het optische domein is gebracht, kunnen de meeste signaalmanipulaties onbekommerd en zonder noemenswaardige bandbeperking worden uitgevoerd. Dit laatste natuurlijk uitgezonderd eventueel gewenste filtering. Een tweede voordeel is de combinatie met transport over relatief grote afstand met gering verlies, dankzij het gebruik van de glasvezel. Een derde voordeel is gelegen in het feit, dat meerdere componenten op één chip kunnen worden gecombineerd tot een systeem. Moeilijkheid daarbij kan zijn, dat niet alle componenten in eenzelfde materiaalsysteem kunnen worden geproduceerd. Zo is voor passieve componenten een op silicium gebaseerd

materiaal, zoals dat in de MESA+ “clean room” wordt verwerkt, wat verliezen betreft gunstiger dan de zogenaamde III-V-materialen, die tot op heden vereist zijn om actieve componenten in te produceren. In onze afdeling wordt op diverse plaatsen onderzoek gedaan aan actieve componenten op basis van silicium. Wellicht dus dat over enkele jaren passieve en actieve componenten in één materiaalsysteem kunnen worden gerealiseerd. Als dat silicium gebaseerd is, snijdt het mes aan meerdere kanten: lage optische verliezen en een combinatie van optische en elektronische componenten in één chip. Zolang dat nog niet het geval is, zullen verschillende technologieën op handige en vooral ook goedkope wijze moeten worden gecombineerd. Dit kan door middel van een zogenaamd “planar lightwave circuit” (PLC), een platform waarop zowel optische als elektronische componenten kunnen worden gemonteerd; zeg maar een soort optisch “printed circuit board” (PCB). Figuur 20 laat hiervan een voorbeeld zien. Het platform is in dit geval voorzien van een regelmatig nokjespatroon, en ook de componenten krijgen van die nokken. Daardoor zal bij plaatsing van die componenten deze vanzelf uitlijnen, om zo een efficiënte koppeling te krijgen van de optische golfgeleiders naar de componenten en vice versa.



Figuur 20: Voorbeeld van een PLC [11]

Mijn, sinds kort voormalige, leerstoel heeft sinds zo'n drie jaar het vakgebied microgolf-photonica tot het zijne gemaakt. Ik gaf u in het voorgaande daarvan reeds een voorbeeld toen ik sprak over optische bundelvorming [12]. Het vakgebied is nog vrij jong en biedt volop kansen voor interessant onderzoek in de beste traditie van ons land. Immers, van oudsher hebben

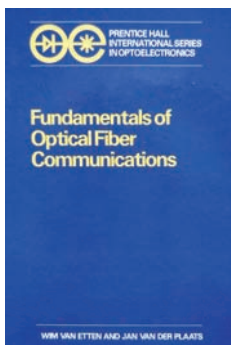
Nederlandse onderzoekers een belangrijke rol gespeeld bij de ontwikkeling van zowel de radiocommunicatie, als ook de optica. Vanuit de toepassingsgebieden is er grote belangstelling, wat ook moge blijken uit het feit, dat het een belangrijke plaats heeft gekregen binnen het SmartMix-project MEM-PHIS, dat onlangs is gehonoreerd en waarin naast een groot aantal bedrijven en instellingen ook de zojuist genoemde groepen waaronder Telecommunication Engineering deelnemen, naast nog een groep die is gespecialiseerd in micro-elektromechanische componenten. Dit smaldeel van groepen van de Universiteit Twente die in dit project samenwerken, zouden een prima kern kunnen vormen om het vakgebied van de microgolf-photonica te laten uitgroeien tot een “Center of Excellence” aan deze universiteit.

## 4. Onderwijs

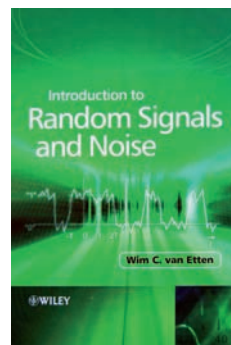
Ik heb vrij lang gesproken over onderzoek, en dat is ook wat zeker intern bij de universiteiten de meeste aandacht krijgt. Echter, het onderwijs is mijns inziens de “core business” van de universiteit. De afwisseling van onderwijs en onderzoek en vooral ook de onderlinge interactie heeft mij het meest geboeid gedurende mijn loopbaan. Via het onderwijs kwam ik toch weer terug bij mijn aanvankelijke ambitie, en zo was dan weer de cirkel rond. Binnen de telecommunicatie heb ik in de loop der jaren nogal wat vakken gedoceerd. Soms aan de hand van boeken, soms aan de hand van zelf

32

“Bouwen in de Woestijn”



(a)



(b)

Figuur 21: “Fundamentals of Optical Fiber Communications” (a); “Introduction to Random Signals and Noise” (b)



geschreven dictaten, omdat er naar mijn idee geen geschikt boek te vinden was. De dictaten heb ik steeds met grote zorgvuldigheid samengesteld en steeds verder geperfectioneerd. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in een tweetal boeken. Het eerste boek "Fundamentals of Optical Fiber Communications" [13] samen met Jan van der Plaats en het tweede boek "Introduction to Random Signals and Noise" [14] heb ik alleen geschreven.

De kritische houding die Jan van der Plaats mij heeft bijgebracht, heb ik zelf ook daarna steeds proberen over te brengen op mijn studenten. Doordat de moderne student meer doet met de computer en minder analytisch bezig is dan voorheen, is juist een grotere mate van kritische benadering van de simulatieresultaten noodzakelijk. Nog maar al te vaak legt een student een grafiek op mijn bureau, waarvan ik meteen zeg: "Dat kan niet". Waarop de student de handen in de lucht steekt en antwoordt: "Maar dit komt uit de computer". Er is dan een onvolledig model ingevoerd of simpelweg een verkeerde parameter. Eén van de belangrijkste taken van de huidige docent moet zijn om de studenten een kritische reflectie op de eigen resultaten bij te brengen.

Wat mij opvalt bij de huidige studentengeneratie is hun schijnbaar geringe interesse in wat ze zelf als studie gekozen hebben. Voor een belangrijk deel ligt dat volgens mij ook aan de universiteit zelf. Wij zouden onze studenten geen vakken moeten laten vullen of kranten laten rondbrengen om een centje bij te verdienen, maar wij zouden ze reeds in een vroeg stadium moeten betrekken en inzetten bij onderwijs en onderzoek. Dat zou op twee manieren kunnen. Door ze een parttime aanstelling te geven als student-assistent of door ze in kader van het studieprogramma als zodanig in te zetten, een soort interne stage dus. Zo maak je studenten van consument van onderwijs tot participant in het onderwijsproces. Geef de studenten hiervoor een financiële vergoeding, zodat ze geen vakken meer hoeven te vullen. Verder zou een verhoging van het studierendement kunnen worden behaald door de studenten minder studievrijheid te geven dan ze nu hebben. Regelmatig nemen studenten voor bijvoorbeeld een Bachelor-opdracht een jaar of meer de tijd, omdat ze intussen ook met vakken (vullen) bezig zijn. Daardoor is het lastig om die opdrachten onderdeel te laten uitmaken van een onderzoekprogramma, omdat dan de resultaten er niet tijdig zijn. We zouden een voorbeeld kunnen nemen aan het Belgische systeem, waar de studenten in een jaarprogramma worden geperst. We zien daar dan ook studierendementen in de masterfase die dicht tegen de honderd procent liggen. Hier zou men tegenin kunnen brengen, dat de vrijheid die onze studenten genieten hen tot meer zelfstandige mensen vormt. Ik mocht enkele

jaren geleden deel uitmaken van een commissie die de Vlaamse technische universiteiten beoordeelde. In dat kader hadden we ook gesprekken met afgestudeerden. Bij die gesprekken stelde ik dit nadrukkelijk aan de orde, waarop de afgestudeerden antwoordden, dat dit in eerste instantie door hen als een tekortkoming werd gezien van het Belgische systeem, maar dat dit zeer snel wordt ingehaald als ze eenmaal in het bedrijf werkzaam zijn.

De tijdbesteding van de wetenschappelijke staf kan efficiënter worden door AIO's meer structureel in te zetten bij het onderwijsproces. Nu is dat natuurlijk een moeilijke zaak, omdat vrijwel alle AIO's momenteel betaald worden uit extern verworven projectgelden, en waarvoor de universiteit wordt afgerekend. Maar de universiteit zou zelf zo'n één of twee AIO's per leerstoel kunnen aanstellen, die ingezet worden voor interessant, maar moeilijk extern financieerbaar onderzoek. Die AIO's zouden naast hun onderzoek een aanzienlijke, voornamelijk ondersteunende, onderwijstaak moeten krijgen, zoals produceren van presentaties, voorbereiden van demonstraties, maken van "hand-outs", geven van werkcolleges en opstellen en nakijken van examens. Dit alles natuurlijk onder toezicht en verantwoordelijkheid van een permanent staf lid. Omdat zo'n AIO veel tijd aan onderwijs moet besteden, bijvoorbeeld 30-50%, zal zijn aanstelling een wat langere periode moeten duren dan de 4 jaar van de reguliere AIO, laten we zeggen zo'n 6 jaar. Ik denk dat dit niet alleen veel werk uit handen kan nemen van de universitaire staf, maar ook een interessante ervaring kan zijn voor de betrokken AIO's. Zeker voor die AIO's die de ambitie en kwaliteiten hebben om een academische carrière te beginnen.

## 5. Beleid

Het beleid op gebied van wetenschappelijk onderwijs en onderzoek heeft twee componenten, een externe component gevormd door het overheidsbeleid en een interne component, de bestuursbeslissingen door CvB en faculteitsbestuur. Uiteraard worden de interne bestuursbesluiten voor een deel bepaald door het overheidsbeleid. Verder hebben we in de afdeling elektrotechniek te maken met dalende studentenaantallen, wat een negatieve invloed heeft op de financiering, met reorganisatie als gevolg. Het faculteitsbestuur zou zich moeten inspannen om meer studenten te trekken. Ik weet dat dit geen gemakkelijke zaak is. Ondanks grote woorden maar kleine daden (vooral vanuit de rijksoverheid) over internationalisering denk ik, dat we toch moeten beseffen, dat de regio het voornaamste recruiters-

gebied is. Reeds jaren geleden heb ik ervoor gepleit, dat de wetenschappers zelf naar de middelbare scholen gaan, om daar uit te dragen hoe leuk ons vakgebied is. Pas sinds vorig jaar is men dat UT-breed gaan organiseren.

Wat de interne organisatie betreft, heb ik hiervoor al iets gezegd over de onderwijs- en onderzoekondersteuning door studenten en AIO's. Verder zou de financiering minder gevoelig gemaakt moeten worden voor fluctuaties in de toewijzing. Ook daarbij helpt het hierboven beschreven model van deze ondersteuning. Dit moet dan natuurlijk gepaard gaan met een inkrimping van de vaste staf. Dit op zijn beurt zou gerealiseerd kunnen worden door het aantal leerstoelen te verminderen tot zo'n vier of vijf binnen de afdeling elektrotechniek. De afdeling/faculteit zou zich veel meer moeten concentreren op een beperkt aantal deelgebieden. Die deelgebieden zouden complementair moeten zijn aan wat er aan de andere technische universiteiten in Nederland gebeurt, af te stemmen dus in 3-TU-overleg. De specialisaties zouden in eerste instantie moeten samenvallen met reeds lopende activiteiten, maar niet al te sterk worden opgehangen aan een persoon, maar meer aan een team, waardoor meer continuïteit is gewaarborgd. Dan breekt er ook geen paniek uit als een toonaangevend persoon, door wat voor omstandigheden dan ook, niet langer verbonden is aan de UT.

Het regeringsbeleid met betrekking tot wetenschappelijk onderwijs en onderzoek kan ronduit als zwalkend worden betiteld. In de tachtiger jaren veranderde de studieduur van 5 jaar in 4 jaar, om zo'n 15 jaar later weer 5 jaar te worden. De bestuursstructuur veranderde van de almachtige decaan en CvB van vóór 1970, via overdreven democratie onder de zogenaamde WUB (Wet Universitaire Bestuurshervorming) tot de huidige wet op het hoger onderwijs. Dat betekent dat we weer terug zijn bij de situatie waarbij vrijwel alle macht ligt bij de decaan en het CvB. Ik heb de roerige WUB-jaren nog meegemaakt; het was allemaal wel spannend, maar verschrikkelijk inefficiënt. De huidige situatie is natuurlijk veel efficiënter, maar ook niet zaligmakend. "Wij beslissen over u, maar wel zonder u."; dat is ook niet goed. Iets meer inspraak, c.q. overleg over belangrijke beslissingen is wel gewenst. Kortom, ook hier verdient de middenweg de aanbeveling.

Ook het regeringsbeleid ten aanzien van de onderzoeksfinanciering vertoont weinig consistentie. Plaats voor vrij onderzoek is er niet, terwijl daar in beperkte mate wel ruimte voor zou moeten zijn. Die ruimte zou gecreëerd moeten worden door vergroting van de eerste geldstroom. Gandhi zei al: "Als je zorg draagt voor de middelen, zal het doel wel voor zichzelf zorgen". Verder kan de universiteit zelf hier ook wat doen, door middel van de 6-jarige AIO, die ik eerder in mijn betoog ten tonele voerde. Aan de andere kant

maakt de centrale overheid het de universiteiten ook erg moeilijk, omdat zij voor de meeste subsidies die zij voor onderzoek beschikbaar stelt, een zogenaamde "matching" vraagt; d.w.z. dat de universiteit zelf een deel van het onderzoek moet betalen uit de eerste geldstroom. Bij toekenning van een subsidie-aanvraag betekent dat dus een beperking van de financiële vrijheid voor de succesvolle universiteit. Zo neemt de centrale overheid de universiteiten in de houdgreep. Al jaren klinkt de roep om deze "matching" af te schaffen. Onze nieuwe minister van O&O maakt zich in dit opzicht schuldig aan optisch bedrog. Hij stelt 150 miljoen extra beschikbaar voor toptalent, waarbij de "matching" wordt afgeschaft. Echter, van die 150 miljoen is slechts 50 miljoen nieuw geld. Ruim 100 miljoen haalt hij eerst weg bij de eerste-geldstroomtoewijzing aan de universiteiten. Je zou dus kunnen zeggen, dat de universiteiten nu 67% matchen, waar dat voorheen slechts 33% was. Dat is niet één sigaar uit eigen doos, maar twee. Toen deze nieuwe minister aantrad, waren de verwachtingen hoog gespannen. Immers, we zouden eindelijk iemand krijgen die de universiteiten van binnenuit kent, en dus maatregelen zou nemen die bij de universiteiten in goede aarde zouden vallen. Ik denk dat het wat tegenvalt. Het beleid van de nieuwe minister wordt erg bepaald door zijn eigen ervaringen, en die zijn natuurlijk beperkt. Vanuit die ervaring en daarmee gepaard gaande opvattingen over financiering was één van zijn eerste beslissingen het SmartMix-programma niet te continueren. Het vorige kabinet had na langdurig beraad besloten de universitaire wereld jaarlijks een forse injectie voor onderzoek te geven. Daartoe moesten grote consortia worden gevormd, waarin er intensief zou worden samengewerkt met bedrijven. In 2006 is de eerste aanvraagronde gestart en vorige maand zijn in die ronde 7 projecten gehonoreerd, op zeer uiteenlopende gebieden, alle van groot maatschappelijk belang. De totale subsidie voor deze eerste, en dus tevens laatste, ronde bedraagt ca. 100 miljoen. Nog voor er ook maar een cent is uitgegeven, wordt dit programma al weer gestopt. Gelukkig ook voor de leerstoel Telecommunication Engineering kan de aanvraag 2006 wel worden uitgevoerd, en krijgen we de komende vijf jaar een mooie subsidie om de microgolf-photonica weer een flinke stoot voorwaarts te geven.

## 6. Besluit

Het is met weemoed dat ik afscheid neem van het ambt van hoogleraar. In mijn beleving is hoogleraar de mooiste functie die er bestaat. In ieder geval heb ik er veel plezier aan beleefd. Dat plezier bestond uit een tweetal

aspecten. Het wetenschappelijk speur- en denkwerk gaf mij veel genoeg, maar niet minder nog de dagelijkse contacten met medewerkers en studenten.

Ik ben de Universiteit Twente dank verschuldigd voor het feit, dat zij mij de gelegenheid heeft gegeven om een aantal jaren mijn hobby als beroep uit te oefenen. Meer kan een mens van zijn beroep niet verwachten, maar het is prachtig als je dat ultieme ook kunt halen.

De karavaan trekt voort, en zoals gewoonlijk in zo'n situatie blaffen de honden. In de woestijn die ik aantrof bij mijn komst is nu een oase gebouwd, waar het goed toeven is voor de resterende staf van de Telecommunication Engineering groep en hij verder kan werken aan de verdere uitbouw van dit prachtige vakgebied. Ik wens Frank Leferink, Chris Roeloffzen en Arjan Meijerink daar veel succes mee en heb er alle vertrouwen in, dat verdere successen niet zullen uitblijven; in feite zijn die er nu al, mede dank zij hun inzet. Mensen, bedankt voor jullie grote steun en inzet om de groep te maken tot wat ze nu is. Ik heb altijd een goede sfeer in de groep uitermate belangrijk gevonden om goed te kunnen werken en presteren. Het deed mij steeds plezier, dat jullie die visie onderschreven en in feite in dat opzicht uit hetzelfde hout zijn gesneden. Houdt dat vast in de toekomst, want een goede sfeer en plezier in je werk zijn de basisingrediënten voor goede samenwerking en uiteindelijk voor succes, naast de noodzakelijke persoonlijke voldoening.

Behalve de stafleden wil ik nadrukkelijk ook de administratieve en technische ondersteuning noemen. Annemiek Janssen die mij steeds veel werk uit handen nam, doordat ze initiatief neemt en vooruitdenkt en vaak al dingen heeft gedaan als ik meen haar eraan te moeten herinneren. Eduard Bos, die op alle technische gebieden ondersteuning biedt en vele praktische, alledaagse problemen oplost. En verder natuurlijk de AIO's: David, Rajeev, Leimeng en Anne. Ik zal jullie werk nog blijven volgen en voor de eerste drie zal ik nog als promotor optreden. Verder ben ik altijd voor de hele groep beschikbaar, om indien daartoe de behoefte bestaat, te adviseren.

Voorts dank ik het muzikaal ensemble "oTTeTTto" voor de muzikale bijdrage aan deze plechtigheid. Hun inbreng is een persoonlijke keuze geweest, die een tweeledige achtergrond heeft. Ten eerste, zien en vooral horen wij met groot genoegen diverse leden van dit ensemble regelmatig optreden in voornamelijk het muziekcentrum in Enschede. Ten tweede, was ik voor één van de leden, namelijk Daphne Wassink, betrokken bij de afronding van haar Bachelor-studie in de afdeling Elektrotechniek.

Aan het begin van deze rede vertelde ik u, dat omwille van onze kinderen mijn komst naar Twente wat werd uitgesteld. Van uitstel kwam echter

geen afstel. De cirkel gaat zich nu sluiten, binnen een jaar hopen Kitty en ik terug te keren naar het Zuiden, om wat dichterbij de kinderen en familie te gaan wonen. Een bezoek aan hen moest vaak wat worden uitgesteld. Sascha en Bert, Björn en Esther, ook nu is er geen afstel. De vrije tijd die ik krijg en onze terugkeer naar het Zuiden stelt ons in staat om wat vaker bij jullie te zijn. De prachtige kleinkinderen Anne, Emmy, Lise en Suze, zullen daarbij ook een behoorlijke magneetwerking hebben.

Tenslotte rest mij nog één persoon te bedanken. Lieve Kitty, ik kan kort zijn. Alles wat ik namelijk tegen of over jou kan zeggen, schiet schromelijk tekort bij wat ik zou willen zeggen. Immers, de taal van het hart kan niet altijd door de mond worden gesproken en laat zich slechts verstaan door een ander hart dat gelijkgestemd is.

Beste mensen, ik dank u allen hartelijk, dat u door uw aanwezigheid luister heeft willen bijzetten aan deze plechtigheid.

Voor u staat een gelukkig mens.

Ik heb gezegd.

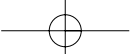
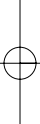
## Referenties

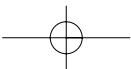
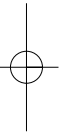
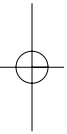
- [1] W. van Etten,  
"An Optimum Linear Receiver for Multiple Channel Digital Transmission Systems",  
*IEEE Transactions on Communications*, Vol. COM-23, August 1975,  
pp. 828-834.
- [2] W. van Etten,  
"Maximum Likelihood Receiver for Multiple Channel Transmission Systems",  
*IEEE Transactions on Communications*, Vol. COM-24, February 1976,  
pp. 276-283.
- [3] W. Tranter, D. Taylor, R. Ziemer, N. Maxemchuk and J. Mark, editors,  
*The Best of The Best: Fifty Years of Communications and Networking Research*,  
IEEE Press/Wiley, 2007.
- [4] W. van Etten, W. Lambo and P. Simons,  
"Loss in Multimode Fiber Connections with a Gap",  
*Applied Optics*, Vol. 24, No. 7, 1985, pp. 970-976.
- [5] W. van Etten,  
"Stabilization of Coherence Multiplex Output by Applying the Phase Diversity Scheme",  
*Journal of Optical Communications*, Vol. 27, No. 5, 2006, pp. 282-286.
- [6] ITU-T Rec. G. 984.1,  
*Gigabit-Capable Passive Optical Networks (GPON): General Characteristics*,  
ITU-T, March 2003.
- [7] IEEE Std. 802.3ah-2004,  
*IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements*  
Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications  
*Amendment: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks*,  
IEEE, September 2004.
- [8] J. Cioffi, S. Jagannathan, M. Mohseni and G. Ginis,  
"CuPON: The Copper Alternative to PON 100 Gb/s DSL Networks",  
*IEEE Communications Magazine*, Vol. 45, no. 6, June 2007, pp. 132-139.
- [9] R. Lucky,  
"Where is the vision for Telecom?",  
*IEEE Spectrum*, Vol. 41, no. 5, May 2005, p. 52.
- [10] IEEE Std 802.16-2001,  
*IEEE Standard for Local and metropolitan area networks*  
Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems,  
IEEE, April 2002.

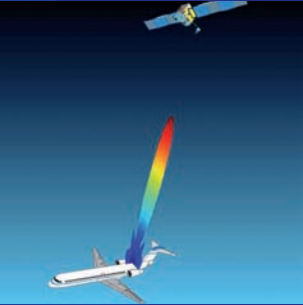
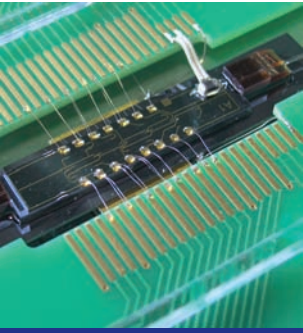
- [11] S. Nakamura, Y. Ueno, K. Tajima, J. Sasaki, T. Sugimoto, T. Kato, T. Shimoda, M. Itoh, H. Hatakeyama, T. Tamanuki, and T. Sasaki, "Demultiplexing of 168-Gb/s data pulses with a hybrid-integrated symmetric Mach-Zehnder all-optical switch", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 12, no. 4, 2000, pp. 425-427.
- [12] L. Zhuang, C. Roeloffzen, R. Heideman, A. Borreman, A. Meijerink and W. van Etten, "Single-Chip Ring Resonator-Based 1x8 Optical Beam Forming Network in CMOS-Compatible Waveguide Technology", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 19, no. 15, 2007, pp. 1130-1132.
- [13] W. van Etten and J. van der Plaats, *Fundamentals of Optical Fiber Communications*, Prentice-Hall, 1991.
- [14] W. van Etten, *Introduction to Random Signals and Noise*, Wiley, 2005.











**Universiteit Twente**  
*de ondernemende universiteit*