

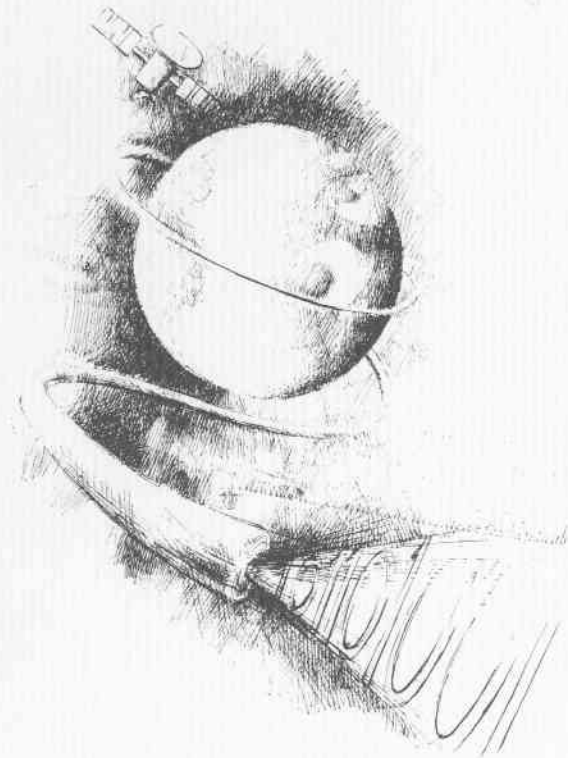
Universiteit Twente

universiteit voor technische en
maatschappijwetenschappen



Faculteit der Elektrotechniek

WEG VAN DE SNELWEG?



Dr. ir. W. van Etten

WEG VAN DE SNELWEG?

Rede

uitgesproken bij de aanvaarding van
het ambt van hoogleraar
in de Signaaloverdracht

aan de Universiteit Twente te Enschede
op donderdag 20 april 1995

door

Dr. ir. W. van Etten

Mijnheer de Rector Magnificus,

Dames en Heren.

Intreerendes worden geacht een zodanig hoog wijsheidsgehalte te bevatten, dat van heinde en verre de vakgenoten, alsook familie, vrienden en kennissen van de rector toestromen om het orakel te aanhoren. De spreker krijgt de kans om voor dit geschakeerde publiek een exposé te geven van zijn vakgebied en dat vakgebied te plaatsen in het perspectief van de historie en de toekomst. Deze opgave stelt hem echter voor een dilemma. Tot welke categorie zal hij zich richten? De vakgenoten met een grondige kennis van zaken, of de familie, vrienden en kennissen, die in het algemeen minder verstand van zaken hebben en die ik voor deze gelegenheid gemakshalve maar zal aanduiden met leken. Als ervaren docent weet ik, dat je niet de hoofdaandacht moet richten op de slimste of meest ontwikkelde studenten in de collegezaal, maar dat de overigen de docent het meest van node hebben. Ik heb dus besloten me hoofdzakelijk te richten tot de leken. Als de deskundigen tussen het geserveerde een kluitje van hun gading vinden, is dat meegenomen.

Inleiding

Als ik zeg dat mijn leeropdracht luidt "Signaaloverdracht", dan zullen noch de leken, noch de deskundigen dit precies kunnen duiden, denk ik. Om de nevel enigszins te doen optrekken, kan ik u zeggen, dat het te maken heeft met *telecommunicatie*, zoals uit de definitie van dit woord blijkt:

"Telecommunicatie is elke overdracht en/of uitzending en ontvangst van signalen, voorstellende tekens, geschrift, beelden en geluid of intelligentie van enige soort, door middel van draden, radio, optische of andere electromagnetische systemen."

[1].

Hieruit blijkt dat *signaaloverdracht* het wezenlijke element is van de telecommunicatie. Mijn verdere betoog zal dan ook gaan over dat algemenere begrip telecommunicatie. Dit is dus communicatie over (grote) afstand. Immers, het

voorvoegsel “tele-”, dat uit het Grieks stamt, betekent “ver”. Willen we begrijpen wat telecommunicatie is, dan zullen we eerst na moeten denken over wat *communicatie* is.

Het begrip “Communicatie”

Het woord communicatie heeft een zeer ruime betekenis en omvat alle manieren die men kan aanwenden om iemand anders te beïnvloeden. Deze definitie omvat dus niet alleen gesproken of geschreven tekst, maar ook bijvoorbeeld televisie, muziek, beeldende kunst, theater en in feite een belangrijk deel van alle menselijk gedrag. Soms is het zelfs wenselijk om nog verder te gaan en de manieren door middel waarvan machines elkaar kunnen beïnvloeden ook communicatie te noemen [2].

Met betrekking tot deze brede betekenis van het begrip communicatie, treden er drie soorten problemen op. Achtereenvolgens kunnen we ons afvragen:

- Hoe nauwkeurig kunnen de communicatiesymbolen overgezonden worden?
Dit is het technische probleem.
- Hoe precies komt de reeks van overgezonden symbolen overeen met de bedoeling?
Het semantische probleem.
- Hoe effectief beïnvloedt het ontvangen bericht de ontvanger overeenkomstig de bedoeling?
Het effectiviteits-probleem.

De technische problemen hebben betrekking op de nauwkeurigheid bij transmissie van symbolen (bijv. de letters uit een alfabet), of een continu variërend signaal (bijv. bij telefonie) van zender naar ontvanger.

De semantische problemen hebben betrekking op de interpretatie van het ontvangen bericht en in hoeverre dit een juiste of benaderde afspiegeling is van wat de zender bedoelde mede te delen. Deze problemen zijn zeer ingewikkeld, zelfs in het betrekkelijk eenvoudige geval van communicatie door middel van spraak. Als in deze situatie de zender de indruk heeft, dat hij niet goed is begrepen, kan hij de moeilijkheden reduceren (maar meestal niet volledig uit de weg ruimen) door navraag te doen bij de ontvanger hoe hij het bericht heeft begrepen.

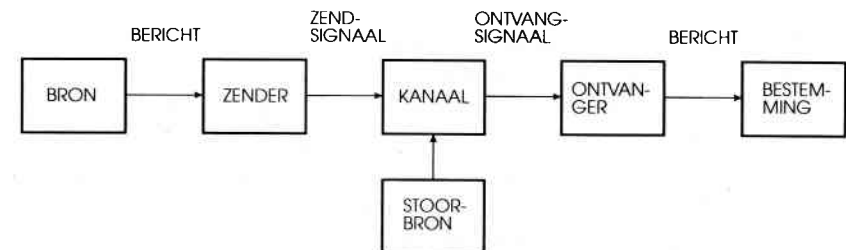
De effectiviteitsproblemen hebben betrekking op het succes dat de zender boekt

met de beoogde beïnvloeding van het gedrag van de ontvanger. Deze vragen bevatten daarom ook belangrijke ethische elementen. Denk bijvoorbeeld aan de psychologische en emotionele aspecten van de reclame en de propaganda. Het effectiviteitsprobleem heeft een nauwe samenhang met het semantische probleem en in zekere zin treedt er overlapping op.

Hoewel de semantische vraagstukken (bijvoorbeeld taalkundig gezien) en de effectiviteitsvraagstukken (bijvoorbeeld psychologisch gezien) bijzonder interessant kunnen zijn, zullen we ons verder uitsluitend bezighouden met de technische problemen. De ingenieur kan door de produkten van zijn werk op dit niveau de reikwijdte en het werkgebied van de communicatie op de beide andere niveaus vergroten.

Een communicatiesysteem en de problemen die zich daarbij voordoen

Een communicatiesysteem kan, voor wat betreft de signaaloverdracht, in zijn eenvoudigste vorm symbolisch worden weergegeven als in Figuur 1. De informatiebron kiest een gewenst bericht uit een verzameling mogelijke berichten. Het gekozen bericht kan bestaan uit geschreven of gesproken woord, beelden, muziek, enz. De zender zet dit bericht om in het signaal; dit signaal wordt in feite over het communicatiekanaal gezonden vanuit de zender naar de ontvanger. De ontvanger voert de inverse bewerking van de zender uit; het binnenkomende signaal wordt weer omgezet in een bericht, dat doorgegeven wordt aan de bestemming.



Figuur 1: Schema van een communicatiesysteem

Bij spraak bestaat de informatiebron uit de hersenen van de spreker, de zender wordt gevormd door zijn stembanden en mondholte, die de variërende geluidsdruk (het signaal) produceren; deze geluidsdruk plant zich voort door de lucht (het kanaal), het oor van de toehoorder is de ontvanger. In het geval van telefonie bestaat het kanaal in veel gevallen uit een draad en het signaal uit een variërende elektrische stroom door deze draad; de zender is de microfoon, die de geluidsdruk van de stem omzet in de variërende elektrische stroom. Bij radio vormt de vrije ruimte het kanaal en het signaal is de elektromagnetische golf die door de antenne wordt uitgestraald. Bij gegevensuitwisseling tussen computers zet de zender karakters om in stromen die worden in- of uitgeschakeld, bits genaamd.

Tijdens het transmissieproces worden er aan het signaal bepaalde componenten toegevoegd, die door de informatiebron niet bedoeld waren. Deze ongewenste toevoegingen kunnen zijn: vervorming van geluid (bij telefonie), vervorming of schaduwwerking van beelden (bij televisie), enz. Al deze veranderingen in het overgezonden signaal worden storing genoemd.

De vragen die bij zo'n communicatiesysteem naar voren komen, zijn:

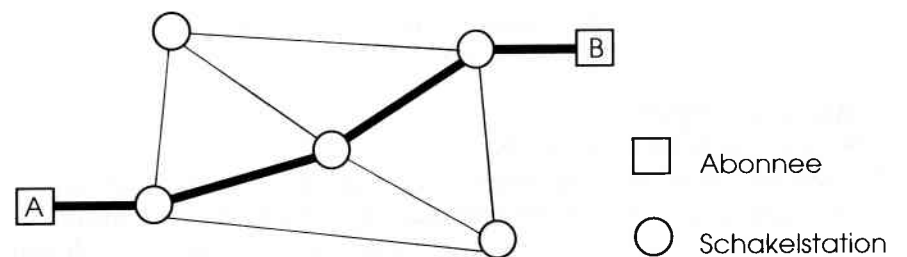
- Hoe geeft men hoeveelheid *informatie* aan?
- Hoe geeft men de *capaciteit* van een communicatiekanaal aan?
- De zender bevat soms een *coderings*proces. Wat is karakteristiek voor een efficiënt coderingsproces?
- Wat is karakteristiek voor de *storing*?
- Hoe beïnvloedt de storing de *nauwkeurigheid* waarmee het bericht uiteindelijk zijn bestemming bereikt?
- Hoe kunnen de ongewenste effecten van de *storing* *geminimaliseerd* en in hoeverre kunnen ze *geëlimineerd* worden?
- In hoeverre beïnvloedt het feit dat het signaal *continu* is (spraak of muziek) of uit *discrete* symbolen bestaat (geschreven tekst, datacommunicatie, enz.) de problemen?

Het schema van Figuur 1 bevat slechts één zender en één ontvanger. De meeste telecommunicatiestelsels bestaan uit een samenstel van een groot aantal van deze zenders en ontvangers. Veelal kan in zo'n systeem een willekeurige zender verbonden worden met elke willekeurige ontvanger. Hiervoor zijn dan in het algemeen ook nog schakelstations nodig, alwaar de gewenste verbindingen tot stand worden gebracht. Dit geheel van zenders, transmissiekanalen, ontvangers en schakelstations heet een *telecommunicatienet* (zie Figuur 2).

Op basis van het voorgaande kan de telecommunicatietechniek onderverdeeld worden in vijf belangrijke gebieden:

- de netwerkstructuren met bijbehorende protocollen;
- de transmissiemedia;
- signaalbewerkingen;
- de onderdelen, die deze signaalbewerkingen uitvoeren;
- de hieraan ten grondslag liggende fysica.

Het is belangrijk zich te realiseren, dat ontwikkelingen binnen alle vijf deze gebieden elkaar onderling beïnvloeden. Zo is de stoot voor de ontwikkeling van een nieuw onderdeel vaak gegeven door nieuwe signaalverwerkingsprocessen, of door een nieuwe technologie ontwikkeld binnen de fysica.

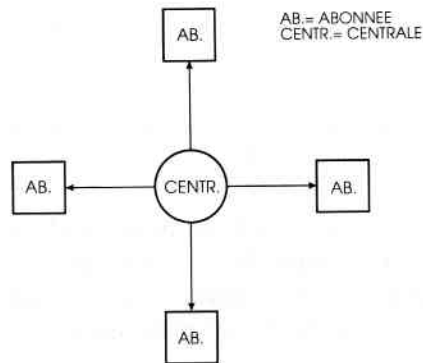


Figuur 2: Een communicatienetwerk met een verbinding tussen A en B

De vier basispatronen van communicatie

Zoals reeds eerder is gesteld, geeft het communicatiemodel dat in Figuur 1 gepresenteerd werd, slechts de eenvoudigste vorm weer, nl. één zender en één ontvanger. Bij de omschrijving van het begrip communicatie is echter gesproken over elkaar beïnvloeden. Dit veronderstelt meerdere deelnemers aan het communicatieproces. Het is belangrijk om daarbij vast te stellen, dat daarin niet altijd alle partners gelijkwaardig zijn, maar in bepaalde situaties één of meerdere deelnemers meer invloed hebben dan andere; soms hebben bepaalde partners een te verwaarlozen invloed, zoals uit het volgende zal blijken.

In het communicatieproces kan men een viertal grondpatronen onderkennen [3].



Figuur 3: Communicatiepatroon voor allocutie

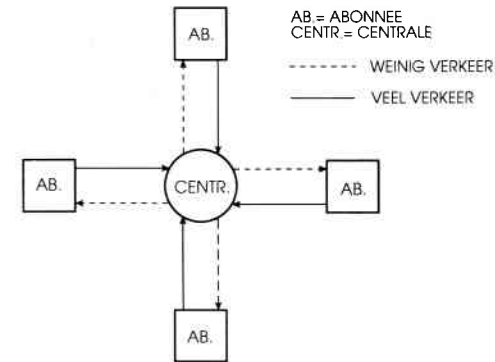
1. Allocutie (Figuur 3).

“Dames en heren, nu zal tot u spreken...”

Uit deze mededeling wordt het patroon meteen duidelijk. Er is kennelijk een gehoor en een spreker. Het gehoor wordt geacht zich in stilzwijgen te hullen, ten einde de spreker de gelegenheid te geven zijn wijsheid, c.q. visie over te dragen op het gehoor. De inhoud van het gesprokene wordt bepaald door de spreker, evenals het tempo waarin de informatie wordt aangeboden. Het gehoor heeft in die situatie daar in het algemeen geen enkele invloed op. Het is een eenzijdig patroon, waarbij de informatie slechts één richting op gaat. Doet deze situatie zich voor op een bijeenkomst, dan zou een vermetele toehoorder nog kunnen proberen weerwoord te geven. Bekijken we echter een andere uitingsvorm van allocutie, nl. de radio- en TV-omroep, dan is dit volstrekt uitgesloten. De omroepvereniging bepaalt wat er wanneer uitgezonden wordt. De luisteraar of kijker kan het aanbod tot zich nemen, of besluiten de knop om te draaien; enige vorm van invloed heeft hij niet.

Allocutie is in wezen zeer ondemocratisch, wat schrijnend duidelijk wordt in situaties waar de overheid de omroep volledig in handen heeft. Dit doet zich met name voor in totalitaire staten, waar het volk langs die weg wordt geïndoctrineerd. In zijn intrede in 1965 duidde de eerste hoogleraar waarvoor ik mocht werken, wijlen prof. Zaalberg van Zelst, hoogleraar elektronica, reeds op dit gevaar: “... daarnaast openen de elektronische communicatiemiddelen de slinkse weg van de vergiftiging van de opinie onder het mom van de heilige. Deze communicatiemiddelen, in het bijzonder die met éénrichtingsverkeer, zijn gevaarlijke machtsmiddelen geworden en het geniepig element in de electronica schuilt dan ook

vooral in de telecommunicatie-sector.” [4]



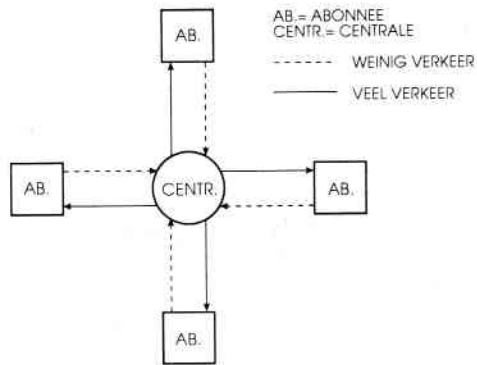
Figuur 4: Communicatiepatroon voor registratie

2. Registratie (Figuur 4)

Bij registratie wordt centraal de mening gepeild van een aantal leden van een groep, bijv. een stemming tijdens een vergadering. Het patroon bestaat nu dus hieruit, dat op initiatief van een centrale regie de leden van de groep hun mening geven over het gevraagde onderwerp. Er gaat dus in het algemeen slechts een soort korte vraag naar de leden, waarna die (al dan niet een wat uitgebreidere) informatie verstrekken aan het registratiepunt. Andere voorbeelden zijn: enquête, referendum, etc. Hoewel deze vorm van communicatie wat minder gevaar voor willekeur in zich schijnt te dragen, is ook hier zeker voorzichtigheid geboden. Immers, het centrale punt bepaalt het tijdstip en de aard van de informatie waarnaar wordt gevraagd. Bovendien, wat wordt er met de verzamelde informatie gedaan? De informatieverzamelaar krijgt de beschikking over veel gegevens, waarop verder geen controle meer mogelijk is. Onder het motto “kennis is macht” kan ook hier misbruik gemaakt worden van de kennis door degene die het registratiepunt beheer(s)t. Niet voor niets is er in ons land jarenlang een discussie gevoerd over de wet op de persoonsregistratie; een democratie behoort het individu ook in dit opzicht te beschermen tegen willekeur.

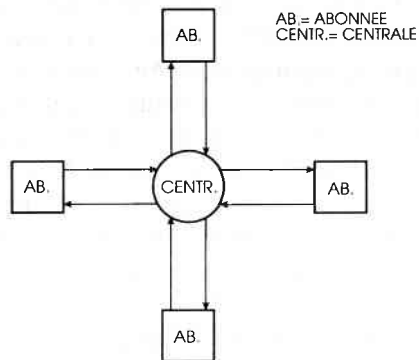
3. Consultatie (Figuur 5)

Men spreekt van consultatie als een ontvanger een actieve rol gaat spelen in het tijdstip en de aard van de informatie die hij wenst te ontvangen. Veelal informatie die is opgeslagen in databanken. Hoewel dus de ontvanger geen invloed heeft op



Figuur 5: Communicatiepatroon voor consultatie

de informatie zoals die is opgeslagen in het centrale geheugen, kan hij wel het tijdstip bepalen waarop hij die informatie tot zich wil nemen en kan hij ook selecteren uit het aanbod. Het initiatief ligt nu duidelijk bij de “consument” van de informatie. Voorbeelden van dit communicatiepatroon zijn: het boek, encyclopedie, teletekst.



Figuur 6: Communicatiepatroon voor conversatie

4. Conversatie (Figuur 6)

In vergelijking met allocutie staat conversatie aan de andere kant van het spectrum, d.w.z. het is de meest democratische communicatievorm. Als meest sprekende voorbeeld kunnen we noemen de telefonie. De deelnemers aan het commu-

nicatieproces zijn daarin volkomen gelijkwaardig. Men kan de ander onderbreken, of zelfs door elkaar heen praten. Er bestaat dus de maximale mogelijkheid om elkaar te beïnvloeden. De ultieme vorm dus van communicatie volgens onze definitie zoals die eerder is gegeven.

De vier patronen zoals die hier zijn geschetst, vormen de grondpatronen. Vooral in een modern telecommunicatienetwerk zijn al die patronen aanwezig, zij het de één in sterkere mate dan de ander, en soms in een mengvorm. De vier patronen vormen dan de bouwstenen voor de complexere communicatieprocessen die zich in zo'n netwerk afspelen.

De historische ontwikkeling van de communicatietechnologie

De ontwikkeling van de communicatietechnologie heeft vrijwel gelijke tred gehouden met de ontwikkeling van de elektrotechniek als geheel. Bijna alle fundamentele uitvindingen op het gebied van de elektrotechniek hebben vrijwel direct een toepassing gevonden in de communicatie.

De geschiedenis van de elektronische communicatie begint in 1729, als Stephen Gray, een 63-jarige gepensioneerde, ontdekt dat kleine stukjes materiaal worden aangetrokken door het uiteinde van een ca. honderd meter lang, vochtig touw, als het andere eind van dat touw in aanraking wordt gebracht met een glazen staaf die door wrijven elektrostatich is gemaakt. Hij concludeerde dat de elektrische ladingsinvloed getransporteerd werd door het touw. Bovendien stelde hij vast, dat deze transmissie plaatsvond als hij het touw ophing aan droge, zijden draadjes, maar niet bij ophangen aan koperdraadjes. Dit was in feite de eerste vaststelling van het onderscheid tussen elektrische geleiders en isolatoren.

In het “Scots Magazine” verscheen 24 jaar later (17 februari 1753) een voorstel om op basis van de bevindingen van Gray een communicatiesysteem te maken. Hiertoe werden 26 draden parallel gespannen, ondersteund door glazen isolatoren. Elke draad correspondeerde met een letter uit het alfabet. Er kon een tekst worden verzonden door met een elektrisch geladen voorwerp (bijv. een glazen staaf) in de juiste volgorde de uiteinden van de draden aan te raken. Aan het andere uiteinde kon men bijv. strookjes papier naar de uiteinden van de verschillende draden zien

springen en zo de tekst aflezen. Tussen 1770 en 1830 werden in verschillende delen van de wereld elektrostatische telegraafsystemen geconstrueerd, met lengtes van enkele kilometers. Geen van die systemen bleek een praktisch succes te zijn, hoewel men kan zeggen, dat ze in ieder geval interesse wekten in het concept van de transmissielijn.

De ontwikkeling van de batterij door Volta in 1800 en de ontdekking van het magnetisch effect van een stroom in 1820 door Oersted, resulteerde in de experimentele magnetische telegrafen van Gauss, Henry en anderen in de jaren rond 1830. Deze systemen werden gevolgd door de eerste commerciële elektromagnetische telegrafen van Wheatstone en Cook in Engeland in 1839 en Morse in Amerika in 1844. In beide gevallen werden eerst door isolatiemateriaal ingekapselde ijzerdraden getest, echter met slecht resultaat en spoedig ging men over op open draden die opgehangen werden aan palen of bomen. Rond 1850 waren er duizenden kilometers tamelijk primitieve telegraaflijnen in gebruik, zowel in de VS als in Europa. Het ontwerp en de constructie werden zuiver experimenteel bepaald. Er bestonden geen meetinstrumenten en de meeste elektrotechnici, voor zover men daarvan kon spreken in die tijd, kenden zelfs de wet van Ohm nog niet. Bij toename van het aantal telegraaflijnen over land ontstond de behoefte aan onderwaterkabels, om rivieren, kanalen, meren e.d. te kunnen passeren. Ondanks het feit dat de toenmalige isolatiematerialen daar eigenlijk niet erg geschikt voor waren, werd in 1851 met succes een kabel onder het Kanaal gelegd en na een jaar of drie werden onderwaterkabels tot wel 500 kilometer lengte in diverse delen van Europa geïnstalleerd. Bij het gebruik van deze lange telegraafverbindingen trad een nieuw verschijnsel aan het licht, dat van de signaalvorming. De ontvangen signalen, die werden geregistreerd in de vorm van pennesporen op stroken papier, verloren hun duidelijk rechthoekig karakter dat men gewend was van de lijnen over land, en werden vage, zwakke golvingen.

Speculanten waren gefascineerd door het vooruitzicht, dat een transatlantische onderzeekabel voor het eerst directe communicatie tussen Europa en Amerika mogelijk zou maken. Ze aarzelden echter het risico te nemen om een grote hoeveelheid geld te steken in een onderzeekabel over een traject dat vele malen langer was dan de langste tot dan toe, zonder de zekerheid te hebben, dat de signalen ook herkenbaar over zouden komen. Zij wendden zich voor advies tot William Thomson, professor aan de Universiteit van Edinburgh. Waarschijnlijk was dit de eerste keer, dat een professioneel beroepsbeoefenaar geconsulteerd werd voor een commercieel, elektrotechnisch project. Een tweede constatering kan zijn, dat er toen ook al sprake was van een ondernemende universiteit. In 1855 maakte Thomson, de latere Lord Kelvin, de eerste theoretische analyse van een trans-

missielijn. Thomson leverde aan het project ook nog enkele praktische bijdragen, door een gevoeliger testinstrument te ontwikkelen en aan te geven hoe men koper kon fabriceren met een veel lagere weerstand dan tot dan toe mogelijk was. In 1858 werd een kabel overeenkomstig de specificaties van Thomson over de Atlantische Oceaan gelegd. Deze eerste transatlantische kabel bracht gedurende enkele weken berichten over, waarna de isolatie het begaf. Verdere initiatieven voor een transatlantisch kabelproject werden vertraagd door de burgeroorlog in de VS, maar in de tien jaar na 1866 werden er verschillende kabels gelegd, waarvan er enkele tot ver na de tweede wereldoorlog hebben gefunctioneerd.

De uitvinding van de telefoon in 1876 bracht nieuwe complicaties aan het licht met betrekking tot het gebruik van transmissielijnen voor communicatiedoeleinden. De frequenties om spraak over te brengen, liggen honderden malen hoger dan die voor telegrafie. Interlokale telefonie via telegraaflijnen werd bemoeilijkt door het zwakke en slecht verstaanbare signaal. De lijnen bestonden uit enkelvoudige ijzerdraden met de aarde als retour-circuit. In de daaropvolgende veertig jaar kwam er langzaam verbetering in de kwaliteit van de telefonie over lange afstand, door een combinatie van theoretische studies en experimentele ontdekkingen.

De man die voornamelijk verantwoordelijk was voor een nieuwe en completere, wiskundige analyse van de signaaloverdracht via transmissielijnen was Oliver Heaviside, een van de meest onconventionele en tegelijkertijd een van de productiefste, wiskundig-georiënteerde ingenieurs aller tijden. Na een paar jaar in de Britse telegrafie-industrie gewerkt te hebben, nam hij in 1874 op 24-jarige leeftijd ontslag, om de volgende 50 jaar in welhaast totale afzondering door te brengen. Gedurende die halve eeuw leverde hij door zijn publikaties een grotere bijdrage dan wie ook aan de concepten en de kennis over transmissielijnen, elektrische netwerktheorie, vectoranalyse, operatorenrekening, elektromagnetische theorie, en de methoden van de moderne elektrotechniek. De elektromagnetische theorie, die opgesteld is door Maxwell in 1873, wordt heden ten dage meestal gepresenteerd in de vorm zoals Heaviside die heeft geherformuleerd.

Aan het eind van de 19de eeuw werd het gebruik van de aarde als retourgeleider verlaten. Zowel uit theoretische analyses als praktijkervaring bleek, dat twee koperdraden met lage weerstand en aan palen opgehangen het beste voldeden (zie Figuur 7). Uit zijn vergelijkingen had Heaviside afgeleid, dat de transmissielijnen voor spraak een lager verlies zouden vertonen als de verdeelde zelfinductie van de lijnen zou kunnen worden verhoogd, zonder daarentegen de andere verdeelde circuitelementen te veranderen. Michael Pupin en George Campbell voerden rond 1900 een praktische realisatie van dit idee uit door middel van geconcentreerde, laagohmige spoelen op afstanden van ca. 1 à 2 km in de lijnen op te nemen. Het



Figuur 7: Rond de eeuwwisseling werden telefoon- en telegraafdraden in de open lucht opgehangen aan palen

idee bleek een buitengewoon succes te zijn en het werd uitgevoerd bij tienduizenden kilometers telefoondraden gedurende een periode van ca. 30 jaar. Dankzij deze techniek konden voor eenzelfde spraakkwaliteit dunnere koperdraden worden gebruikt dan voorheen. Ondanks deze maatregelen bleef telefonie over zeer lange afstand, bijv. een paar duizend kilometer, onmogelijk.

Op dit kritieke punt in de ontwikkeling van de elektrische communicatie kwam echter tijdig een doorbraak. Lee De Forest had in 1907 de triode uitgevonden, die vanaf 1912 zover was ontwikkeld, dat ze ingezet kon worden als versterker van elektrische signalen, waarmee de verliezen in dunne koperdraden gecompenseerd konden worden. Bovendien had rond diezelfde tijd Campbell het elektrisch filter geïntroduceerd, waarmee vervorming over een groot frequentiegebied kon worden geëgaliseerd.

Toen de problemen met afstand en signaalkwaliteit waren opgelost, gingen de ingenieurs op zoek naar methoden om de kosten te drukken. De grootste besparing was te vinden in het gebruik van de dure transmissielijnen voor meerdere gesprekken tegelijkertijd. Voor een groot aantal jaren was dit het belangrijkste aandachtspunt van de telefoonindustrie en vormt dat in feite nog steeds. Dankzij de ontwikkeling van versterkers, oscillatoren, filters en dergelijke, werd het in 1919 mogelijk om drie interlokale telefoonsignalen in beide richtingen over te dragen via een open tweedraadlijn. De signalen, met elk een bandbreedte van ca. 4 kHz, werden daarbij naar hogere frequenties getransformeerd en besloegen een totale bandbreedte van ca. 30 kHz; deze techniek staat bekend als *frequentie-multiplexing*. Het is misschien wel de grootste ironie in de geschiedenis van de elektrotechniek, dat de plaatsing van Pupin-spoelen, die nodig was om gedurende 30 jaar interlokale telefonie mogelijk te maken, de signaaloverdracht via die lijnen vervolgens verhinderde bij frequenties hoger dan 4 kHz en daarmee onbruikbaar maakte voor de multiplextechniek. Tussen 1925 en 1940 werden dan ook miljoenen eerder geïnstalleerde spoelen weer verwijderd.

Tijdens de tweede wereldoorlog werd de aandacht verschoven naar de ontwikkeling van de radio-communicatie en de radar, die van groot belang waren vanwege de militaire toepassingsmogelijkheden. Met name de verdere kennis en het gebruik van de microgolven namen toen een hoge vlucht. Deze gebeurtenissen vertraagden voor enige tijd de verdere uitbouw van de communicatie met behulp van transmissielijnen. Pas in 1956 werd de eerste transatlantische telefoonkabel geïnstalleerd, waarmee 36 gesprekken konden worden overgebracht. Daarna echter voltrok de toename van het intercontinentale lijnverkeer zich in razend tempo, zoals blijkt uit onderstaande tabel.

Tabel 1: Een aantal transatlantische kabels

naam	jaar	aantal gesprekken	opmerking
TAT-1	1956	36	eerste transatlantische kabel
TAT-7	1985	4.000	laatste transatl. koperkabel
TAT-8	1989	40.000	eerste transatl. glasvezelkabel
TAT-13	1996	700.000	gepland

Tot nu toe is geschetst hoe de lijncommunicatie evolueerde van de beperkte mogelijkheden van de spraakfrequenties via open lijnen, tot de schier onbeperkte capaciteit van de *glasvezelcommunicatie*. Parallel daaraan ontwikkelde zich de communicatie door middel van golven die zich in de vrije ruimte voortplanten. De experimenten van Marconi, tussen 1895 en 1902, toonden aan dat intercontinentale telegrafie mogelijk was zonder kabels. Draadloze telegrafie werd een techniek met glamour en interessante publiciteitswaarde, maar ondanks dat leverde het in eerste instantie geen serieuze bedreiging voor de bestaande telegraaf- en telefoon-diensten die gebruik maakten van kabels. Dit veranderde pas toen tijdens de eerste wereldoorlog voldoende krachtige zendbuizen werden ontwikkeld en de gevoeligheid van ontvangers kon worden opgevoerd, ook dankzij betere radiobuizen. Deze vorderingen leidden in de twintiger jaren van deze eeuw tot de oprichting van de radio-omroepindustrie, waar gebruik werd gemaakt van frequenties rond een megahertz. De exploratie van de hogere frequenties ontvouwde de speciale eigenschappen van de korte golven, met frequenties tussen 3 en 30 megahertz, waarmee het mogelijk werd wereldwijd te communiceren. Toepassing van deze frequenties vóór 1930 maakte intercontinentaal telefoonverkeer mogelijk en bleef de daaropvolgende dertig jaar de enige mogelijkheid daarvoor.

De dertiger jaren gaven een groei te zien van de technologie voor elektronische componenten en circuits voor frequenties tot enkele tientallen megahertz naar enkele honderden megahertz, waarmee ook zulke toepassingen mogelijk werden als FM-omroep, en het begin van de televisie en radar. Tenslotte vond tijdens de tweede wereldoorlog een zeer sterke concentratie plaats op de uhf- en microgolf-techniek met de bijbehorende ontwikkeling van de microgolfcommunicatie en -radar met hun militaire toepassingen. Na de oorlog volgde een verdere uitbouw van deze technieken in de commerciële TV-omroep, radio- en radar astronomie en het veelvuldig gebruik van deze frequenties bij de exploratie van de ruimte.

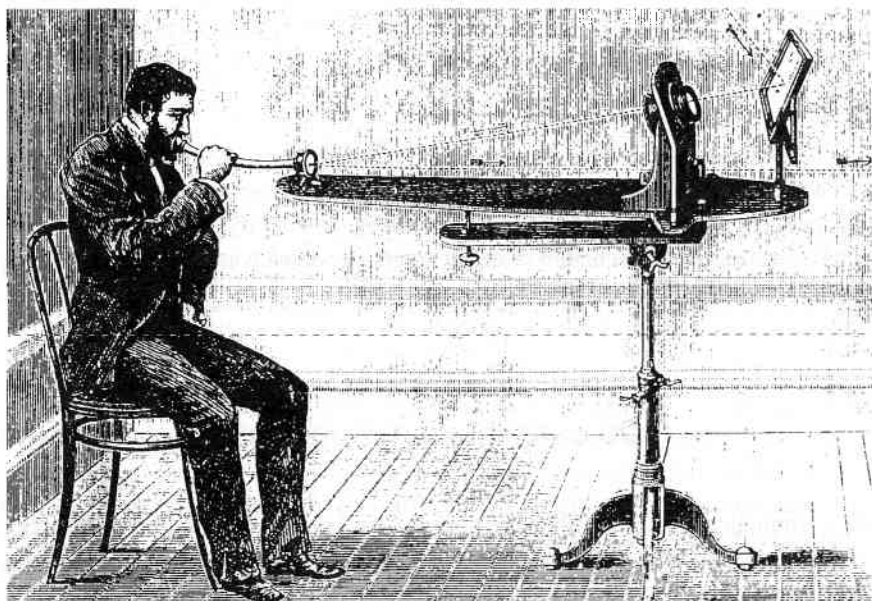
Op het gebied van de communicatie door middel van ongeleide golven moet als belangrijke mijlpaal worden genoemd de introductie van de *satellietcommunicatie*. Deze techniek werd in 1955 geopperd door Pierce en beleefde in 1962 zijn daadwerkelijke start met de lancering van de Telstar I.

Thans vormen deze satellietssystemen, samen met de genoemde kabelverbindingen een wereldomspannend telecommunicatienet voor telefonie, video en dataverkeer. Een netwerk dat niet meer weg te denken valt uit de moderne maatschappij en dat een nauwelijks te overschatten bijdrage levert aan de welvaart van een groot gedeelte van de wereldbevolking.

De optische communicatie

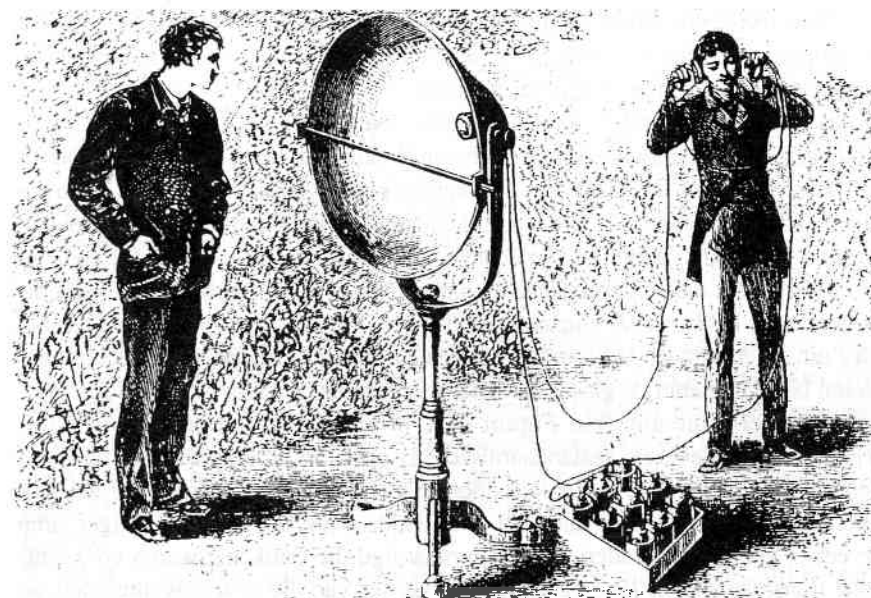
De communicatie waarbij optische golven worden gebruikt als transportmiddel voor de informatie is tot nu toe hier onbesproken gebleven. Logischerwijs zou deze vorm van communicatie direct kunnen aansluiten op de microgolftechniek. Immers, optische golven laten zich in het algemeen beschrijven door dezelfde vergelijkingen als microgolven en onderscheiden zich slechts hiervan doordat ze een hogere frequentie hebben. Toch verdient deze communicatietechniek een aparte benadering en wel om twee redenen. Ten eerste heeft ze zich ontwikkeld langs een spoor dat los staat van de geschetste ontwikkeling en ten tweede zal ze een steeds belangrijkere rol gaan spelen in toekomstige telecommunicatienetten. Hoewel strikt genomen de optische communicatie zeer ver teruggaat in de geschiedenis [5] zullen wij de draad oppakken in 1880.

Alexander Graham Bell is bekend geworden doordat hij het patent op zijn naam heeft voor de uitvinding van de telefoon. Voordat het zover was, heeft hij echter een scherpe juridische strijd moeten uitvechten, want er waren op dat moment meer mensen bezig met vergelijkbare experimenten. Deze rechtszaken vergden veel van Bell zijn tijd en energie, tijd die hij liever besteed zou hebben aan andere uitvindingen. Bell zelf vond nl. de telefoon niet zijn interessantste ontdekking. Tijdens de rechtszaken rond de telefoonpatenten werkte hij, samen met zijn be-gaafde assistent, Sumner Tainter, aan een apparaat om spraak over te brengen met behulp van een lichtbundel. Dit apparaat noemde hij de *fotofoon* (zie Figuur 8). In dit apparaat wordt d.m.v. een lens zonlicht geconcentreerd op een spiegelend membraan. Dit membraan zit aan het eind van een spreekhoorn, zodat het gaat trillen in het ritme van de spraak, waardoor in dat ritme ook de lichtbundel al dan niet



Figuur 8: De fotofoon van Bell

gedefocusseerd wordt. Aan de ontvangkant wordt de opgevangen lichtbundel door middel van een grote, holle spiegel geconcentreerd op een lichtgevoelig materiaal, d.w.z. een materiaal waarvan de weerstand varieert met de hoeveelheid licht die erop valt (zie Figuur 9). Bell gebruikte daarvoor Selenium, maar heeft ook met veel andere materialen geëxperimenteerd. Met behulp van deze fotofoon waren Bell en Tainter op 1 april 1880 in staat om spraak verstaanbaar over te brengen over een afstand van 213 m. Bell schreef hierover: “We kunnen nu praten door middel van licht over elke zichtbare afstand, zonder enige geleidende draad.” Merk op dat deze experimenten plaatsvonden voordat Heinrich Hertz voor het eerst signalen overbracht met behulp van radiogolven (1887) en voordat Marconi de radiotelegraaf patenteerde (1897), terwijl hij de ontwikkeling van de radiotelefonie ter hand nam tussen 1895 en 1902. In feite bedreef Bell dus radiotelefonie avant la lettre. Op 27 augustus 1880 onthulde Bell zijn experimenten ten overstaan van de American Association for the Advancement of Science. Het juridisch gevecht rond de uitvinding van de telefoon kan er toe hebben geleid, dat er nogal wat scepsis bestond ten aanzien van Bell. In een kritisch redactioneel commentaar in de *New York Times* van 30 augustus 1880 werd geschreven [6]: “Hoewel de leden van de American Association for the Advancement of Science misschien de werking van

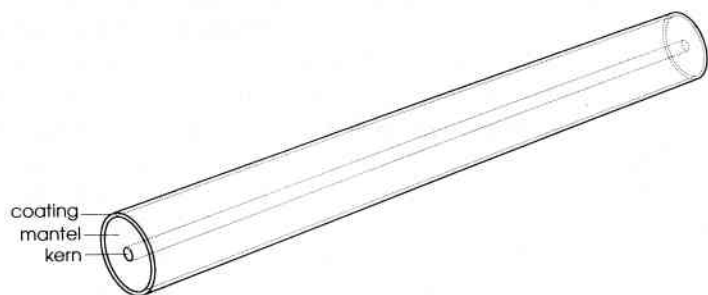


Figuur 9: De optische ontvanger van het fotofoonstelsel

de fotofoon begrijpen, zal de gewone man er enige moeite mee hebben om in te zien hoe bundels zonlicht worden gebruikt. Wil professor Bell soms Boston en Cambridge met elkaar verbinden door middel van een lijn lichtbundels, hangend aan telegraafpalen? En als dat al lukt, welke diameter moeten die lichtbundels hebben en hoe worden ze op de vereiste maat gebracht? En wat als de zon ondergaat? Zullen zij hun vermogen om geluid over te brengen, behouden of zal het nodig zijn ze te isoleren en tegen weersinvloeden te beschermen door middel van een dikke rubbermantel? Het publiek heeft een groot vertrouwen in wetenschappers, maar zolang het niet een installateur door de straat ziet lopen met een rol lichtbundels over zijn schouder, die uitgehangen wordt van paal naar paal, zal er in het algemeen het gevoel heersen, dat er iets mis is met de fotofoon van professor Bell, die een enorm beroep doet op de lichtgelovigheid van het publiek.” De onbekende schrijver van deze tekst was misschien wat al te zeer geobsedeerd door de datum waarop de spectaculaire experimenten met de fotofoon hadden plaatsgevonden, nl. 1 april. In ieder geval wees hij op een fundamenteel probleem bij transmissie door de atmosfeer. Heden ten dage is dat natuurlijk niet meer het ondergaan van de zon, we hebben namelijk in de vorm van lasers een meer dan uitstekend alternatief, maar wel verlies van transmissiekwaliteit ten gevolge van

mist, regen etc. Bovendien gaf hij en passant onbewust de hint in de richting van de ultieme oplossing hiervoor, nl. de optische golfgeleider, die wij nu kennen in de vorm van bijvoorbeeld de optische vezel.

Reeds in 1870 had Tyndall laten zien, dat lichtstralen de gekromde baan van een waterstraal volgen, terwijl onze landgenoten Hondros en Nobelprijswinnaar Debye in 1910 een theoretische analyse publiceerden van de golfgeleiding via draden die elektrisch niet geleiden [7]. Bij experimenten om op deze manier licht te geleiden, werden glasdraden gebruikt, die echter aanleiding bleken te geven tot zodanig grote verliezen, dat een praktische toepassing lange tijd illusoir bleef. Twee ontwikkelingen hebben deze impasse doorbroken. Op de eerste plaats was dat het idee om de glasdraden te voorzien van een extra laagje, waardoor het licht opgesloten bleef binnenin de glasdraad. Hierdoor kregen de draden hun huidige zgn. kern-mantel-structuur (zie Figuur 10), met een buitendiameter die voor telecommunicatievezels gestandaardiseerd is op 125 μm , ongeveer de dikte van een haar. Op de tweede plaats kon door de technologische vooruitgang het glas veel zuiverder worden gemaakt. Dit alles leidde ertoe, dat in de zeventiger jaren de eerste glasvezels konden worden vervaardigd die bruikbaar waren voor optische transmissie over lange afstand. Het verlies van die vezels is inmiddels zo laag, dat na transmissie over een afstand van 10 km nog de helft van het verzonden lichtvermogen resteert. Naast dit zeer lage verlies vertonen glasvezels een kolossale bandbreedte, zodanig dat in theorie een paar miljoen TV-signalen overgedragen zouden kunnen worden, waarbij bedacht moet worden, dat een TV-sig-naal ca. duizendmaal zoveel capaciteit vergt als een telefoniesignaal. Praktische beperkingen verhinderen tot nu toe het volledig gebruik van die enorme potentiële glasvezelcapaciteit; het merendeel van het onderzoek dat op dit terrein plaatsvindt, is erop gericht om, gegeven de technische beperkingen, die theoretische capaciteit zo dicht mogelijk te benaderen.



Figuur 10: Glasvezel met kern-mantel-structuur

Snel op weg naar de elektronische toekomst

Op dit punt aangekomen, staan we op het kruispunt van verleden en toekomst. In die toekomst zal de zgn. persoonlijke, mobiele communicatie gestalte krijgen. Echter de mogelijkheden hiertoe zijn beperkt, vanwege de gelimiteerde bandbreedte in de ether. Zulke beperkingen zullen niet gelden voor de verdere uitbouw van de transmissiecapaciteit van de glasvezels en glasvezelnetten. Daarbij zal gesteund worden op nieuwe transmissietechnieken zoals *solitonen* en *golflengtemultiplexing* (WDM).

Solitonen zijn speciale puls vormen die bij transmissie door een medium, zoals bijv. een glasvezel, geen vervorming vertonen. Hierdoor is het mogelijk met grote seinsnelheid zeer grote afstanden te overbruggen, zonder de noodzaak onderweg de informatiepulsen te detecteren en opnieuw uit te zenden. Deze techniek is slechts bruikbaar voor een beperkt gedeelte van de transmissiecapaciteit, omdat men de optisch noodzakelijke zendvermogens binnen de perken van het realiseerbare moet houden.

WDM is de techniek waarbij over één vezel meerdere signalen tegelijk worden getransporteerd, en waarbij elk van die signalen overgedragen wordt met behulp van een andere kleur licht. Aan de ontvangkant moeten de diverse kleuren weer gescheiden worden. Deze scheiding kan worden uitgevoerd met optische componenten die een kleurscheidende werking hebben die vergelijkbaar is met die van een prisma.

Daarnaast echter zal ook op het punt van het schakelen van de signalen nog veel kunnen verbeteren. Zowel de transmissietechniek als de schakeltechniek zullen bij het inslaan van nieuwe wegen een sterk beroep moeten doen op de ontwikkelingen binnen disciplines als materiaalonderzoek en componentenontwerp. Immers, eerst zullen vanuit materiaalkundige gezichtshoek de fysische basisfenomenen moeten worden onderzocht, waarna bij gebleken geschiktheid van een specifiek effect, de componentenontwerpers de materiaalgegevens kunnen gebruiken om tot de realisatie van een component te komen.

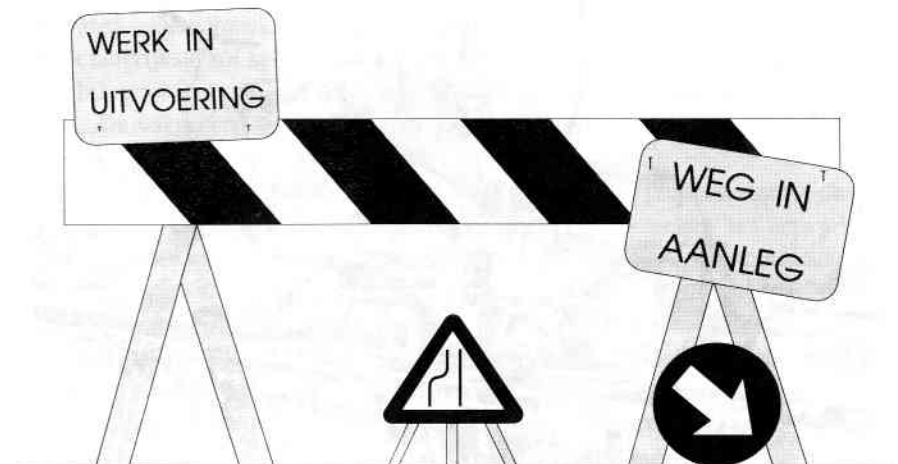
In alle denkbare systeemconcepten zullen optische versterkers een rol spelen. Hoe klein het verlies in een glasvezel ook zijn moge, we willen afstanden overbruggen die variëren van enkele kilometers tot een paar duizend kilometer. Hierdoor, maar ook door de aanwezigheid van optische componenten die bijvoorbeeld nodig zijn voor WDM of het splitsen van signalen, zal het verlies in de circuits zodanig zijn, dat versterking noodzakelijk is. Voor bepaalde golflengtegebieden zijn optische halfgeleiderversterkers ontwikkeld. Voor andere golflengtegebieden worden reeds

versterkers gebruikt waarbij als versterkend medium vezels worden ingezet die gedoteerd zijn met een zeldzame aarde. Deze versterkers zijn echter vrij duur en groot van omvang. Halfgeleiderversterkers voor die gebieden kunnen rekenen op warme belangstelling van ontwerpers van telecommunicatiesystemen.

Voor de schakelfuncties met bijbehorende signaalbewerking zouden bistabiele, optische componenten zeer interessant zijn. In dat geval kunnen namelijk deze signaalbewerkingen direct in het optische domein plaatsvinden, zonder dat eerst overgang naar elektrische signalen, met hun beperkte bewerkingssnelheid, nodig is (de zgn. elektronische flessenhals). Op dit gebied liggen interessante ontwikkelingen in het verschiet. Twee technologieën komen in aanmerking voor de realisatie van zulke componenten. De eerste maakt gebruik van de niet-lineaire, optische eigenschappen van materialen, zoals bijv. het Kerr-effect. Voordeel van deze techniek is de zeer snelle respons die in principe mogelijk is. Als nadeel moet genoemd worden, dat de niet-lineaire, optische effecten in het algemeen klein zijn, waardoor grote vermogens nodig zijn om van toestand te veranderen. Veel materiaalonderzoek is nog nodig om op dit gebied vooruitgang te boeken, teneinde te komen tot praktisch bruikbare en zinvolle componenten. De tweede technologie lijkt me vooralsnog veelbelovender en steunt op een effect dat optreedt in zeer dunne laagjes halfgeleidermateriaal, het zgn. "quantum confined Stark effect". Bij deze techniek kan met kleine vermogens geschakeld worden (ca. 1 mW) in een zeer korte tijd (picoseconden). De klasse van componenten waarmee dit mogelijk is, staat bekend onder de naam SEED's (self electro-optic effect devices) en biedt handige interface-mogelijkheden met elektronische componenten, omdat de toestand van de component zowel optisch als elektrisch te veranderen en ook uit te lezen is. In SEED's is de scheidslijn tussen optica en elektronica zodanig vervaagd, dat je niet meer kunt spreken van een optisch of een elektronisch component; dit geldt voor zowel de werking en de structuur als voor de achterliggende fysica. SEED's zijn dus opto-elektronische componenten in optima forma. Halfgeleidermaterialen lijken ook het meest geschikt om andere optische functies in te realiseren, evenals dat natuurlijk het geval is voor elektronische functies. Verregaande integratie tot opto-elektronische chips (OEIC's) in deze materialen vormen dan ook het perspectief op lange termijn.

Sprekend over "de toekomst" heb ik het tot nu toe voornamelijk gehad over ontwikkelingen in de optische (glasvezel)communicatie, omdat ik ervan overtuigd ben, dat deze techniek het werkpaard zal worden voor de belangrijkste nieuwe ontwikkelingen die voor de deur staan. Bij die ontwikkelingen denk ik aan wat genoemd wordt de *elektronische snelweg* of *informatiesupersnelweg*. Wat is dat precies die elektronische snelweg? Laat ik beginnen met te zeggen, dat er ver-

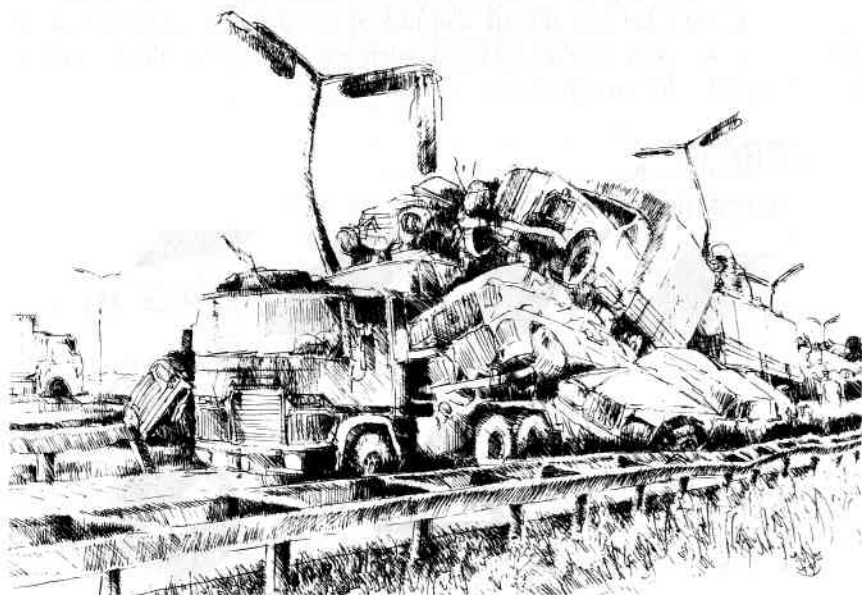
schillend over wordt gedacht wat het is, c.q. zou moeten zijn. Er wordt over gesproken in termen van een visionair beeld omtrent de combinatie van een kolossaal wereldwijd netwerk van informatiebanken, toegangsmechanismen hiertoe en de communicatie-middelen om vanuit elke plek op aarde elke willekeurige databank te kunnen consulteren. Veel instituten hebben reeds data-bestanden opgesteld voor Internet-gebruik, maar de inhoud van de aangeboden informatie en de structuur ervan stellen vaak nog weinig voor. In de vorm van het zgn. TCP/IP-protocol hebben we een universele verpakkings- en adresseermethode voor het informatietransport. Maar dit universele karakter maakt ook, dat het voor een aantal toepassingen teveel toevoegt, waardoor de efficiëntie voor die toepassingen slecht wordt. Als transportmechanisme, zeg maar de vrachtwagen, zal waarschijnlijk ATM (*asynchronous transfer mode*) dienst gaan doen. Deze vrachtwagen is in principe geschikt voor de verschillende vormen van informatie die over de snelweg vervoerd moeten worden, zoals: beeld, geluid en data. Toch geven de huidige ATM-standaarden enkele problemen voor de optische netwerken, evenals dat het geval is voor ontwikkelingen die momenteel plaatsvinden op het terrein van de digitale video. TCP/IP en ATM zijn los van elkaar ontstaan. Het lijkt mij zinvol om voor het veelsoortige verkeer dat verwacht kan worden op de elektronische snelweg een aangepast protocol en aangepaste standaarden voor ATM parallel te ontwikkelen, zodat het één gebruik kan maken van de eigenschappen van het ander en omgekeerd, en er rekening kan worden gehouden met de nieuwe ontwikkelingen op gebieden als bijv. digitale video.



Figuur 11: De communicatiewegen moeten aangepast worden om ze geschikt te maken voor de elektronische snelweg

Wil men het ideaal van de elektronische snelweg verwezenlijken, dan zal er tevens planmatig gewerkt moeten worden om de communicatiewegen daarvoor aan te passen (zie Figuur 11). Gelukkig constateert de Nederlandse regering dezelfde problematiek in haar actieprogramma "Elektronische Snelwegen", dat eind 1994 werd gepubliceerd. Deze aanpassing zal trouwens een enorme financiële inspanning vergen, die voor de VS geschat wordt op ca. 200 miljard dollar. Vertaald naar de Nederlandse situatie kunnen we de investering schatten op ca. 10 miljard gulden.

Veel argeloze gebruikers van het Internet zien hierin reeds een realisatie van de elektronische snelweg. Hoewel het Internet op dit moment aardige faciliteiten biedt, is het echter minder goed geschikt voor zgn. multi-mediadiensten, d.w.z. een willekeurige combinatie van beeld, geluid, tekst en grafiek; dit vanwege de grote hoeveelheid data die daarvoor nodig is. Een extra stagnerende factor vormt de toename van het gebruik van indexsystemen zoals World Wide Web. Dit systeem verschaft de gebruiker een enorme flexibiliteit bij het zoeken naar informatie, maar het zorgt voor een geweldig verkeersaanbod en aantal verbindingen op de netwerken, die daardoor volledig zullen vastlopen bij de huidige opzet van Internet. Ernstige filevorming, opstoppingen en botsingen dus bij deze implementatie-



Figuur 12: Chaos op de elektronische snelweg

vorm van de elektronische snelweg (zie Figuur 12); ofwel, op deze manier wordt de capaciteit van Internet tot die van een karrespoor in plaats van een snelweg. Binnen de communicatiewereld is Internet een soort geordende chaos, die kan omslaan in een oncontroleerbare chaos. Niemand beheert het netwerk, laat staan dat het beheerst wordt. Het vormt meer een soort subcultuur, met 25 miljoen gebruikers en een explosieve groei van 150.000 nieuwe gebruikers per maand en die kan bestaan dankzij het wereldomspannende openbare telefoonnet en meerijdt op de rug daarvan. Bij deze ongestructureerde groei en parasietachtige verkeersinvloeding moeten eendaags knelpunten ontstaan in de knooppunten en op de transmissiewegen. Want bedenk wel dat die niet ontworpen zijn voor deze omvang van dergelijk verkeer.

De nieuwe snelweg zal aan een aantal eisen moeten voldoen, te weten: overal toegankelijk, goedkoop en gemakkelijk in gebruik, veilig, veelzijdig, rijk aan informatie, en open. Deze eigenschappen geven als het ware aan iedere aangeslotene een rietje om informatie van zijn gading op te zuigen uit de oceaan van aangeboden wijsheid. Ze maken het systeem tevens uiterst kwetsbaar. Het is al vertoond, dat sluwe zakenlieden een mogelijkheid zagen om via Internet gratis wereldwijd reclame te maken. Dit heeft een discussie op gang gebracht om "politie" te laten patrouilleren op de elektronische snelweg, die gaat toezien op het verkeersgedrag.

Bij de aanleg van de elektronische snelweg spelen twee essentiële begrippen een hoofdrol: transmissiecapaciteit en protocollen. Om de geschetste problemen op die terreinen aan te pakken, zal een grote inspanning gevraagd worden van zowel de transmissietechniek, waarbij glasvezels met hun enorme transmissiecapaciteit de belangrijkste rol spelen, als van de informatietechniek om te komen tot een geschikt protocol en software voor de besturing en het management van het netwerk. De vakgroep TIOS bevindt zich in een goede startpositie; immers beide specialismen zijn in die vakgroep vertegenwoordigd.

Het idee van de elektronische snelweg vindt zijn grootste pleitbezorger in de persoon van de Amerikaanse vice-president Al Gore. Hij noemt het "het netwerk der netwerken" en stelt zich voor, dat hiermee niet alleen de werkgelegenheid en economische groei worden veiliggesteld, maar ook de verschillen in scholing en ontwikkeling kunnen worden weggewerkt; kortom het panacee voor veel sociaal-economische problemen. "Ik droom van een informatie-snelweg die levens redt en overal en altijd iedereen, jong en oud, voorziet van het beste onderwijs.", aldus Gore. Ik vind Gore's verwachtingen nogal hooggespannen, om niet te zeggen naïef. Hoewel hij de toegang tot de elektronische snelweg voor iedereen wil openstellen, hetzij gratis, hetzij tegen een zeer laag tarief, is toch een zekere minimum hoe-

veelheid apparatuur nodig: een computer, een modem en een telefoonaansluiting. En dan nog is het de vraag of Jan Modaal ertoe te bewegen is, om 's avonds achter zijn terminal te gaan zitten grasduinen in bijvoorbeeld een elektronisch opgeslagen encyclopedie, om maar eens wat te noemen. Hij heeft al de grootste moeite zijn videorecorder te programmeren, laat staan dat hij zich verdiept in de nukken van een informatieterminal. Al Gore stelt: "Er mogen geen informatie 'haves and have-nots' ontstaan." Natuurlijk is het uitstekend om iedereen toegang te verlenen tot een zo ruim mogelijk aanbod van informatie, maar ik vrees dat dit slechts de reeds ontwikkelden de kans biedt om zich verder te ontwikkelen en dat toch weer de onontwikkelden het aanbod laten voor wat het is. De sociale verschillen worden op die manier alleen maar groter in plaats van kleiner. Kortom, ik denk dat de door Gore beoogde beïnvloeding van de lagere sociale klasse niet tot stand komt. Hij overschat in dat opzicht de effectiviteit, waar ik in het begin van mijn rede over sprak. Dit is geen pleidooi tegen de aanleg van de elektronische snelweg, maar ik deel alleen niet de visie die Al Gore heeft op de te verwachten positieve, sociale effecten ervan. In het algemeen lopen de meningen over de elektronische snelweg dan ook uiteen van "waardeloos" tot "het einde".

Dankwoord

Aan het slot gekomen van mijn rede wil ik enkele woorden van dank uitspreken. Op de eerste plaats dank ik het College van Bestuur van deze Universiteit voor mijn benoeming en de Faculteit Elektrotechniek, die hiertoe mij heeft voorgedragen. Ik zal mijn best doen dit ambt waardig te bekleden; ik vind het niet nodig, dat dit ambt mij met waardigheid bekleedt.

Aan de Technische Universiteit Eindhoven mocht ik vele jaren samenwerken met professor van der Plaats. Hij gaf mij daarbij een grote mate van vrijheid en verantwoordelijkheid, waardoor ik mij kon ontwikkelen tot wat ik nu ben. Jan, bedankt voor de goede jaren die we samen in Eindhoven beleefden.

Vervolgens wil ik mij wenden tot degene die mij in het leven het meest na is. Lieve Kitty, al menig jaar gaan wij samen door het leven. Steeds hebben wij samen gewikt en gewogen bij belangrijke stappen op ons levenspad. Telkens heb je mij geholpen de juiste beslissingen te nemen en me gesteund bij het consequent uitvoeren van die beslissingen. Ook op praktisch vlak heb je mij altijd geholpen. Zo typte jij voor mij in mijn studententijd stage- en afstudeerverslagen. Ook schrok je

er niet voor terug, om enkele jaren geleden een tekstverwerkingspakket aan te leren en daarmee mijn aandeel in het boek dat ik samen met Jan van der Plaats aan het schrijven was, vast te leggen, inclusief de lastige formules. Kitty, ik hoop dat het ons is gegund om nog vele jaren samen zo door te gaan, hier in deze voor ons nieuwe omgeving.

Tenslotte, geachte toehoorders, hoop ik dat u van deze rede niet zult zeggen: "Jammer dat hij het allemaal heeft uitgelegd, anders had ik het misschien begrepen." Ik dank u allen, dat u met uw aanwezigheid blijk heeft gegeven van uw belangstelling en luister hebt willen bijzetten aan deze plechtigheid.

Ik dank u voor uw aandacht.

Referenties:

- [1] ITU-CCITT
Terms and Definitions,
Blue Book, Vol. 1, Fascicle 1.3,
Geneva, ITU, 1989.
- [2] C.E. Shannon and W. Weaver,
The mathematical theory of communication,
Urbana, University of Illinois Press, 1949.
- [3] J.L. Bordewijk en B. van Kaam,
Allocutie: enkele gedachten over communicatievrijheid in een bekabeld land,
Baarn, Bosch & Keuning NV, 1982.
- [4] J.J. Zaalberg van Zelst,
Mensdom en Elektronen,
Intreerede Technische Hogeschool Eindhoven, 7 mei 1965.
- [5] J. van der Plaats,
Telecommunicatie: van licht tot licht,
Intreerede Technische Hogeschool Eindhoven, 19 sept. 1975.
- [6] R.V. Bruce,
Alexander Graham Bell and the Conquest of Solitude,
Boston: Little, Brown and comp., 1973.
- [7] D. Hondros en P. Debye,
"Electromagnetic waves along long cylinders of dielectric,"
Annalen der Physik, Jaargang 32, no. 3., 1910, pp. 465-476.