

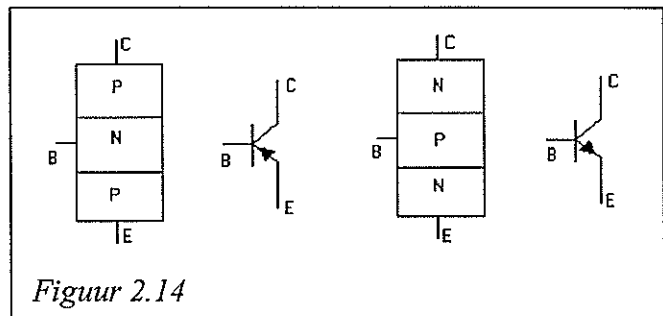
## 2.5 Versterking

Wanneer men een signaal duidelijk wil maken zal men dit moeten versterken. Men kan dit doen a.d.h.v. transistoren. Hier werden slechts de principes van de transistor besproken. Voor verdere en meer diepgaande informatie willen we graag verwijzen naar de geïntegreerde proef van radar.

### 2.5.1 De bouw van een transistor

Een transistor is opgebouwd uit 3 opeenvolgende laagjes P- en N-kristallen. Men kent dus PNP- en NPN-transistoren.

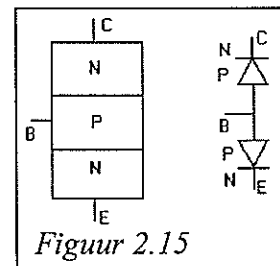
De opeenvolgende laagjes worden de Emitter (E), Basis (B), en Collector (C) genoemd. (zie Figuur 2.14)



### 2.5.2 Werking van een transistor

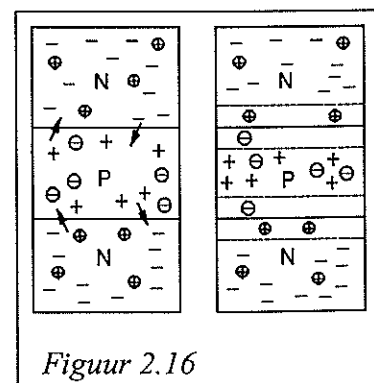
Een junctietransistor lijkt in opbouw zeer sterk op twee diodes die in oppositie zijn geschakeld (zie Figuur 2.15).

Evenals bij de diode ontstaat er een diffusiespanning en een grenslaag tussen iedere PN-overgang. Meestal wordt er steeds een NPN-transistor.



#### 2.5.2.1 De transistor zonder uitwendig toegepaste spanning

Omdat er in het N-kristal veel elektronen (meerderheidsladingsdragers) en weinig gaten zijn, en anderzijds in het P-kristal weinig elektronen (minderheidsladingsdragers) en veel gaten zijn, diffunderen er elektronen van het N- naar het P-kristal en gaten van het P- naar het N-kristal (zie Figuur 2.16). Zoals bij de diode ontstaat er een grenslaag tussen de kristallen onderling.



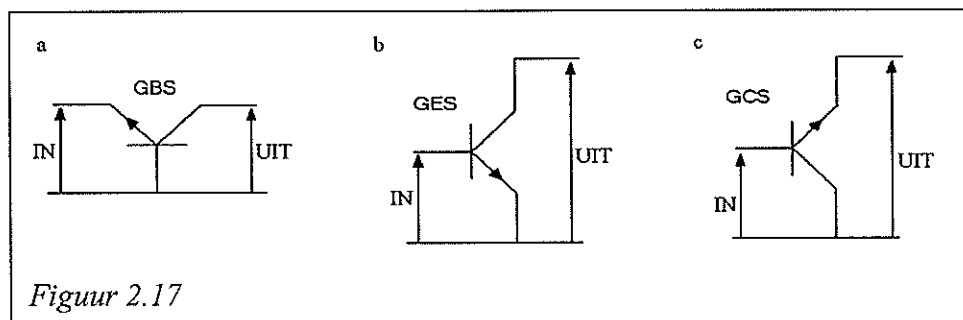
### 2.5.2.2 De transistor aangesloten op uitwendige spanningen

Een transistor heeft drie aansluitklemmen waarmee in principe drie soorten schakelingen mee kunnen opgebouwd worden (zie Figuur 2.17).

De schakelingen worden genoemd naar de klem die gemeenschappelijk is aan de in- en uitgang.

Men kan spreken van:

- De Gemeenschappelijke Basisschakeling (GBS) – Figuur 2.17 a
- De Gemeenschappelijke Emitterschakeling (GES) – Figuur 2.17 b
- De Gemeenschappelijke Collectorschakeling (GCS) – Figuur 2.17 c

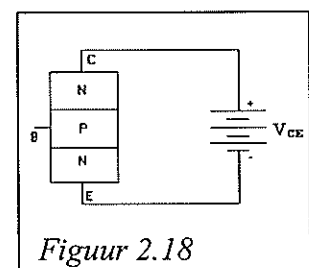


Men zal in de meeste gevallen de transistor in GES schakelen. De voedingsspanningen bij de GES worden zo aangeduid, dat de laatste letter altijd een E is. De spanning tussen basis en emitter wordt dus:  $V_{BE}$  ; tussen collector en emitter  $V_{CE}$ .

#### 1. Aansluiten van de collectorspanning $V_{CE}$

De collector wordt sterk positief gepolariseerd t. o. v. de emitter (zie Figuur 2.18).

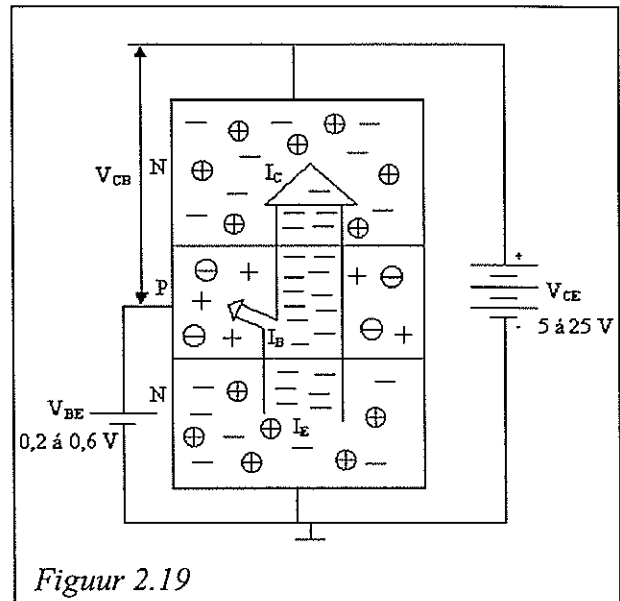
De emitter-basisjunctie staat in doorlaat, doch de basis-collectorjunctie is in sper gepolariseerd. Er kan dus geen stroom vloeien in de collectorketen ( $I_c = 0$ ).



## 2. Aansluiten van de collectorspanning $V_{CE}$ en de basisspanning $V_{BE}$ .

De polarisatie van een transistor in een normale versterkerschakeling is als volgt (Figuur 2.19):

- de emitter-basisjunctie is steeds in doorlaat gepolariseerd met de bron  $V_{BE}$
- de basis-collectorjunctie is steeds in versper (in sper) gepolariseerd; dit gebeurt met de bron  $V_{CE}$  waardoor de spanning tussen basis en collector  $V_{CB} = V_{CE} - V_{BE}$ . Daarbij is de spanning tussen basis en collector  $V_{CB}$  ongeveer gelijk aan  $V_{CE}$



(5 á 25 V) en veel groter dan de spanning tussen basis en emitter:  $V_{BE}$  (0,2 á 0,6 V).

### 2.5.2.3 Het transistoreffect

- Indien de BE in doorlaat dan is er basisstroom ( $I_B > 0$ ) d.w.z. dat elektronen vanuit de emitter naar de basis vloeien.
- De basis van de transistor is dun en bovendien weinig verontreinigd d.w.z. dat we weinig vrije gaten in de basis hebben.
- De elektronen die in de basis komen vullen de gaten op. Er zijn echter veel elektronen op overschot d.w.z. de elektronen overspoelen de basis.
- Door de sterke plus op de collector (+ 24 V) wordt de grootste hoeveelheid elektronen doorheen de sperlaag gezogen

### 2.5.2.4 Besluiten

- Niettegenstaande de BC in sper is gepolariseerd is er toch collectorstroom, dit effect noemt men het transistoreffect
- $I_E = I_B + I_C$
- Geen basisstroom, geen collectorstroom ( $I_C = h_{FE} \cdot I_B$ ).

## 2.6 Modulatie

Voordat een signaal kan worden verzonden via de satelliet, moet het eerst op een draaggolf geplaatst worden, dit is een krachtiger signaal met een hogere frequentie. Dit noemt men moduleren

### *2.6.1 Algemene principes*

- De algemene voorstelling van een ongemoduleerde draaggolf is:

$$v_d = V_d \cdot \sin(\omega_d \cdot t + \phi)$$

$v_d$ : de momentele waarde van de draaggolf op het ogenblik  $t$

$V_d$ : de amplitude van de draaggolf

$\omega_d$ : de hoeksnelheid (elastische cirkelfrequentie) overeenstemmend met de draaggolffrequentie  $f_d$        $\omega_d = 2\pi f_d$

$\phi$ : de fase van de draaggolf in de oorsprong.  $f_d$  is een hoge frequentie geschikt voor radio-overdracht.

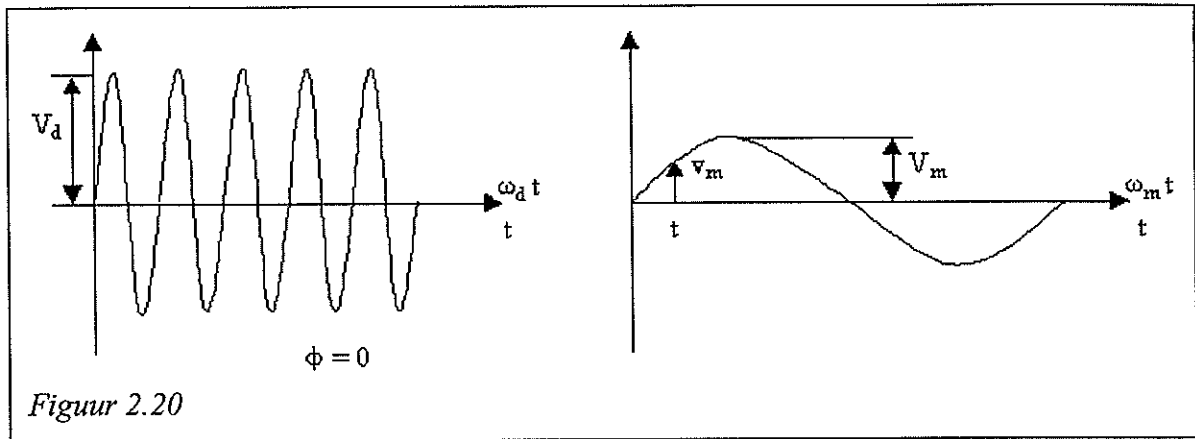
- Het modulerend signaal (de informatie) kan opgevat worden als een som van sinusoidale componenten (Fourier-analyse). Beschouwen we aanvankelijk één van deze componenten.

$$v_m = V_m \cdot \sin \omega_m t \quad \text{met } \omega_m = 2\pi f_m$$

$f_m$ : frequentie van de beschouwde componenten

- In de Figuur 2.20 kan je de verschillende voorstellingswijzen in de tijd van deze beide signalen zien (je kan dit ook vectorieel en in het frequentiedomein voorstellen).

Al naargelang nu het laagfrequent modulerend signaal, daar de uitgevoerde schakeling, gaat inwerken op de amplitude  $V_d$  of de hoek  $(\omega_d \cdot t + \phi)$  spreken we respectievelijk van amplitude modulatie en hoek modulatie.



### 2.6.1 Amplitude modulatie

Hierbij wordt de amplitude van de draaggolf op ieder ogenblik gewijzigd met een bedrag evenredig met de momentele waarde van het modulerend signaal.

De momentele waarde van de gemoduleerde drager kan dus als volgt geschreven worden:

$$v = (V_d + V_m \sin \omega_m t) \cdot \sin \omega_d t \quad (\text{we veronderstellen } \phi = 0) \quad (2.8)$$

door uitwerking:

$$v = V_d \sin \omega_d t + V_m \sin \omega_m t \cdot \sin \omega_d t$$

via de formules van Simpson:

$$v = V_d \sin \omega_d t + \frac{1}{2} V_m \cos (\omega_d - \omega_m) t - \frac{1}{2} V_m \cos (\omega_d + \omega_m) t$$

Men definieert nu de modulatie diepte  $m = V_m / V_d \cdot 100 \%$  bij  $V_m = V_d$  is  $m = 1$  of  $100 \%$

$0 < m \leq 1$  dus:

$$v = V_d \cdot \sin \omega_d t + m/2 V_d \cos (\omega_d - \omega_m) t - m/2 V_d \cos (\omega_d + \omega_m) t$$

Deze laatste uitdrukking laat zien dat het in amplitude gemoduleerde signaal opgebouwd is uit drie hoogfrequente componenten die alle drie voor radio-overdracht geschikt zijn.

1. De draaggolfcomponenten  $V_d \sin \omega_d t$
2. De 2 neventrillingen
  - de onderste zijtrilling  $+ m/2 \cos (\omega_d - \omega_m) t$
  - de bovenste zijtrilling  $- m/2 V_d \cos (\omega_d + \omega_m) t$

Men moet hierbij opmerken dat de frequentie van een in amplitude gemoduleerd signaal nog steeds deze is van de draaggolf; ook al kan men het gemoduleerd signaal beschouwen als de samenstelling van drie componenten met elk hun eigen frequentie. Hiervoor moeten we slechts de uitdrukking 2.8 nog even goed bekijken.

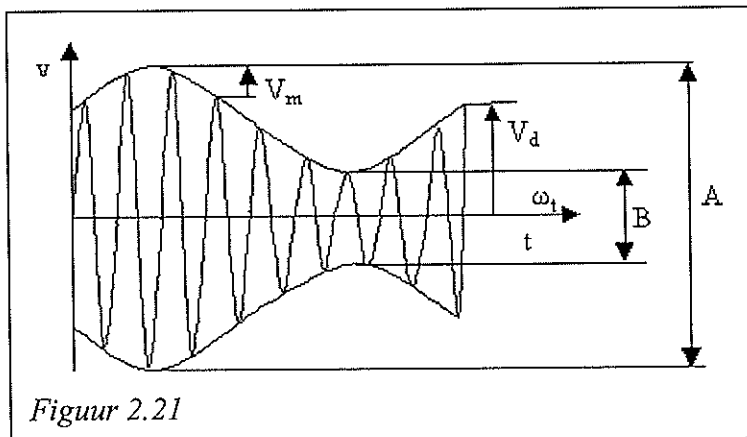
$$v = (V_d + V_m \sin \omega_m t) \sin \omega_d t$$

hierin is:  $V_d + V_m \sin \omega_m t$  de momentele amplitude op het ogenblik  $t$

$v$ : de momentele waarde op het ogenblik  $t$

$\omega_d = 2\pi f_d - f_d$ : draaggolffrequentie

We kunnen het gemoduleerde signaal nu terug in de tijd gaan voorstellen:



Een amplitude gemoduleerd signaal beslaat in het frequentiespectrum een frequentieband gelijk aan het dubbel van de maximum modulerende frequentie.

$$B = 2f_{m \max}$$

Amplitude modulatie zal onefficiënt zijn doordat er een beperkte bandbreedte is toegestaan (9 kHz) en het bovendien zeer storingsgevoelig is (stoorsignalen zullen de draaggolfamplitude beïnvloeden).

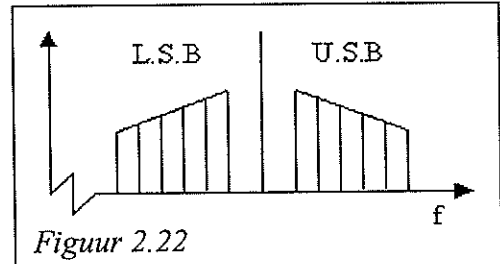
### 2.6.3 SSB (Single Side Band)

Bij modulatie met signalen afkomstig van spraak, muziek, beeld kan men dit volgens de Fourier analyse ontbinden in een aantal sinusvormige trillingen met verschillende frequenties.

Iedere sinusvormige component geeft dus aanleiding tot twee zijtrillingen in het gemoduleerde signaal (zie Figuur 2.22).

We bekommen nu twee zijbanden:

- U.S.B = upper side band
- L.S.B = lower side band



S.S.B. is een speciale vorm van A.M. waarbij een zijband wordt onderdrukt en de draaggolf ofwel onderdrukt wordt ofwel verzwakt wordt uitgezonden. De informatie in de ene zijband is dezelfde als in de andere (ze zijn elkaars spiegelbeeld) en de draaggolf bevat geen enkele informatie. Hij bepaalt enkel de ligging van de informatie in het frequentiespectrum. Een S.S.B. gemoduleerd signaal zal dus een veel kleinere bandbreedte hebben, nl. de helft van bij normale A.M.

Doordat de gebruikte bandbreedte kleiner is krijgen we een gunstiger signaal-ruisverhouding. Er is dus een kleinere storingsgevoeligheid t.o.v. A.M.

### 2.6.4 Hoekmodulatie

Beschouwen we nogmaals de draaggolf:

$$v_d = V_d \cos \omega_d t$$

Bij dit type modulatie gaat het modulerend signaal inwerken op de hoek ( $\omega_d t + \varphi$ ). Dit kan gebeuren door de frequentie  $f_d$  of de fase  $\varphi$  te variëren. Zo bekommen we respectievelijk frequentiemodulatie en fasemodulatie.

Bij frequentiemodulatie wordt de frequentie van de draaggolf op ieder ogenblik gewijzigd met een bedrag evenredig met de ogenblikkelijke waarde van het L.F. modulerend signaal.

$$(\delta f = k_f v_m) - |\omega = \omega_d + k_f v_m|$$

Bij Fasemodulatie wordt de fase van de draaggolf op ieder ogenblik gewijzigd met een bedrag dat evenredig is met de ogenblikkelijke waarde van het L.F. modulerend signaal.

$$(\delta \phi = k_p v_m) - |\phi(t) = \omega_d t + \varphi + k_p v_m|$$

We zullen nu de studie van hoekmodulatie iets grondiger uitvoeren met behulp van wiskunde.

$$\text{Gemoduleerd signaal } v = V_d \cos [ f(t) ] \quad (2.9)$$

De frequentie van het gemoduleerd signaal is op ieder ogenblik anders (ook de fase verandert continue van ogenblik tot ogenblik). Het gemoduleerde signaal is niet meer sinusoidaal. We kunnen dus enkel spreken van de momentele frequentie  $\omega$ . Dit is de frequentie van een zuiver sinusoidaal signaal welke op het beschouwde ogenblik het best met het gemoduleerde signaal overeenstemt.

$$\text{Gemoduleerd signaal: } v = V_d \cos [ f(t) ] \quad (\text{zie Figuur 2.23 I})$$

$$\text{Zuiver sinusoidaal signaal: } a = A \cos (\omega t + \varphi) \quad (\text{zie Figuur 2.23 II})$$

Opdat beide signalen op hetzelfde ogenblik zo goed mogelijk met elkaar zouden overeenstemmen moeten:

1. de amplitudes gelijk zijn:  $A = V_d$
2. de momentele waarden gelijk zijn op hetzelfde ogenblik

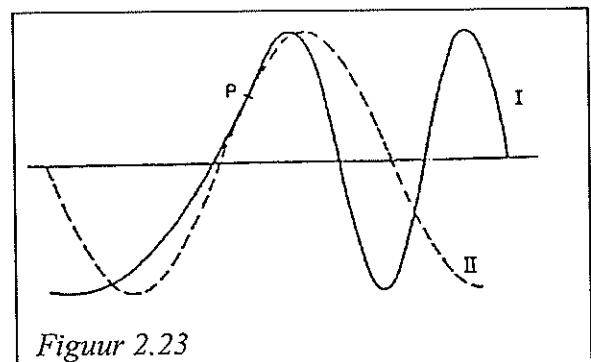
$$v = a \quad \text{of} \quad V_d \cos [ f(t) ] = A \cos (\omega t + \varphi)$$

en afhankelijk van voorwaarde 1 moet  $f(t) = \omega t + \varphi$

3. de raaklijnen aan beide krommen in het beschouwde punt P samenvallen.

$$\begin{aligned} \frac{d[V_d \cos [ f(t) ]]}{dt} &= \frac{d[A \cos (\omega t + \varphi)]}{dt} \\ -V_d \sin [ f(t) ] \frac{d[f(t)]}{dt} &= -A \omega \sin (\omega t + \varphi) \\ \omega &= \frac{d[f(t)]}{dt} \quad \text{of} \quad f(t) = \int \omega . dt \end{aligned} \quad (2.10)$$

Nu we de uitdrukking voor de tijdsfunctie  $f(t)$  hebben afgeleid zullen we voor de beide vormen van hoekmodulatie de uitdrukking voor het gemoduleerde signaal opstellen.





## 1. Frequentie Modulatie (FM)

Het principe van FM wordt in de figuur 2.24 toegelicht.

de momentele frequentie:

$$\omega = \omega_d + \delta\omega$$

$$\text{of } \omega = \omega_d + k_f \cdot V_m \cos \omega_m t$$

$$\text{stel } k_f \cdot V_m = \Delta\omega$$

$$\omega = \omega_d + \Delta\omega \cdot \cos \omega_m t$$

uit 2.10 volgt:

$$f(t) = \int_0^t (\omega_d + \Delta\omega \cos \omega_m t) dt$$

$$f(t) = \omega_d t + \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \sin \omega_m t$$

uit 2.9 volgt:

$$v = V_d \cos \left[ \omega_d t + \frac{\Delta\omega}{\omega_m} \sin \omega_m t \right]$$

$$m' = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{k_f \cdot V_m}{\omega_m} = \frac{k_f \cdot V_m}{2\pi f_m}$$

$$v = V_d \cos \left[ \omega_d t + m' \cdot \sin \omega_m t \right]$$

$$\delta\phi = m' \cdot \sin \omega_m t$$

$$\Delta\phi = m' = \frac{k_f \cdot V_m}{\omega_m}$$

$$\delta\phi = m' \cdot \cos \left( \frac{\pi}{2} - \omega_m t \right)$$

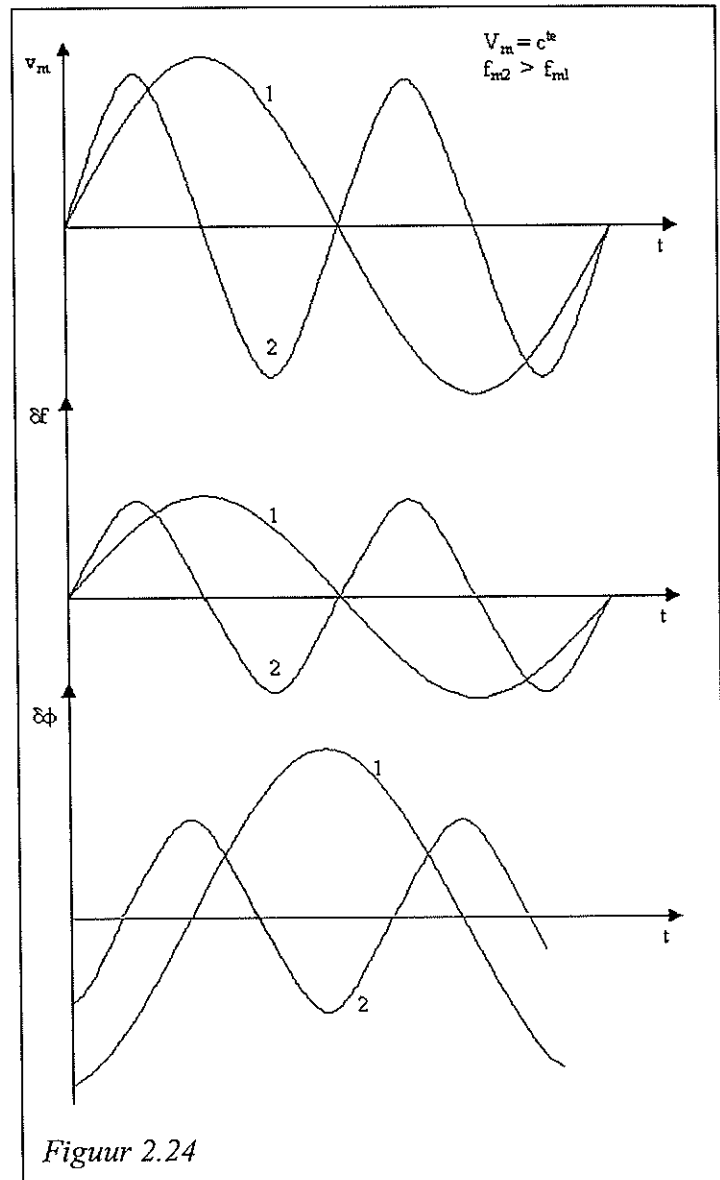
$$\text{of } \delta\phi = m' \cdot \cos \left( \omega_m t - \frac{\pi}{2} \right)$$

de frequentie zwaai :  $\delta\omega = k_f \cdot V_m \cdot \cos \omega_m t$

- is evenredig met de amplitude van het laagfrequent modulerend signaal.
- is onafhankelijk van de frequentie van het laagfrequent signaal
- is in fase met het laagfrequent signaal

de fase afwijking:  $\delta\phi = \frac{k_f \cdot V_m}{\omega_m} \cdot \cos \left( \omega_m t - \frac{\pi}{2} \right)$

- is evenredig met de amplitude van het laagfrequent signaal



- is omgekeerd evenredig met de frequentie van het laagfrequent signaal
- is 90° naijlend op het laagfrequent signaal

## 2. Fase modulatie

Het principe van fase modulatie wordt toegelicht in figuur 2.25.

de momentele fase:  $f(t) = \omega_d t + \delta\phi$  of  $f(t)$

$$= \omega_d t + k_p \cdot V_m \cdot \cos\omega_m t$$

$$\text{stel } k_p \cdot V_m = \Delta\phi$$

$$f(t) = \omega_d t + \Delta\phi \cdot \cos\omega_m t$$

uit 2.9 volgt:

$$v = V_d \cdot \cos(\omega_d t + \Delta\phi \cos\omega_m t)$$

$$\text{maximum fasezwaai: } \Delta\phi = m'' = k_p \cdot V_m$$

$$v = V_d \cdot \cos(\omega_d t + m'' \cos\omega_m t)$$

$$\omega = \frac{d(\omega_d t + m'' \cos\omega_m t)}{dt}$$

$$\omega = \omega_d - m'' \cdot \omega_m \cdot \sin\omega_m t$$

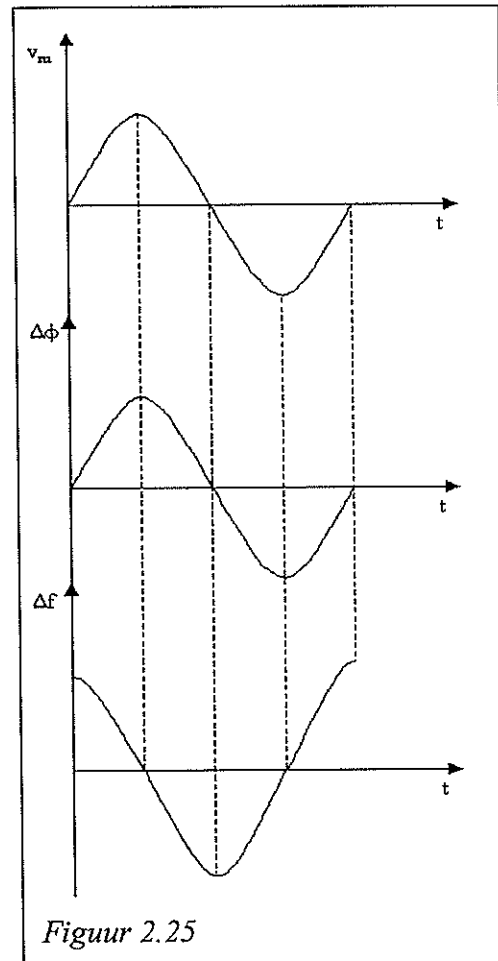
$$\delta\omega = -m'' \omega_m \cdot \sin\omega_m t$$

$$\delta\omega = -k_p \cdot V_m \cdot \omega_m \cdot \sin\omega_m t$$

$$\Delta\omega = k_p \cdot V_m \cdot \omega_m$$

$$\delta\omega = \Delta\omega \cdot \sin(-\omega_m t)$$

$$\delta\omega = \Delta\omega \cdot \cos\left(\omega_m t + \frac{\pi}{2}\right)$$



Figuur 2.25

$$\text{de frequentie zwaai} = \delta\omega = k_p V_m \omega_m \cdot \cos\left(\omega_m t + \frac{\pi}{2}\right)$$

- is evenredig met de amplitude van het laagfrequent signaal
- is evenredig met de frequentie van het laagfrequent signaal
- is 90° voorijlend op het laagfrequent signaal

$$\text{de fase afwijking: } \delta\phi = k_p \cdot V_m \cdot \cos\omega_m t$$

- is evenredig met de amplitude van het laagfrequent signaal
- is afhankelijk van de frequentie van het laagfrequent signaal
- is in fase met het laagfrequent signaal

## 2.7 Microgolfantennes

De eigenschappen van microgolven enerzijds en het hoogste deel van het UHF-spectrum anderzijds overlappen elkaar gedeeltelijk, zeker waar het antennes betreft. In dit hoofdstuk werpen we een blik op microgolfantennes die onder andere gebruikt worden voor satellietcommunicatie. Bij antennes voor zeer hoge frequenties luistert alles wat nauwer dan bij lagere frequenties omdat de golflengte van de signalen bijzonder klein is. De frequentie van een microgolfsignaal wordt meestal uitgedrukt in GigaHertz terwijl de golflengte in centimeter (cm) of millimeter (mm) wordt gemeten in plaats van in meter.

### *2.7.1 Inleiding*

Antennes worden in communicatiesystemen van zeer lage tot zeer hoge frequenties gebruikt. Zowel in theorie als in de praktijk worden antennes gebruikt tot de frequentie in de buurt van infrarood en zichtbaar licht komt; daar beginnen optische systemen belangrijker te worden. Microgolven vormen een overgangsgebied tussen gewone radiogolven en lichtgolven. Het zal u dan ook niet verbazen dat in de microgolfttechnologie technieken uit beide “werelden” worden toegepast. Zo komen we bijvoorbeeld in microgolfsystemen zowel dipolen als parabolische reflectoren tegen.

Een antenne heeft geen ander doel in het leven dan als omzetter (transducer) te fungeren van elektrische trillingen of zich voortplantende geleide golven (in transmissielijnen of golfgeleiders) naar een zich in de vrije ruimte voortplantende elektromagnetische golf. Eén van de belangrijkste taken van een antenne is de aanpassing te verzorgen tussen de impedantie van de golfgeleider of transmissielijn en de impedantie van de vrije ruimte.

Antennes kunnen met evenveel succes zowel voor zenden als ontvangen worden gebruikt: ze gehoorzamen immers aan de reciprociteitswet. Er bestaan wellicht praktische of mechanische redenen om voor zenden en ontvangen specifieke antennetypen te kiezen, maar in elektrisch opzicht zijn ze in elk geval identiek.

Bij gebruik als zendantenne moet de antenne elektromagnetische energie afstralen. In dat geval is de antenneversterking (G) de belangrijkste eigenschap. Bij ontvangst is de taak van de antenne het verzamelen van de energie van invallende elektromagnetische golven in de vrije ruimte. De belangrijkste eigenschap is in dat geval het effectieve antenne-oppervlak ( $A_e$ ). Dit is een functie van de fysieke oppervlakte van de antenne. Vanwege de reciprociteit

impliceert een grote antenneversterking doorgaans ook een groot effectief oppervlak en omgekeerd.

### **2.7.2 *Het isotrope antennemodel***

Antennedefinities en -specificaties zijn waardeloos tenzij er een gemeenschappelijk kader is waaraan alle uitspraken afgemeten kunnen worden. Hoewel er een aantal verschillende systemen in gebruik is om de eigenschappen van antennes te beschrijven, wordt bij het meest gebruikte systeem een specifieke antenne vergeleken met een theoretische antenne die isotrope straler wordt genoemd (*zie 2.4.2*).

Een isotrope straler is een bolvormige puntbron die straling in alle richtingen even goed afstraalt. Per definitie is de directiviteit (“richtingsgevoeligheid”) van een isotrope antenne gelijk aan 1; de antenneversterking wordt altijd ten opzichte van deze standaard gemeten. Omdat de geometrie en het afstraalgedrag van een bol goed bekend zijn, kunnen voor elk willekeurig punt de veldsterkte en de vermogensdichtheid berekend worden. Deze waarden kunnen dan worden vergeleken met de werkelijke waarden van de antenne onder test. Uit de bolvormige geometrie volgt de isotrope vermogensdichtheid op willekeurige afstand  $R$  van de puntbron:

$$P_d = P / 4\pi R^2 \quad (2.11)$$

Met:

$P_d$  = vermogensdichtheid in  $W/m^2$

$P$  = het vermogen dat aan de isotrope straler wordt toegevoerd, in  $W$

$R$  = de afstand (in  $m$ ) waarop de vermogensdichtheid wordt gemeten

In het vervolg worden de antenneversterking (of winstfactor) en richtingsgevoeligheid altijd gespecificeerd ten opzichte van een isotrope straler.

### **2.7.3 *Het nabije en het verre veld***

Antennes worden gedefinieerd in termen van antenneversterking en richtingsgevoeligheid, die beide gemeten worden aan de hand van het afgestraalde veld van de antenne. Daarbij moeten we twee velden onderscheiden: het nabije veld (near field) en het verre veld (far

field). De gepubliceerde antennepatronen hebben meestal betrekking op de prestaties in het verre veld. Dat veld neemt af volgens een inverse kwadratische functie; dat wil zeggen dat de sterkte afneemt met het kwadraat van de afstand ( $1/R^2$ ), zoals al blijkt uit vergelijking (2.11).

Het nabije veld van de antenne bevat meer energie dan het verre veld vanwege de elektrische en magnetische velden dicht bij het stralende element van de antenne. Dit nabije veld neemt snel af met de afstand.

#### 2.7.4 Antenne-impedantie

De impedantie representeert de totale weerstand die een (bijvoorbeeld HF-) wisselstroom ondervindt, en bezit zowel resistieve als reactieve componenten. De reactieve componenten kunnen capacitief, inductief of een combinatie van beide zijn. De impedantie kan op twee manieren worden uitgedrukt:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.12)$$

of

$$Z = R \pm jX \quad (2.13)$$

Van deze beide mogelijkheden wordt de schrijfwijze van vergelijking (2.13) waarschijnlijk het meest gebruikt voor HF-toepassingen. De reactieve component van de antenne-impedantie komt voor rekening van de magnetische en elektrische velden vlakbij de straler, die tijdens elke periode van het signaal energie terugleveren aan de antenne. Het resistieve deel van de impedantie bestaat uit twee componenten: ohmse verliezen ( $R_o$ ) en stralingsweerstand ( $R_r$ ). De ohmse verliezen worden veroorzaakt doordat de HF-stroom de geleidende elementen van de antenne opwarmt (dit gebeurt trouwens bij elke stroomvoerende geleider).

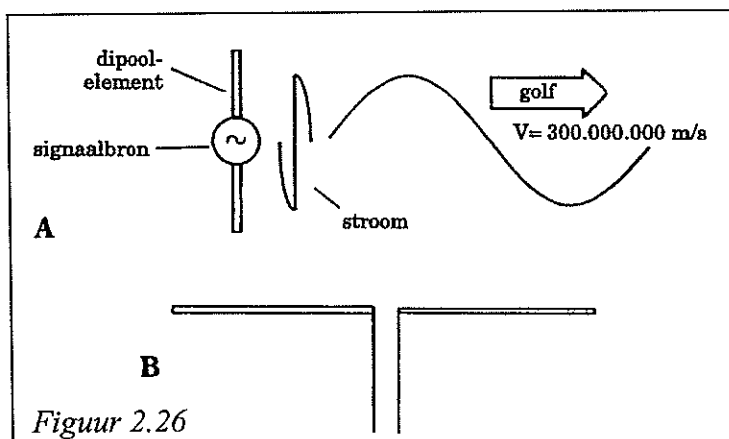
De stralingsweerstand is afhankelijk van de afgestraalde energie. De ohmse en de stralingsweerstand bepalen het stralingsrendement  $K$ :

$$K = R_r / (R_r + R_o)$$

De antenne-ontwerper streeft ernaar  $R_0$  zo klein mogelijk te maken. De waarde van  $R_r$  ligt vast door het ontwerp en de installatie van de antenne, en is gedefinieerd als het quotiënt van spanning en stroom bij het voedingspunt (minus verliezen).

### 2.7.5 Dipool-elementen

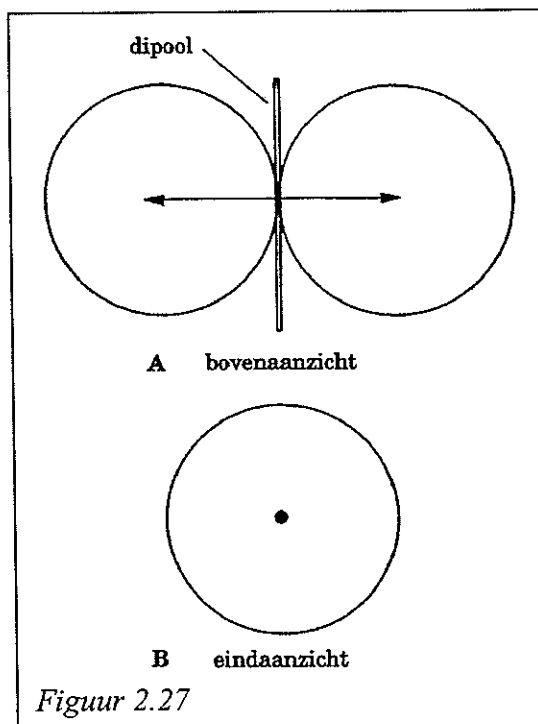
Een dipool is zoals de naam al suggereert een tweepolige antenne (zie Figuur 2.26) die de vorm kan hebben van een enkelvoudige straler die in het midden wordt gevoed (zie Figuur 2.26 A) of van een tweetal stralers die “rug-aan-rug” gevoed worden (zie Figuur 2.26 B).



Figuur 2.26

De HF-stroom van de bron loopt in de straler heen en weer waardoor een elektromagnetische golf in een richting loodrecht op het element wordt afgestraald. De polariteit van elk elektromagnetisch veld is gedefinieerd als de richting van de vector van het elektrische veld. Bij een dipool is het signaal evenwijdig aan het stralende element gepolariseerd: een horizontaal element produceert een horizontaal gepolariseerd signaal en een vertikaal element een vertikaal gepolariseerd signaal.

De Figuur 2.27 toont het antenne- of stralingspatroon van een dipool, uit twee richtingen gezien. Figuur 2.27 A laat het bovenaanzicht zien van het patroon van een horizontale half- $\lambda$ -dipool. Hier is de directiviteit

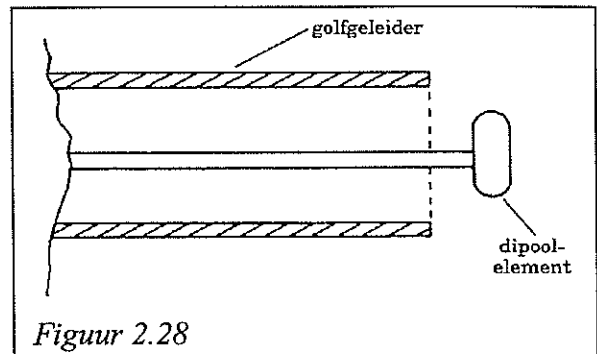


Figuur 2.27

van de dipool duidelijk te zien: de maximale afstraling vindt plaats in twee loben loodrecht op de lengterichting van de straler. Figuur 2.27 B geeft het eindaanzicht van de dipool. Dit patroon geldt voor een van bovenaf bekeken verticale dipool. Het eindaanzicht van een

horizontale dipool ziet er in principe hetzelfde uit, maar wordt verstoord door grondeffecten tenzij de antenne een groot aantal golflengtes boven de grond is opgesteld.

In de Figuur 2.28 is een microgolf-dipool te zien. Het stralende element van de antenne bestaat uit een korte geleider aan het eind van een golfgeleidersectie. De meeste dipolen voor lage frequenties zijn een halve golflengte lang. Een microgolf-dipool kan



Figuur 2.28

echter ook langer of korter dan de halve golflengte zijn: dat is afhankelijk van de toepassing. Omdat de meeste microgolfdipolen bijvoorbeeld worden gebruikt om een of andere reflector te “verlichten” (bestralen), is de lengte van de dipool in dat geval afhankelijk van de exacte verlichtingsfunctie die nodig is voor de goede werking van de reflector. De meeste dipolen meten echter een halve golflengte.

De dipool uit de vorige alinea illustreert de fundamentele eigenschappen van het soort antenne dat gewoonlijk gebruikt wordt bij microgolf-frequenties: richtingsgevoeligheid en versterking. Dit zijn twee verschillende begrippen die echter zo nauw met elkaar zijn verweven dat ze meestal tegelijk besproken worden. Vanwege de directiviteit (zie 2.5.6) focuseert de dipoolantenne de energie in twee richtingen. Alle energie wordt dus in die twee richtingen geconcentreerd in plaats van verspreid over een bolvormig oppervlak. De dipool heeft een versterking van ongeveer 2,1 dB ten opzichte van een isotrope straler. Met andere woorden: de gemeten vermogensdichtheid voor een gegeven punt zal 2,1 dB hoger zijn dan de berekende isotrope vermogensdichtheid voor hetzelfde HF-ingangsvermogen.

### 2.7.6 Directiviteit

De directiviteit van een antenne is een maat voor diens vermogen om HF-energie in een bepaalde richting te sturen in plaats van in gelijke mate in alle richtingen. Het horizontale stralingspatroon van een dipool is bidirectioneel achtvormig. In de Figuur 2.29 zijn twee manieren geschetst om unidirectionele (éénrichtings) antennepatronen weer te geven. Figuur a is een pooldiagram, van bovenaf gezien. De hoofdlob is gecentreerd op de 0°-as. In de Figuur b is dezelfde informatie in een rechthoekige grafiek weergegeven.

De directiviteit (D) is een verhouding van relatieve vermogensdichtheden:

$$D = P_{\max} / P_{\text{gem}}$$

of t.o.v. een isotrope straler:

$$D = 4\pi / \Theta$$

Hierin is:

$D$  = directiviteit

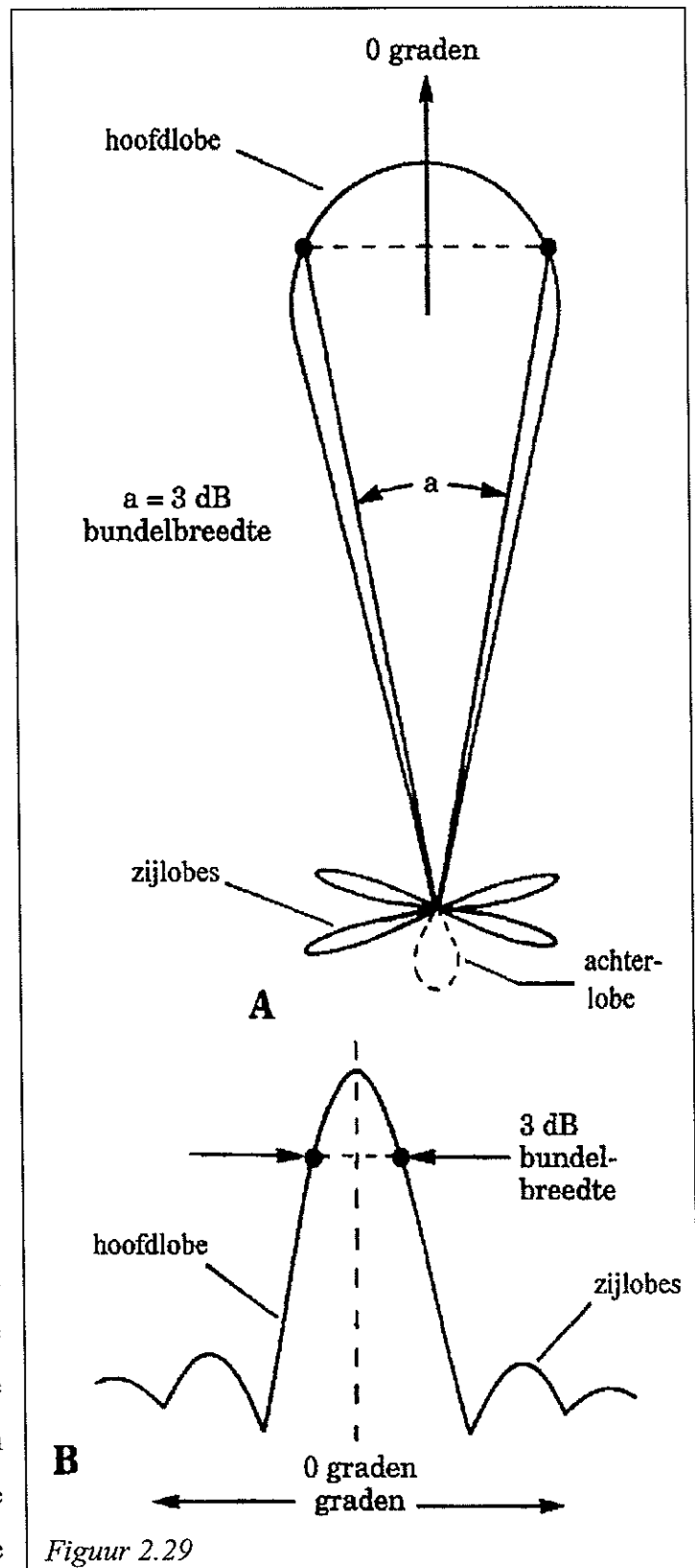
$P_{\max}$  = maximaal vermogen

$P_{\text{gem}}$  = gemiddeld vermogen

$\Theta$  = ruimtehoek die de hoofdlobe  
onderspant

De term  $\Theta$  is een ruimtehoek, wat het feit benadrukt dat antennepatronen in tenminste twee richtingen moeten worden beschouwd: horizontaal en vertikaal.

Een gebruikelijke manier om de directiviteit van een antenne te specificeren, is de bundelbreedte. Deze is gedefinieerd als de hoek tussen de punten op de hoofdlobe (zie Figuren 2.29 A en B) waar de vermogensdichtheid is afgenomen tot de helft (3dB) van de maximale vermogensdichtheid van de



Figuur 2.29

hoofdlobe. Deze hoek is in de Figuur 2.29 A aangegeven met de letter a. Bij een ideaal antennesysteem wordt het vermogen volledig in de hoofdlobe afgestraald en zijn er geen andere lobes. Bij echte antennes veroorzaken bepaalde ontwerp- en installatie-anomalieën een aantal extra lobbes, zoals de zijlobbes en de achterlobe die in de figuur a zijn getekend.



Deze extra lobbes veroorzaken diverse problemen. In de eerste plaats gaat er nuttig vermogen in verloren. Bij een gegeven vermogensdichtheid ter plaatse van een ontvanger op grote afstand moet de zender extra vermogen leveren ter compensatie van de verliezen in de zijlobes. In de tweede plaats is daar het probleem interferentie tussen verschillende systemen. Een belangrijke bestaansreden van richtingsgevoelige (directionele) antennes is het voorkomen van wederzijdse interferentie tussen nabije stations op hetzelfde kanaal.

### 2.7.7 Antenneversterking

Antenneversterking treedt op wanneer de uitgezonden energie in een beperkt volume wordt geconcentreerd in plaats van over een bolvormig oppervlak “uitgesmeerd” te worden. De term versterking suggereert dat de antenne het toegevoerde vermogen vergroot; in werkelijkheid is dat natuurlijk niet het geval: de energie die anders over een groot oppervlak zou worden uitgestraald, wordt nu in een enkele richting geconcentreerd. Niettemin kunnen we wel degelijk over een schijnbare vermogenstoename spreken. Een systeem van zender plus antenne wordt vaak beoordeeld aan de hand van het effectief afgestraalde vermogen (ERP: *Effective Radiated Power*). Het ERP is het product van het uitgangsvermogen van de zender en de winstfactor van de antenne. Als een antenne bijvoorbeeld een winstfactor van + 3 dB heeft, zal het ERP het dubbele zijn van het uitgangsvermogen van de zender. Met andere woorden, een 100-W-zender zal in combinatie met een 3-dB-antenne bij een ver verwijderde ontvanger een vermogensdichtheid produceren welke gelijk is aan die van een 200-W-zender in combinatie met een isotrope straler. We onderscheiden twee met elkaar verwante winstfactoren: de directiviteitswinst ( $G_d$ ) en de vermogenswinst ( $G_p$ ).

De directiviteitswinst is gedefinieerd als het quotiënt van de maximale stralingsintensiteit en de gemiddelde stralingsintensiteit (let op de gelijkenis met de definitie van de directiviteit). Deze maat voor de versterking is gebaseerd op de vorm van het stralingspatroon van de antenne en kan ten opzichte van een isotrope straler ( $D = 1$ ) worden berekend volgens:

$$G_d = 4\pi P_a / P_r$$

Hierin is:

$G_d$  = directiviteitswinst

$P_a$  = maximaal uitgestraald vermogen per eenheid van ruimtehoek

$P_r$  = totaal vermogen dat door de antenne wordt uitgestraald

De vermogenswinst is vergelijkbaar, zij het ietwat verschillend van de directiviteitswinst: hierin zijn de verliezen ten gevolge van dissipatie in de antenne “meegenomen”. Verliezen ten gevolge van kruispolarisatie of misaanpassing tussen de golfgeleider of de transmissielijn en de antenne zijn niet in de definitie van de vermogenswinst verwerkt. De twee bekendste manieren om de vermogenswinst te bepalen, zijn:

$$G_p = 4\pi P_a / P_n \quad (2.13)$$

met:

$G_p$  = vermogenswinst

$P_a$  = maximaal uitgestraald vermogen per eenheid van ruimtehoek

$P_n$  = netto vermogen dat door de antenne wordt opgenomen (minus verliezen ten gevolge van misaanpassing)

Vergelijking (2.13) veronderstelt dat de antenne en de isotrope straler waarmee deze wordt vergeleken, een gelijk vermogen krijgen toegevoerd.

Als de ohmse verliezen verwaarloosbaar zijn, wordt de relatie tussen directiviteitswinst en vermogenswinst gegeven door:

$$G_p = P_r G_d / P_n$$

Betekenis van alle termen als boven genoemd.

Het verband tussen winstfactor en antenne-oppervlak

Antennes gehoorzamen aan de reciprociteitswet. De functie van een ontvangstantenne is energie te verzamelen van het elektromagnetische veld dat door de zendantenne wordt afgestraald. De apertuur is gerelateerd aan en is vaak vrijwel gelijk aan het fysieke oppervlak van de antenne. Bij sommige ontwerpen is de effectieve apertuur of het effectieve antenne-oppervlak ( $A_e$ ) kleiner dan de fysieke oppervlakte ( $A$ ) zodat er een rendementsfactor ( $\eta$ ) in rekening moet worden gebracht. Over het algemeen echter bezit een zendantenne met een grote winstfactor bij ontvangst ook een groot effectief oppervlak; het verband is als volgt.

$$G = 4\pi A_e n / \lambda^2$$

met:

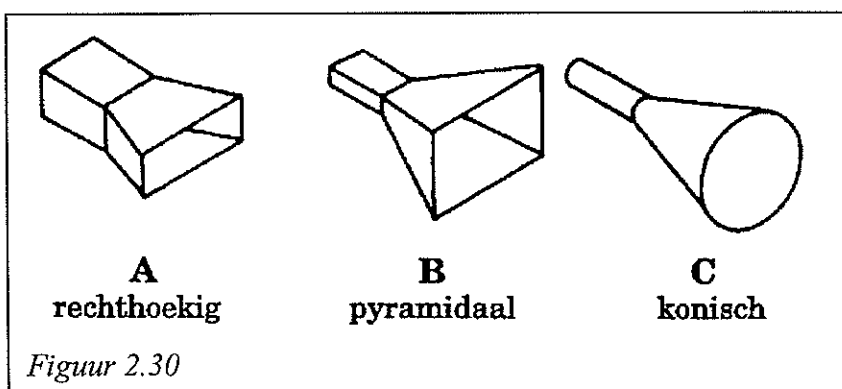
$A_e$  = effectief antenne-oppervlak

$n$  = rendementsfactor ( $n = 1$  voor een ideale verliesvrije antenne)

$\lambda$  = golflengte van het signaal

### 2.7.8 Hoornstralers

Een hoornstraler is het taps uitlopende einde van een stuk golfgeleider (zie Figuur 2.30) dat de transformatie verzorgt tussen de impedantie



van de golfgeleider en de impedantie van de vrije ruimte. Hoornstralers worden als “zelfstandige” antennes gebruikt, maar ook om reflectorantennes aan te stralen. Hoornantennes zijn niet optimaal aan de golfgeleider aangepast; niettemin zijn staandegolfverhoudingen van 1,5:1 of minder haalbaar.

De winstfactor van een hoornstraler is evenredig met de oppervlakte ( $A$ ) van het brede open uiteinde en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de golflengte:

$$G = 10A / \lambda^2$$

met

$G$  = winstfactor (antenneversterking)

$A$  = oppervlakte van de hoornopening

$\lambda$  = golflengte (1 als  $A$  in dezelfde eenheid uitdrukken)

De 3-dB-bundelbreedte in het verticale en horizontale vlak wordt bij benadering gegeven door:

vertikaal:  $\Theta_v = 51\lambda / b$

horizontaal:  $\Theta_h = 70\lambda / a$

Hierin is:

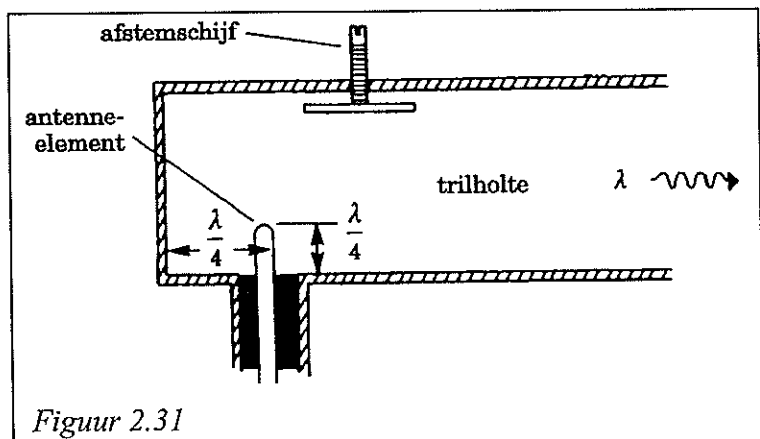
$\Theta_v$  = verticale bundelbreedte in graden

$\Theta_h$  = horizontale bundelbreedte in graden

a,b = afmetingen van de hoornopening (m)

$\lambda$  = golflengte (m)

De trilholte-antenne van de figuur 2.31 is verwant aan de hoornantenne. Bij dit type antenne steekt een kwart- $\lambda$  straler uit de golfgeleider of transmissielijnconnector in een resonantieholte, en wel op een kwart golflengte van de achterzijde van de holte. Met een afstemschijf kan de geometrie van de holte worden



Figuur 2.31

gewijzigd, zodat de antenne over een klein bereik kan worden afgestemd. Met deze configuratie is een winstfactor van maximaal ongeveer 6 dB haalbaar.

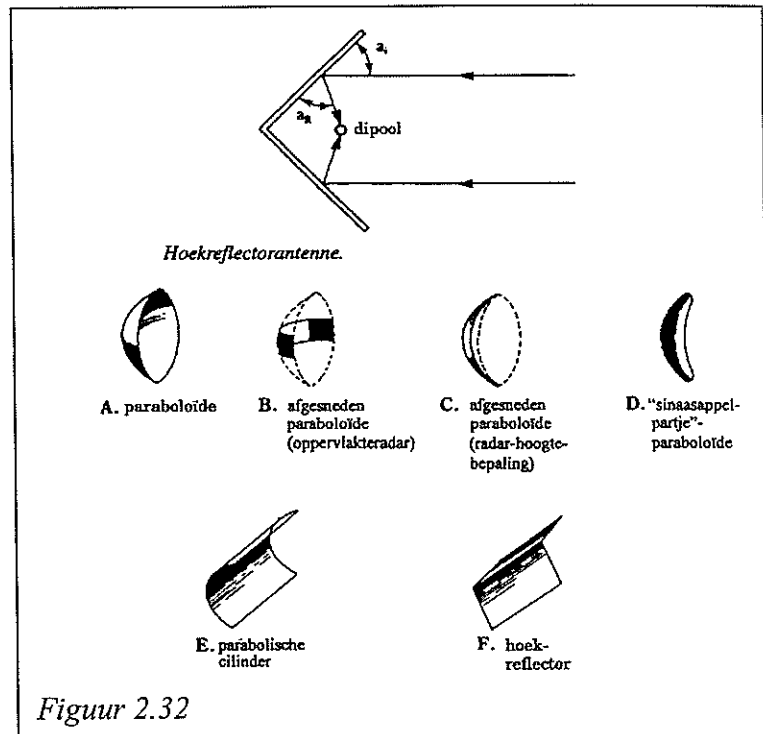
Een versie van deze antenne genoot enkele jaren geleden enige populariteit onder lieden die illegaal het 2,145-GHz-distributiepunt van een kabelmaatschappij wilden aftappen. Er waren zelfs diverse trilholte-antennes gezien die van conservenblikken waren vervaardigd.

### 2.7.9 Reflectorantennes

Bij microgolffrequenties wordt het mogelijk reflectoren te gebruiken omdat de golflengtes zo klein zijn. Reflectoren zijn bij lagere frequenties in theorie ook wel mogelijk, maar vanwege de grotere golflengte zou de antenne een onhandelbare omvang moeten krijgen. Reflectoren kunnen allerlei vormen hebben (zie Figuren 2.32). De eerste figuur van 2.32

toont een hoekreflectorantenne die vooral wordt toegepast voor de hoge UHF- en lage microgolfbereiken. In het brandpunt van de hoekreflector wordt een dipool-element geplaatst dat de door beide oppervlakken gereflecteerde golffronten met dezelfde fase ontvangt.

De reflectoren kunnen van massief metaalplaat of van gaas worden gemaakt. In dat laatste



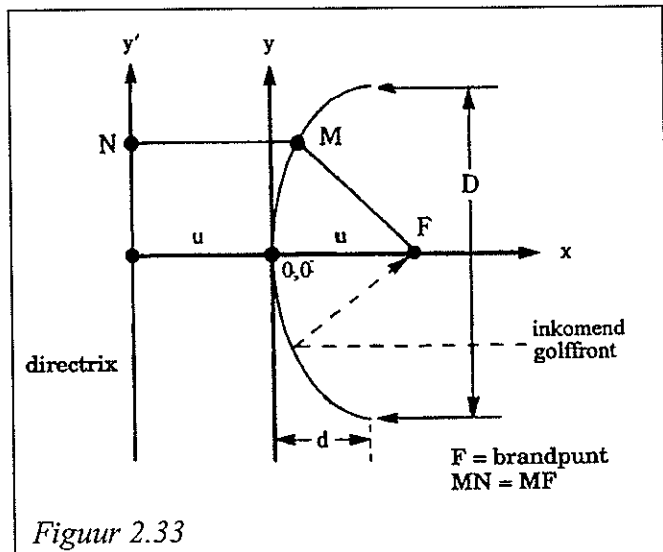
Figuur 2.32

geval moeten de mazen echter kleiner dan  $1/12 \lambda$  zijn.

De tweede figuur van 2.32 toont enkele reflectorvormen; de meeste daarvan worden gebruikt bij diverse radar- en microgolf-communicatietoepassingen.

### 2.7.10 Parabolische schotelantennes

De parabolische schotelantenne (niet te verwarren met de diabolische schotelantenne) is een van de meest gebruikte microgolfantennes en het type waar men het eerste aan denkt wanneer microgolfsystemen ter sprake komen. De werking van deze antenne berust in feite op de optische fysica omdat het microgolfbereik op de grens tussen gewone radiogolven en infrarood en



Figuur 2.33

zichtbaar licht ligt. De schotelantenne heeft een parabolische vorm (zie Figuur 2.33). In deze figuur bevindt het middelpunt van het schoteloppervlak zich in de oorsprong van een X/Y-coördinatenstelsel, het oppervlak wordt gedefinieerd met behulp van een tweede verticale as, de richtlijn (y') op een afstand gelijk aan de brandpuntsafstand (u) achter het

oppervlak. Het parabolische oppervlak wordt beschreven door de functie  $y^2 = 4ux$  en heeft de eigenschap dat een lijn vanuit het brandpunt (F) naar een willekeurig punt op het oppervlak, dezelfde lengte heeft als de loodlijn vanuit datzelfde punt op de richtlijn (met andere woorden:  $MN = MF$ ). Als een straler in het brandpunt F wordt geplaatst, zal dit het oppervlak van de reflector zodanig bestralen dat golffronten zich met gelijke fase vanaf het oppervlak voortplanten. Omgekeerd worden door de schotel opgevangen golffronten in het brandpunt gefocusseerd.

#### 2.7.10.1 Versterking

De versterking van een parabolische antenne is afhankelijk van een aantal factoren: de diameter van de schotel, de voeding (bestraling) en de nauwkeurigheid van het oppervlak. De diameter van de schotel (D) moet groot zijn in vergelijking met de diepte. De nauwkeurigheid van het oppervlak heeft betrekking op de vraag in hoeverre het oppervlak van een ideale paraboloïde afwijkt. Voor commerciële schotels is een nauwkeurigheid van een achtste golflengte meestal voldoende, maar voor bepaalde radarantennes moet de nauwkeurigheid beter zijn.

De “verlichting” (bestraling) door de straler heeft betrekking op de gelijkmatigheid waarmee hetstralende element de energie naar het schoteloppervlak afstraalt. Bij ronde parabolische schotels zorgt een cirkelvormige golfgeleider voor een optimale bestraling. Wenselijk is de TE<sub>11</sub>-modus. Voor de beste prestaties moet de bestraling vanaf het midden naar de rand gelijkmatig afnemen, waarbij de intensiteit aan de rand 10 dB lager is dan in het midden. De diameter, lengte en bundelbreedte van het straalement of de hoorn moeten geoptimaliseerd worden voor de specifieke F:d-verhouding van de schotel. De afsnijfrequentie wordt bij benadering gegeven door:

$$f_{\text{afsnij}} = 175698 / d$$

met:

$f_{\text{afsnij}}$  = afsnijfrequentie

d = binnendiameter van de ronde voedingshoorn in mm

De versterking van de parabolische schotelantenne volgt uit:

$$G = K (\pi D)^2 / \lambda^2$$

Hierin is:

G = versterking (winstfactor) ten opzichte van een isotrope straler

D = diameter van de schotel

$\lambda$  = golflengte (in dezelfde eenheid als D)

n = rendementsfactor (0,4 - 0,7; een waarde van 0,55 is het gebruikelijkst)

Indien men voor een 3-dB bundelbreedte de frequentie laat stijgen dan zal de golflengte dalen en bijgevolg de bundelbreedte dalen.

De 3-dB-bundelbreedte van een parabolische schotelantenne wordt benaderd met

bundelbreedte  $BW = 70\lambda / D$  (niet kunnen uitwerken wegens tijdsgebrek)

Berekening brandpuntsafstand:

We weten dat:

$$y^2 = 4ux$$

door invullen:

$$(D / 2)^2 = 4Fd$$

dan is de brandpuntsafstand:

$$F = D^2 / 16d$$

Voor ontvangstdoeleinden is het effectieve antennepoppvlak de relevante specificatie; deze volgt uit:

$$A_e = n (\pi D^2 / 4)$$

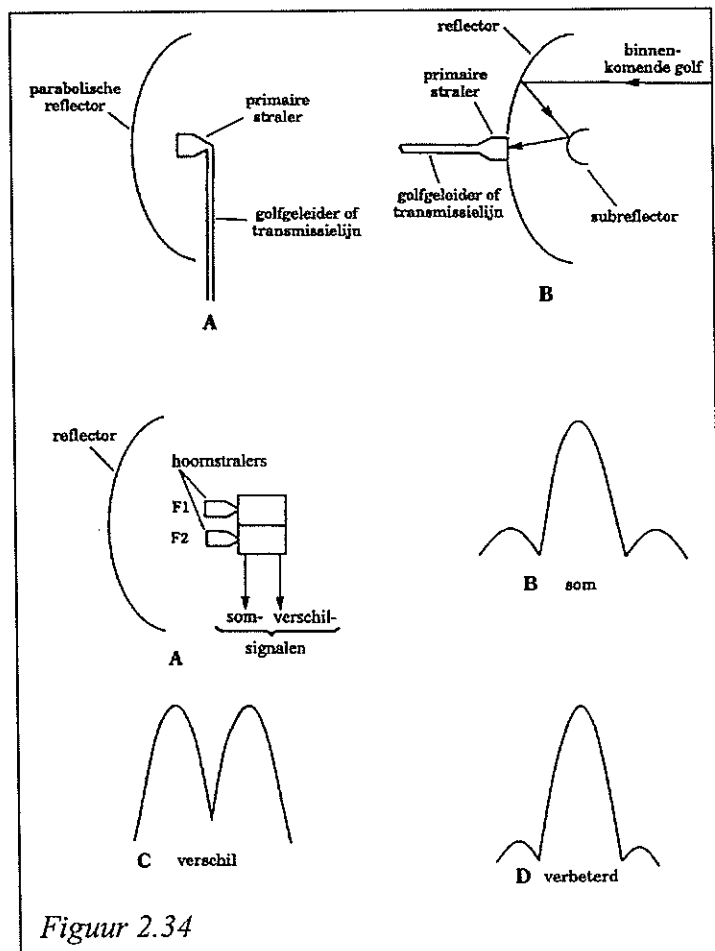
Bij bestraling met een hoornstraler zitten de zijlobes meestal 23-28 dB onder het niveau van de hoofdlobe: 10-15 dB onder het niveau van een isotrope straler. Uit metingen is gebleken dat bij de parabolische schotel ongeveer 50% van de afgestraalde energie binnen de 3-dB-bundelbreedte valt en 90 % tussen de eerste minima aan weerszijden van de hoofdlobe.

op een kwart golflengte achter de dipool om de bestraling van de schotel te verbeteren. Deze plaat moet een diameter van enkele golflengtes hebben; hij reflecteert de achterlobe terug naar het reflectoroppervlak. Bij reflectie keert de fase van het signaal om, overeenkomend met een weglengteverschil van een halve golflengte. Wanneer we hier tweemaal (heen en terug) de afstand van een kwart golflengte tussen dipool en reflecterende plaat bij optellen, komt het signaal van de achterlobe in fase met dat van de hoofdlobe bij de parabolische reflector aan.

### 2.7.10.2 Voeding van een parabolische schotel

De eerste figuur laat twee manieren zien om een parabolische schotelantenne te voeden, ongeacht de vorm van de straler (hoorn, dipool enzovoorts). In figuur a is de straler in het brandpunt gemonteerd en wordt de golfgeleider of de transmissielijn daar naartoe geleid. Deze methode vindt toepassing bij goedkope schotels, bijvoorbeeld voor satelliet-TV.

Figuur 2.34 B toont het Cassegrainvoedingssysteem. Dit systeem is afgeleid van de (optische) Cassegrain-spiegeltelescoop. De straler wordt in een gat in het midden van de schotel gemonteerd.



Een hyperbolische secundaire reflector wordt in het brandpunt geplaatst en weerkaatst de golffronten naar de straler. Het Cassegrainsysteem heeft om een aantal redenen minder last van ruis: de transmissielijn is korter, de zijlobes zijn kleiner en de open hoorn ziet de (koele) hemel in plaats van de (warme) aarde. Een nadeel van deze configuratie is dat een Cassegrain-schotel eventueel iets meer galactische en zonneruis oppikt.



In de tweede figuur zien we de monopuls-voedingsconfiguratie. In dit systeem is een tweetal stralers in het brandpunt geplaatst. De uitgangen daarvan gaan naar een vermogenssplitter die een som- (*Figuur 2.34 B*) en een verschilsignaal (*Figuur 2.34 C*) levert. Wanneer deze signalen worden gecombineerd, is de 3-dB-bundelbreedte verbeterd ten gevolge van de algebraïsche optelling (*Figuur 2.34 D*).

## ***HOOFDSTUK 3: TOEPASSINGEN VAN DE***

# ***SATELLIETCOMMUNICATIE***

Gebruikmakende van het principe van satellietcommunicatie werden er veel projecten opgestart. In dit hoofdstuk zullen we vier van die toepassingen bespreken nl. Teledesic, Satelliet-TV, GPS en Mobiele telecommunicatie.

### **3.1 Mobiele satellietcommunicatie**

Mobiele communicatie heeft zich in enkele jaren ontwikkeld tot een ware massadienst, alleen al door de zeer grote groei van GSM. Iedere seconde, dag en nacht, komt er ergens in de wereld een nieuwe GSM-gebruiker bij.

#### ***3.1.1 Overzicht***

Bij Mobiele of draadloze communicatie wordt een radioverbinding tot stand gebracht tussen een niet-plaatsgebonden communicatiestation en een vast communicatiestation. Deze communicatiestations kunnen zowel een zend-, ontvangst- als zend/ontvangststations zijn. Tot op heden werd vaak de term landmobiele communicatie gebruikt, waarbij de niet-plaatsgebonden communicatiestations zich op het land bevonden. Dit onderscheidt landmobiele communicatie van maritieme en aëronautische radiocommunicatie. Sommige satellietdiensten zoals bijvoorbeeld INMARSAT A en C zijn ontwikkeld voor maritiem gebruik. Pas later ontdekten de gebruikers op het vasteland de voordelen van deze diensten (transportondernemingen, internationale verslaggevers,...)

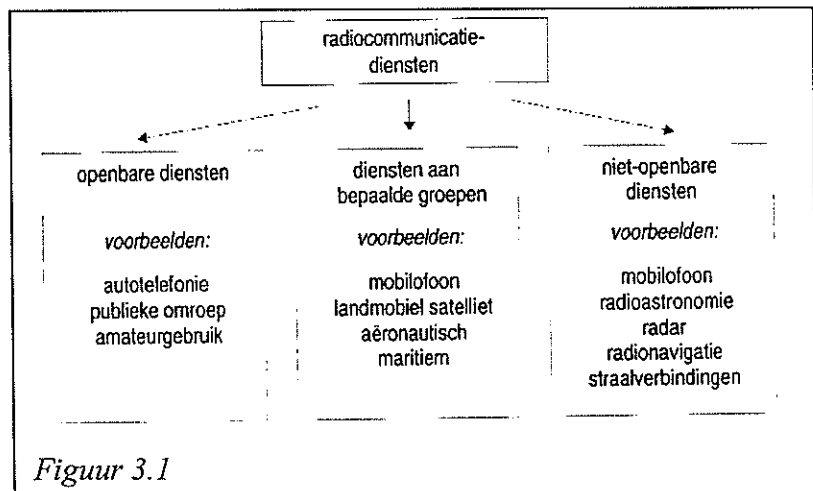
Het niet plaatsgebonden communicatiestation zal in dit hoofdstuk mobiele terminal genoemd worden. De mobiele terminal is verplaatsbaar, en bij sommige systemen kan de mobiele terminal ook communiceren tijdens het verplaatsen. Het is echter van geen belang of de mobiele terminal werkelijk verplaatst wordt. In sommige gevallen, waar het aanleggen van een vaste verbinding kostbaar is, blijkt mobiele communicatie vaak de goedkoopste oplossing.

Uitgaande van het onderscheid tussen de zender en de ontvanger van radiosignalen kunnen we voor de verbindingen de volgende vier categorieën onderscheiden.

- Aardse transmissieverbinding: zowel een aards zendstation als een aards ontvangstation, die zich op verschillende geografische locaties bevinden. Tweewegcommunicatie (met zend/ontvangst-stations) is een variant op deze categorie, evenals communicatievormen waarbij er meerdere ontvangststations zijn (bijvoorbeeld radio- en televisie-uitzendingen en semaforie).
- Radio-astronomie: enkel een aards ontvangstation. Dit wordt gebruikt om radiosignalen uit de ruimte te ontvangen en te besturen.
- Satelliet-transmissieverbinding: volgens het principe van satellietcommunicatie.
- Radar: het aardse zend- en ontvangstation bevinden zich op dezelfde plaats. Wordt gebruikt om objecten te lokaliseren via het meten van teruggekaatste radiogolven.

De Telecommunicatiediensten zijn onder te verdelen in (1) openbare diensten die voor iedereen toegankelijk zijn (eventueel na betaling), (2) diensten aan bepaalde groepen waarbij

alleen diegenen die lid zijn van een specifieke groep toegang hebben tot de netten waarop deze diensten gerealiseerd worden en (3) niet-openbare diensten, die we bij privé-netwerken tegenkomen. In deze figuur staat een overzicht van typen diensten en enkele voorbeelden.



In dit hoofdstuk zullen we enkel de mobiele communicatie via satelliet bespreken. De satellieten kunnen we dan nog eens in twee groepen onderverdelen, de geostationaire en de niet-geostationaire satellieten.

De beschikbare geostationaire systemen voor mobiele communicatie zijn zo kostbaar dat alleen specifieke gebruikersgroepen ze kunnen veroorloven. We denken dan aan (oorlogs)journalistiek, scheepvaart, mijnbouw in afgelegen gebieden,...

Mobiele satellietcommunicatie via niet-geostationaire systemen kan daar misschien verandering in brengen. Deze systemen hebben een veel hogere capaciteit, willen een groot aantal gebruikers en beloven lage(re) prijzen.

### *3.1.2 Geostationaire satellietssystemen*

Eén van de specialisten op het gebied van mobiele satellietcommunicatie is INMARSAT, die in 1982 de eerste satelliet-telefoondienst met wereldwijde dekking aanbood. In 1989 werd de dienst uitgebreid tot landmobiele communicatie en luchtvaartcommunicatie. Ook EUTELSAT bood vanaf 1991 een vergelijkbare dienst aan, maar dan alleen voor de Europese markt.

Al deze diensten bedienen een relatief klein marktsegment, omdat de apparatuur en communicatiekosten veel hoger zijn dan bij andere mobiele systemen. Er zijn desondanks enkele marktsegmenten waar de voordelen van continentale of zelfs wereldwijde dekking en onafhankelijkheid van aardse infrastructuur zo belangrijk zijn, dat deze opwegen tegen de hoge kosten. We moeten dan denken aan maritieme markten, werk op afgelegen locaties (opgravingen, derde wereld, boorplatformen), internationaal transport. We zullen hier verder ingaan op het overzicht van de bestaande systemen, namelijk:

- de circuitgeschakelde INMARSAT-A,-B en -M-diensten, geschikt voor spraak en data.
- De pakketgeschakelde INMARSAT-C- en EUTELTRACS-diensten, die alleen voor data geschikt zijn.

Alle genoemde systemen zijn gebaseerd op geostationaire satellieten. Op dit moment staan mobiele satellietdiensten sterk in de belangstelling, omdat nieuwe concepten met niet-geostationaire satellieten veel grotere markten in het vooruitzicht stellen.

De gebruiker van een mobiele terminal voor de hier besproken systemen moet beschikken over een vergunning. Zelfs voor toepassing in rampsituaties en bij internationale hulp bestaan er geen internationale overeenkomsten wat het vrije vervoer van satellietterminals betreft. Er is enige vooruitgang: gebruikers van INMARSAT-C-terminals kunnen tegenwoordig met één vergunning in alle lidstaten van de Europese Gemeenschap van hun terminals gebruikmaken. Buiten de Europese Gemeenschap is dat echter niet zonder meer toegelaten en kunnen vergunningen kostbaar zijn.

De INMARSAT-A-diensten worden in 135 landen aangeboden. Maar de satelliettelefoon kan natuurlijk wel in veel meer landen gebruikt worden. Voor het gebruik ervan moet wel toestemming verleend zijn door het land waarin die gebruiker zich bevindt. Wordt een dienst niet (lokaal) aangeboden in een land, dan kan een gebruiker die over de benodigde toestemming beschikt natuurlijk wel van internationale interconnectie gebruikmaken.

### 3.1.2.1 INMARSAT-A,-B en -M

#### 1. Geschiedenis van de standaarden

De afkorting INMARSAT staat voor International Maritime Satellite Organisation. Deze organisatie is in 1976 opgericht door de Intergovernmental Maritime Consultative Organisation (IMCO), omdat ze satelliettechnologie wilde inzetten voor veiligheid op zee. Het is duidelijk dat de organisatie zich in eerste instantie richtte op maritieme gebruikers. De gebruikers in de scheepsvaart vormden een eerste afnemer van radiotelegrafie. Dit was ook het geval bij satelliettelefonie: het is een markt met een duidelijke behoefte aan telefonie met wereldwijde dekking. Het enige alternatief, gebruik van lange-afstandsradiosystemen, was weinig aantrekkelijk. Het forse formaat van de terminals en het grote energieverbruik vormen op schepen meestal geen probleem. In de loop van de tijd zijn ook andere toepassingen in het bereik gekomen, vooral omdat de mobiele terminals compacter en goedkoper werden. De kleinste terminals van de huidige generatie hebben het formaat van een flinke aktentas en maken gebruik van een losse, uitvouwbare schotelantenne. Vanwege de grote afstand tussen mobiele terminals en de geostationaire satellieten is het gebruik van schotelantennes noodzakelijk. Het energieverbruik van mobiele terminals (in de orde van grootte van 200 Watt voor een INMARSAT-A mobiele telefoon) maakt een externe voedingsbron noodzakelijk.

De eerste geïntroduceerde dienst, INMARSAT-A, biedt sinds 1982 wereldwijde analoge spraakcommunicatie via een satellietnetwerk. Nog steeds vormt deze dienst verreweg de grootste inkomstenbron van de organisatie. In de afgelopen jaren zijn nieuwe spraak- en data-diensten geïntroduceerd die een digitale transmissieweg gebruiken. De eerste ervan was de INMARSAT-B, deze moet de vervanger worden voor de bestaande INMARSAT-A-dienst en is vooral gericht op het gebruik in de maritieme sfeer. Een andere was de INMARSAT-M, die moet wereldwijde communicatie met relatief goedkope en compacte terminals mogelijk gaan maken. En een laatste nieuwe, de INMARSAT-AERO-dienst richt zich op het gebruik van vliegtuigen. In de onderstaande tabel vindt je een overzicht van de nu beschikbare INMARSAT-diensten.

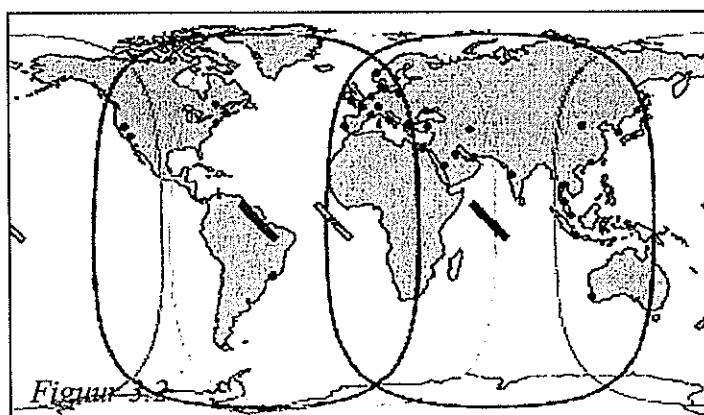
<i>Dienst</i>	Transmissieweg	Spraak	Data	Introductie
INMARSAT-A	Analoog	Ja	Nee	1982
INMARSAT-B	Digitaal	Ja (16 kbit/s)	Ja (9,6 kbit/s)	1992
INMARSAT-C	Digitaal	Nee	Ja (0,6 kbit/s)	1991
INMARSAT-M	Digitaal	Ja (4,8 kbit/s)	Ja (2,4 kbit/s)	1992
INMARSAT-AERO	Digitaal	Ja (9,6 kbit/s)	Ja (9,6 kbit/s)	1990

## 2. Systeemarchitectuur

Om een (vrijwel) wereldwijde dekking te realiseren, zijn er vier satellieten beschikbaar. De namen van de satellieten geven de bedekkingsregio aan:

van links naar rechts:

- Pacific Ocean Region
- Atlantic Ocean Region-West
- Atlantic Ocean Region-East
- Indian Ocean Region



Voor een deel overlappen de bedekkingsgebieden van deze vier operationele satellieten elkaar. Als voorzorgsmaatregel bij eventuele uitval is in elk bedekkingsgebied één reservesatelliet beschikbaar. We kunnen deze vier regio's elk als een onafhankelijk netwerk beschouwen. Elk netwerk bestaat uit:

- één operationele satelliet
- één netwerk-coördinatiestation (Netwerk Co-ordination Station (NCS))
- grondstations die, afhankelijk van de toepassing, Ship Earth Station (CES) of Land Earth Station (LES) heten
- mobiele terminals die, afhankelijk van de toepassing, Ship Earth Station (SES) of Mobile Earth Station (MES) worden genoemd.

De grondstations vormen het toegangspunt voor de (niet-mobiele) gebruiker door middel van interconnectie met andere netwerken. In totaal zijn er dertig grondstations (op de figuur

zijn dat die bolletjes), waarvan het overgrote deel (27 stuks) de INMARSAT-A-dienst ondersteunt. Tien stations ondersteunen ook INMARSAT-C, de pakketgeschakelde datadienst. Ook in Nederland is een grondstation gevestigd, nabij het Friese plaatsje Burum. PTT Telecom is een belangrijke Europese aanbieder van INMARSAT-diensten, die zij onder de naam 'station 12' op de markt brengt.

### 3. Technische realisatie

De INMARSAT-A-dienst biedt analoge spraaktransmissie, plus een telexdienst. De dienst biedt geen datatransport, maar de audioverbinding kan door de gebruiker eventueel wel worden ingezet voor datacommunicatie door aan beide zijden een (telefoon)modem te plaatsen. De maximale snelheid is sterk afhankelijk van het interconnectienetwerk, maar met standaard telefoonmodems van goede kwaliteit kan een snelheid van 9,6 kbit/s gehaald worden. Communicatie tussen mobiele terminals en satelliet vindt plaats in een band van twee maal 7,5 MHz in het gebied van 1,5 – 1,6 GHz. De frequenties voor heen- en terugweg zijn gepaard en liggen per definitie exact 101,5 MHz uit elkaar. Communicatie tussen satelliet en grondstations vindt plaats in de 4 tot 6 GHz-band. Vanwege de hoge frequenties en de beperkingen van de techniek ten tijde van het ontwerp wordt een relatief grote bandbreedte van 50 kHz per spraakkanaal gebruikt. Er wordt van een FDMA-toegangsmechanisme gebruikgemaakt.

De recentere INMARSAT-B moet de zojuist besproken analoge dienst op termijn gaan vervangen. Er wordt van dezelfde frequentieband gebruikgemaakt, maar nu wordt er in twee maal 20 MHz gecommuniceerd: 1525 tot 1545 MHz voor satelliet naar mobiele terminal en 1626,5 tot 1646,6 MHz voor de tegengestelde richting. De afstand tussen de banden is identiek aan die in de analoge versie, maar de gebruikte kanalen bij een sessie liggen niet per definitie even ver uit elkaar (ongepaard). Het systeem is zo ontworpen dat hergebruik van een groot deel van een bestaande INMARSAT-A mobiele terminal mogelijk is, waaronder de schotelantenne en de bijhorende richtinstallatie. Dit is vooral van belang bij bestaande installaties op schepen. Het algoritme voor spraakcompressie, Adaptive Linear Coding (ALC) resulteert in een gegevensstroom van 16 kbit/s. Er worden ook data- en faxdiensten ondersteund, beide tot een maximale snelheid van 9,6 kbit/s. De benodigde schotelantenne heeft een diameter van ongeveer 0,9 meter en het zendvermogen bedraagt 25 W.

Het INMARSAT-M-systeem is gericht op gebruikers van mobiele terminals op het vasteland. Nieuwe technieken zoals Digital Signal Processors (DSP's) moeten compacte en goedkopere terminals mogelijk maken. De gebruikte frequentieband is gelijk aan die van INMARSAT-B. Het systeem past een spraakcompressie toe die resulteert in een lage gegevenssnelheid van 4,8 kbit/s. Ook hier aangevuld met data- en faxdiensten (beide 2,4 kbit/s). De benodigde schotelantenne heeft een diameter van 0,3 tot 0,5 meter en het gebruikte zendvermogen bedraagt 22 W.

#### 4. Diensten en faciliteiten

De geboden communicatiediensten zijn telefonie-, telex- en faxdiensten.

In aanvulling hierop biedt INMARSAT-B de faciliteit tot groepsoproepen vanaf een vaste terminal. Het betreft hier eenwegberichten (telex). Met Normal Group Calls kan een geselecteerde groep zoals de commerciële vloot een bericht toegestuurd krijgen. Bij de Area Group Call kan een geografisch bereik aangegeven worden. Alle mobiele terminals (schepen) binnen dat bereik ontvangen dan het bericht. Ook INMARSAT-M kent de mogelijkheid tot groepsoproepen vanaf een vaste terminal.

#### 5. De mobiele terminals

Enkele tientallen fabrikanten leveren terminals voor de INMARSAT-diensten. Voor INMARSAT-A worden vooral vaste installaties op schepen gebruikt. Het gebruikelijke gewicht van een terminal bedraagt ongeveer 100kg.

Voor de INMARSAT-M zijn eveneens terminals in aktentas-formaat verkrijgbaar. Deze kennen eveneens een (wat kleinere) losse schotelantenne.

#### 3.1.2.2 INMARSAT-C

##### 1. Geschiedenis van de standaard

Het INMARSAT-C-systeem is in 1991 aan de bestaande INMARSAT-A-spraakdienst toegevoegd. Het systeem laat het toe met kleine, minder kostbare terminals korte telexberichten en databerichten uit te wisselen. In eerste instantie richtte dit systeem zich



ook op maritieme gebruikers. In een latere fase kwamen daar gebruikers op het vasteland bij, met name transportondernemingen. Op dit moment wordt deze laatste groep gebruikers als een duidelijke doelgroep gezien binnen de INMARSAT-organisatie. De INMARSAT-C-dienst wordt via dienstenaanbieders aan eindgebruikers geleverd. Deze dienstenaanbieders zijn vaak de nationale PTT's in hun hoedanigheid als lid van de INMARSAT-organisatie.

## 2. Systeemarchitectuur

De gebruikte architectuur komt overeen met de hierboven beschreven INMARSAT-A, -B en -M-systemen. Het Nederlandse grondstation in Burum ondersteunt INMARSAT-C-diensten. Voor de meeste gebruikers in Europese landen vindt de interconnectie daar plaats.

## 3. Technische realisatie

Gegevens worden in pakketten verstuurd. De modulatiesnelheid bedraagt 600 bit/s. De bandbreedte van de gebruikte communicatiekanalen is met 2,5 kHz zeer klein. Het zendvermogen van de mobiele terminals bedraagt 10 W. In tegenstelling tot de hiervoor besproken INMARSAT-A- en -B-systemen kan er gebruik worden gemaakt van een omnidirectionele antenne. Er hoeft dus geen schotel gericht te worden. De antenne is meestal gemonteerd in behuizing met de vorm van een platte cilinder, die een doorsnede heeft van ongeveer 30 cm.

## 4. Interconnectie met andere netwerken

Interconnectie vanaf het grondstation biedt koppelingen met:

- Het telexnetwerk: Omdat telexberichten de basis vormen van INMARSAT-C (en ook INMARSAT-A-tekstberichten), en mede omdat telex bij de meeste gebruikersgroepen nog een belangrijk communicatiemiddel vormt, is dit een belangrijke interconnectie.
- Het telefoonnetwerk waar met modems met de thuisbasis gecommuniceerd kan worden.
- Pakketgeschakelde openbare netwerken.

## 5. De mobiele terminals

INMARSAT-C-terminals worden door verschillende fabrikanten geleverd, en zijn wat uitvoering betreft aangepast aan maritiem gebruik of aan gebruik op het vasteland.

De meeste terminals voor gebruik op het vasteland zijn ontworpen voor inbouw in een voertuig (vrachtwagen, trein,...). Het opgenomen vermogen is in de orde van 15 tot 30 W. Met het gebruikelijke voedingsbereik van 10 tot 32 V gelijkspanning kan er gemakkelijk van batterijen gebruikgemaakt worden. Positioneringsapparatuur zoals GPS, Loran-C en Decca kan via een speciale aansluiting daarop worden aangesloten.

### 3.1.2.3 EUTELTRACS

#### 1. Geschiedenis van de standaard

Ongeveer tegelijkertijd met INMARSAT-C (1991) verscheen er een ander satellietstelsel voor mobiele datatransmissie. Dit is het EUTELTRACS-systeem, dat gerealiseerd is door een samenwerkingsverband van het Franse Alcatel en het Amerikaanse Qualcomm. Deze laatste organisatie exploiteerde al een vergelijkbaar systeem in de Verenigde Staten, dat OMNITRACS heet. Het EUTELTRACS-systeem maakt gebruik van de capaciteit van satellieten van de in 1977 opgerichte Eutelsat-organisatie, die veel Europese televisiestations distribueert. De aangeboden diensten richten zich volledig op de transportsector op het vasteland. In aanvulling op berichtentransport is er ook een positioneringssysteem geïntegreerd. Er wordt een Europese dekking geboden en er is sprake van een samenwerking met het Franse Telecom, met Spanje en met het Verenigd Koninkrijk.

#### 2. Systeemarchitectuur

Er wordt hier niet van een satelliet gebruikgemaakt die exclusief voor mobiele communicatie is ontworpen (zoals bij INMARSAT), maar van een Eutelsat-satelliet die onder meer televisiebeelden distribueert. Voor een communicatiesessie worden twee satellieten ingezet: de communicatiesatelliet zelf, plus een tweede satelliet, zodat met dubbele afstandsmeting een plaatsbepaling mogelijk is. De satellieten houden contact met

een grondstation. Dit grondstation staat weer op haar beurt in contact met een aantal Service Provider Netwerk Management Centra (SNMC). Op deze locaties vindt interconnectie naar de eindgebruiker plaats.

### 3. Technische realisatie

Bij EUTELTRACS bestaat er een langzame en een snelle modus voor de communicatiesnelheid van mobiele terminal naar de satelliet en omgekeerd. De keuze hangt af van de kwaliteit van de radioverbinding. In de langzame modus verloopt de communicatie van mobiele terminal naar satelliet met een snelheid van 55 bit/s. In de snelle modus is deze snelheid 165 bit/s. De communicatie van satelliet naar mobiele terminal verloopt in de langzame modus met 4,9 kbit/s. In de snelle modus verloopt de communicatie met 14,9 kbit/s. In deze richting wordt van TDMA gebruikgemaakt.

In tegenstelling tot INMARSAT-C wordt er van een gerichte antenne gebruikgemaakt. Na het aanzetten van de mobiele terminals blijft de antenne net zo lang om haar as draaien tot de satelliet gevonden is. Daarna wordt op basis van de gemeten veldsterkte de satelliet gevolgd. Op de in/uitvoereenheid bij de chauffeur geeft een indicator aan wanneer de satelliet onbereikbaar is. Naast datacommunicatie is een mobiele terminal ook in staat zijn positie te bepalen. Er is dus geen afzonderlijke GPS-ontvanger nodig, maar door de sterk dalende prijs van deze losse ontvangers neemt het belang van dit voordeel af. Voor deze plaatsbepaling wordt een tweede satelliet gebruikt. Door middel van metingen van tijdsverschillen kan de positie van de mobiele terminal tot op ongeveer 300 m worden bepaald.

### 4. De mobiele terminals

Deze terminals bestaan uit een in- en uitvoerapparaat, een communicatie-eenheid en een antenne. Alcatel/Qualcomm is de enige leverancier. Het in/uitvoerapparaat heeft een compact toetsenbord en een scherm. Zoals reeds gezegd is de positiebepaling in het systeem ingebouwd. Een GPS-ontvanger is dus niet nodig. Mobiele terminal en in/uitvoerapparaat zijn aan elkaar verbonden waardoor informatie kan worden uitgewisseld.

### *3.1.3 Niet-geostationaire satellietsystemen*

In de vorige paragraaf zijn de reeds bestaande mobiele satellietsystemen besproken. Dit waren systemen die gebruikmaken van enkele satellieten die zich in een geostationaire baan bevinden. In deze paragraaf bespreken we alle andere mobiele satellietsystemen die zich niet in een geostationaire baan bevinden.

Rond 1995 kwamen de persoonlijke satellietsystemen met LEO's pas echt op gang. Sindsdien vinden we in de media regelmatig verhalen over de Iridium, Globalstar, Teledesic en ICO.

We kunnen de verschillende typen satellieten in de volgende categorieën onderverdelen:

- De Low Earth Orbit (LEO) satellieten, waarbij de afstand tot de aarde veel kleiner is. Er zijn dan veel meer satellieten nodig voor een wereldwijde dekking: Iridium telt 66 satellieten en Globalstar 48 satellieten.
- De Intermediate Circular Orbit (ICO) satellieten, ook wel met Medium-Earth Orbit (MEO) aangeduid. De afstand tot de aarde is hier ongeveer de helft van die van een geostationaire baan.
- De Highly Elliptical Orbit (HEO) satellieten, die zich in een elliptische baan bevinden en waarbij de afstand tussen de Aarde en de satelliet dus varieert.

De eerste soort kunnen we nog in twee typen onderverdelen. Little-LEO's, die door de beperkte afmetingen vooral geschikt zijn voor diensten die weinig bandbreedte en schakelcapaciteit nodig hebben zoals lage- snelheidsdata, semafoonie en positionering. Little-LEO's maken gewoonlijk gebruik van frequenties onder de 1 GHz. Big-LEO's kunnen bijvoorbeeld spraak, fax en semafooniediensten ondersteunen. Ze zullen gebruikmaken van frequenties tussen 1 en 3 GHz.

Tijdens de World Administrative Radio Conference (WARC) werd besloten om wereldwijd een deel van het frequentiespectrum te reserveren voor mobiele communicatiediensten per satelliet. Het gaat hier over de frequentiebanden 1610-1626,5 MHz en 2483,5-2500 MHz. Deze banden zijn bedoeld voor communicatie tussen mobiele terminal en satelliet. Voor communicatie tussen satelliet en grondstation of tussen satellieten onderling worden andere frequenties benut.

### 3.1.3.1 Niet-geostationaire satellietsystemen voor spraak- en datatransport

Op de Odyssey- en ICO-voorstellen na gaat het hier allemaal over LEO's. De eerste drie voorstellen zijn in het verst gevorderde stadium en worden afzonderlijk behandeld.

In deze onderstaande tabel vindt je een overzicht van de bekendste voorstellen.

Systeem	Initiatief-Nemer/ Ontwikkelaar	Aantal satellieten, baan	(spraak) circuits per satelliet	Regio	Snelheid spraakcodering	Snelheid Datatransport	Andere Diensten
Iridium	Motorola	66 LEO, 6 reserve	1100	Wereld	2,4/4,8 kbit/s	2,4 kbit/s	Fax, semafonie
Globalstar	Loral, Alcatel, Qualcomm	48 LEO, 8 reserve	2000- 3000	Wereld	2,4/4,8/ 9,6 kbit/s	7,2 kbit/s	Fax, positionering
ICO	Inmarsat	10 ICO, 2 reserve	4500	Wereld	4,8 kbit/s	2,4 kbit/s	
Odyssey	TRW	12 ICO	2300	Wereld	4,8 kbit/s	9,8 kbit/s	Fax,seamfonie, positionering
Ellipso	Mobile com- munications holding inc.	14 HEO, 2 reserve		Wereld	4,8 kbit/s	9,8 kbit/s	Positionering
Constellation	Constellation	48 LEO		Wereld	4,8 kbit/s	2,4 kbit/s	
LEO One	LEO One	48 little- Leo		Wereld		9,6 kbit/s	Spraak, data, positionering

Tussen de systemen bestaan er grote verschillen in de opbouw. Niet alleen het aantal satellieten, maar ook wat de schakelcapaciteit ervan betreft. Iridium gaat uit van satellieten met een grote schakelcapaciteit. Gesprekken worden dus door Iridium-satellieten verwerkt en lopen voor het eventuele laatste stukje via de bestaande vaste telefooninfrastructuur. Globalstar daarentegen gebruikt satellieten die min of meer als een relaisstation werken: de opgevangen gegevens worden direct naar een grondstation doorgezonden, waar dan de verdere verwerking plaatsvindt. Naast de in de tabel opgesomde voorstellen zijn er nog een groot aantal andere organisaties met plannen voor mobiele satellietsystemen.

Het bekendste voorstel is Iridium, de initiatiefnemer hiervan is Motorola die met dit systeem sterk de publiciteit zoekt. Het is een big-LEO-voorstel, waarbij 66 satellieten zich op ongeveer 675 km van de Aarde bevinden. De satellieten worden in 6 lagen geplaatst, van ieder 10 satellieten plus één reservesatelliet. Er wordt van het FDMA/TDMA-

toegangsmechanisme gebruikgemaakt. In de Verenigde Staten is er nu 5,15 MHz gereserveerd voor systemen die gebruikmaken van dit toegangsmechanisme en op dit moment is dat alleen Iridium. Spraakcodering resulteert in een gegevensstroom van 4,8 kbit/s en wordt aangevuld met datadiensten tot 2,4 kbit/s.

Het Iridium-systeem dekt vrijwel het gehele traject van het informatiesignaal. Daarvoor worden verbindingen tussen de satellieten gebruikt. Pas op de eindbestemming wordt het signaal naar een grondstation gestraald, waarna het naar een vast (telefoon)netwerk verstuurd kan worden. Bij een gesprek tussen twee Iridium-telefoons loopt het signaal zelfs helemaal niet via een grondstation. Dit maakt Iridium tot een van de meest ambitieuze voorstellen (Teledesic niet meegerekend). Dit volledige signaaltransport in de ruimte vereist een grote schakelcapaciteit in de 689 kg zware satellieten. In mei 1997 zijn de eerste vijf satellieten in California met een Delta II raket van McDonnell Douglas met succes gelanceerd. In juni dat jaar volgden er nog vijf. Iridium wil ook satellieten met behulp van Russische en Chinese raketten in hun baan brengen.

Het passeren van de normale, vaste infrastructures ligt nogal moeilijk. De bestaande netwerkbeheerders zijn hier natuurlijk tegen, omdat zo alle inkomsten aan hen voorbij zouden gaan. Ze zeggen dat een gesprek 3 \$ per minuut zal kosten, ongeacht de locatie van de bron en bestemming.

Het Globalstar-systeem is ontwikkeld door Loral en Qualcomm, ondertussen gesteund door een aantal andere ondernemingen. Het maakt gebruik van 48 LEO-satellieten, die eigenlijk een soort relaisstation in de lucht vormen: het opzetten en verwerken van gesprekken verloopt via de grondstations. De satellieten hangen ongeveer 1200 km hoog. Het systeem maakt van het CDMA-toewijzigingsmechanisme gebruik. Het systeem richt zich vooral op markten in landen met een relatief onontwikkelde telecommunicatie-infrastructuur. Service Providers kunnen tegen relatief lage investeringen een minimale dienst aanbieden. Dit in aanvulling op of in plaats van een vaste infrastructuur. De aangegeven gesprekskosten zijn met ongeveer 0,65 \$ per minuut (voor een lokaal gesprek) beduidend goedkoper dan die van Iridium.

In tegenstelling tot de andere twee besproken systemen bouwt ICO (voorheen INMARSAT-P genoemd) voort op de bestaande systemen, namelijk de INMARSAT-B en INMARSAT-M mobiele satelliettelefonie. Er wordt van 10 satellieten gebruikgemaakt, die zich in een Intermediate Circular Orbit (ICO) baan bevinden.

De routing en gespreksverwerking verloopt via een grondstation (SAN: Satellite Access Node). Hiervan zijn er 12 gepland en deze gaan de interconnectie naar de vaste telefonienetwerken verzorgen. INMARSAT heeft al een grote voorsprong op de anderen omdat zij nu al satellietdiensten via dienstenaanbieders levert. Het INMARSAT-P-systeem richt zich op zakenreizigers als gebruikers in afgelegen gebieden. De gesprekskosten zouden tussen de 1 \$ en 3 \$ bedragen, afhankelijk van de gewenste dienst. In de onderstaande tabel vindt je een overzicht van de marktverwachtingen, systeemkosten en gesprekskosten van de drie zonet behandelde systemen.

<b>Systeem</b>	<b>Totale markt Abonnees mobiele satellietdiensten</b>	<b>Verwacht Marktaandeel van eigen systeem</b>	<b>Systeemkosten (miljard dollar)</b>	<b>Opgegeven tarief Per minuut</b>
Iridium	Niet opgegeven	1 miljoen in 2002	5	3 \$
Globalstar	>5 miljoen in 2002	2,7 miljoen in 2002	1,8	0,65 \$
ICO	1 miljoen in 2000	Niet opgegeven	2,8	1 \$ tot 3 \$

Een andere soort systemen zijn systemen die hoge-snelheidsdatatransport bieden. De meeste bekende hiervan is Teledesic. Aangezien Teledesic een zeer belangrijk project is zullen we het uitgebreid in 3.2 bespreken.

### 3.1.3.2 Niet-geostationaire satellietssystemen voor low-speed datacommunicatie

Voordat de LEO-systemen voor spraak commercieel beschikbaar zullen worden, kunnen we kleinere systemen verwachten die alleen datatransport ondersteunen. Deze systemen worden ook wel met little-LEO's aangeduid. Ze hebben nog niet veel aandacht in de media gekregen. Een aantal van de huidige voorstellen zijn systemen waarmee alleen op een bepaald tijdstip gegevens kunnen worden gewisseld. In de onderstaande tabel is een overzicht gegeven van voorstellen voor LEO-systemen die alleen datadiensten bieden. De twee meest actuele voorstellen worden nu verder behandeld.

<i>Systeem</i>	<b>Initiatief-Nemer/ Ontwikkelaar</b>	<b>Aantal satellieten, baan</b>	<b>Regio</b>	<b>Diensten</b>	<b>Snelheden</b>
VITASAT	VITA		Wereld	Store and forward data	Data: 9,6 kbit/s uplink, 19,2kbit/s downlink
Orbcomm	Orbital communications	36 little-LEO	Wereld	Data	Data: 2,4 kbit/s uplink, 4,8kbit/s downlink
Leosat		2 little-LEO	Wereld	Positionering, noodberichten	
Faisat	Final Analysis	46 little-LEO	Wereld	Store and Forward data	
Starsys	Starsys Global Positioning	24 little-LEO	Wereld	Data, Short messages	Data: 1,2 kbit/s of 0,6 kbit/s

Tijdens de WARC (World Administrative Radio Conference) 1995 hebben de voorstellen voor little-LEO's weinig steun gekregen. Ze hadden gehoopt dat er een klein deel van het spectrum onder de 1 GHz voor deze diensten gereserveerd kon worden. Orbcomm en enkele andere systemen kunnen wel gebruikmaken van een kleine band die tijdens de WARC 1992 toegekend is.

Het Orbcomm-systeem is het dichtste bij de realisatie en hoopt met behulp van twee satellieten store and forward diensten in de Verenigde Staten aan te bieden. Later moeten 24 extra satellieten de gebruikers 2,4 kbit/s datatransport bieden. In de toekomst moet via een netwerk van service providers de dienst ook in de andere landen aangeboden worden. VITA (Volunteers In Technical Assistance) is een organisatie die haar systeem wil inzetten om Internet-toegang aan te bieden in de ontwikkelingslanden.

### **3.2 Teledesic**

Gebruikmakend van geavanceerde satelliettechnologie, zijn Teledesic en z'n internationale partners 's werelds eerste aardsomvattend netwerk in de lucht aan het bouwen.



### 3.2.1 Overzicht

Draadloos Internet via satellieten, het is de droom van Bill Gates. Het plan van Bill Gates en Graig McCaw begint langzaam vorm te krijgen. Het plan is om in de ruimte een netwerk van satellieten te vormen om Internet via satellieten mogelijk te maken.

Vandaag zijn de geëvolueerde telecommunicatie infrastructures beperkt tot de ontwikkelde stedelijke gebieden van de wereld. Dit laat het meeste van de wereldbevolking zonder toegang tot zelfs basiscommunicatiediensten zoals telefoon, fax, enz.

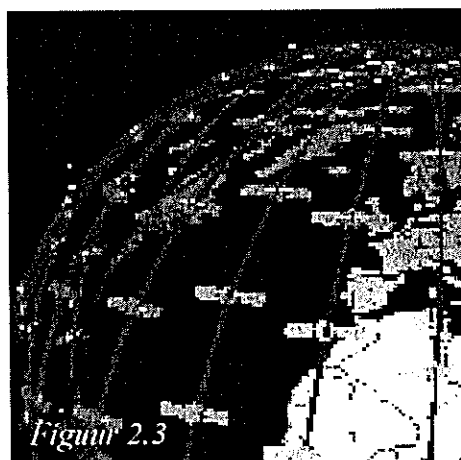
Teledesic is een aardsomvattend breedband internet in de lucht aan het bouwen die gebruik maakt van satellieten in een lage baan om de aarde. Dit netwerk zal een snelheid hebben vergelijkbaar met die van glasvezel.

Gates en McCaw hebben beiden een aandeel van 30% in het in 1990 opgerichte bedrijf Teledesic. Ook Boeing speelt hierin een grote rol net zoals Motorola die één van de grootste en best uitgeruste communicatiebedrijven is. Motorola begeleidt het industriële team dat het teledesic netwerk ontwerpt.

Teledesic heeft ook een groot contract getekend met Lockheed Martin. Dit is een van de belangrijkste ruimtevaartondernemingen voor lanceringen. Dit is nodig om een groot deel van het Teledesic netwerk in een baan om de Aarde te brengen. Teledesic werkt ook nog samen met andere bedrijven die zorgen voor de lanceringen. Ze zullen dus een mengeling gebruiken van verschillende lanceersystemen om hun satellieten daar te plaatsen en aan te vullen.

### 3.2.2 Teledesic Netwerk

Het teledesic netwerk zal 288 operationele satellieten bevatten, verdeeld in 12 gebieden. De cirkels die zich op de figuur 2.3 hieronder bevinden noemt men een gebied. Elk van deze gebieden bevatten 24 satellieten. Zodoende ontstaat een krachtig wereldwijd netwerk van satellieten. Teledesic heeft hierin een belangrijke voorsprong genomen op de concurrentie. De satellieten zullen communiceren in de Ka band. De



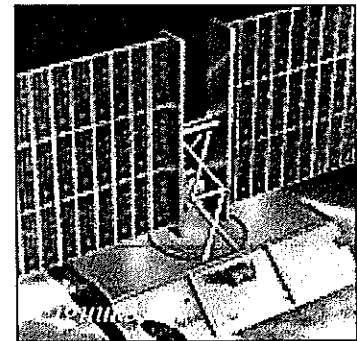
bandbreedte voor het project bedraagt 500 MHz. De uplink ligt in de band van 28.6 en 29.1 GHz en de downlink ligt in de band van 18.8 tot 19.3 GHz. De totale kosten van het project zijn erg hoog. Men spreekt van een bedrag van 9 miljard \$. Er werden reeds een aantal testsatellieten gelanceerd. Men heeft gepland om met de lanceringen van de 'echte' Teledesic satellieten te beginnen in het jaar 2001, rond 2002 moeten alle 288 satellieten boven ons hoofd circuleren.

### 3.2.3 Lage baan satellietssystemen

In satellietssystemen heeft men 2 grote types nl. geostationaire satellieten (GEO) en niet – geostationaire satellieten of satellieten in een lage baan (LEO).

De baan van een geostationaire satelliet, zoals we eerder hebben aangetoond, is op een hoogte van ongeveer 36000 km boven de evenaar. Op deze hoogte is de verbinding door een satelliet met tenminste een vertraging van 0,5s.

Deze vertraging van de geostationaire satellieten is de oorzaak van de vervelende vertragingen in intercontinentale telefoongesprekken. Alsook voor de vervorming van het gesprek. Dit kan een ongemak zijn voor de geluidsvoorplanting. Teledesic's LEO satellieten (zie Figuur 3.4) beschrijven een baan op een hoogte van 1375 km, of 25 keer dichterbij de Aarde dan GEOsatellieten.



Een van de belangrijkste principes van het internet is het idee dat alle toepassingen zich op een gemeenschappelijk netwerk bewegen. Dat is een open netwerk gebaseerd op een gemeenschappelijke normen en protocols. Alle toepassingen zullen zich verplaatsen over eenzelfde netwerk gebruik makende van dezelfde protocols. In deze omgeschakelde pakket netwerken (waar stem, video en data allemaal pakketten van digitale bits zijn) is het niet handig om de toepassingen te scheiden van deze die wel en deze die de vertragingen niet kunnen verdragen. Als een resultaat, zou het netwerk ontwikkeld moeten zijn voor de meest veeleisende toepassingen. Het Teledesic netwerk is ontwikkeld om een verliesloze kwaliteit te verschaffen die het mogelijk maakt een wereldomvattend netwerk te voorzien dat voldoet aan de eisen van het internet in de toekomst.

De evolutie van geostationaire satellieten naar lage baan satellieten heeft geresulteerd in een aantal satellietsystemen, die kunnen gegroepeerd worden in drie verschillende types. Deze

<b>System Type</b>	Little LEO	Big LEO	Broadband LEO
<b>Example</b>	Orbcomm, VITA	Iridium, Globalstar, ICO	<b>Teledesic</b>
<b>Terrestrial Counterpart</b>	Paging	Cellular	Fiber
<b>Frequency</b>	<1 GHz	1 - 3 GHz	30/20 GHz

Leo systemen kan men het best onderscheiden door de verwijzing naar hun aardse tegengangers: beepers, GSM netwerken en glasvezelnetwerken (zie figuur).

De grote Leo's zorgen bijvoorbeeld voor smalband GSM service waartegenover Teledesic hoofdzakelijk zal zorgen voor stabiele breedbandconnecties. De kosten van Teledesic zijn te vergelijken met de stedelijke service via draad. Het is niet de bedoeling om concurrenten te zijn met elkaar, het enige wat Teledesic gemeen heeft met de grote Leo's is het gebruik van lage banen.

### *3.2.4 De handel van Teledesic*

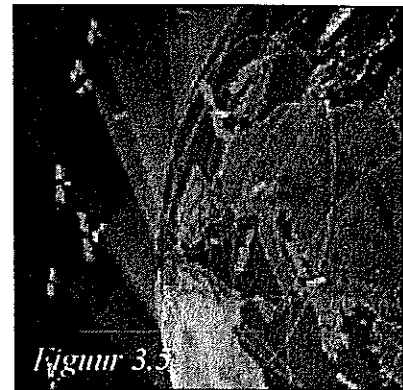
Alle markten die met telecommunicatie te maken hebben krijgen de laatste jaren een opvallende groei. Elektronisch bankieren, e-mail of de gewone basisconnectie vragen een geavanceerde telecommunicatieinfrastructuur. Deze groei zal versnellen in de volgende decennia doordat er steeds meer mensen gebruik van maken. Teledesic zal helpen om de mensen een eerste snel en efficiënt aardsomvattend breedband netwerk te geven.

Het in één punt samenkomen van communicatie is de oorzaak van alle dingen die men verbindt met een hoge standaard van leven om afhankelijker te worden in een vermeerderende stroom van informatie. In grote stedelijke gebieden, wordt deze eis voor informatie voldaan door de hoge bandbreedte en hoge verbindingkwaliteit van glasvezel. Steeds meer bedrijven en afzonderlijke personen gebruiken breedband verbindingen voor internet en computer netwerken. Als je ver van de grote steden gaat, dan wordt deze glasvezelachtige telecommunicatie service zeer duur.

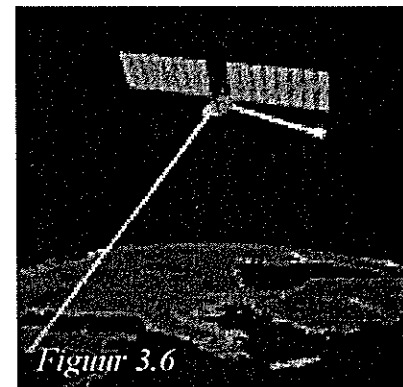
Omdat de Teledesic satellieten zich bewegen met betrekking tot de Aarde zorgt Teledesic voor dezelfde kwaliteit en capaciteit voor alle delen van de wereld.

### 3.2.5 *Techniek*

Het plan van Teledesic is om de aardbol met een groot aantal LEO's (Low Earth Orbit) satellieten te omspannen. Uiteindelijk kan dan ongeveer 100% van de bevolking en 95% van de aardbodem via satellieten bereikt worden. Deze 95% komt doordat op sommige plaatsen de bestralingsgebieden van de satellieten elkaar niet overlappen (zie *Figuur 3.5*).



Als men een signaal naar de andere kant van de wereld wil verzenden dan zal dit gebeuren met verschillende satellieten. Het signaal wordt naar de dichtstbijzijnde satelliet gezonden (zie *Figuur 3.6*), en dan worden de data via zo weinig mogelijk satellieten naar de satelliet doorgezonden waarvan de eindbestemming in het bestralingsgebied van de satelliet ligt.



Het Teledesic netwerk is ontwikkeld om miljoenen mensen tegelijkertijd te kunnen bedienen. De gebruikers zullen een 2-wegsverbinding hebben waarbij de downlink ongeveer 64 Mbps (Megabits per seconde) zal zijn en de uplink ongeveer 2 Mbps. Met breedband-terminals is een snelheid van 64 Mbps mogelijk in beide richtingen, 1000 keer zo snel als ISDN.

Satellieten in aanliggende gebieden verplaatsen zich in dezelfde richting per halfmond. Bij de polen bewegen de banen boven en onder elkaar (zie *Figuur 3.7*).



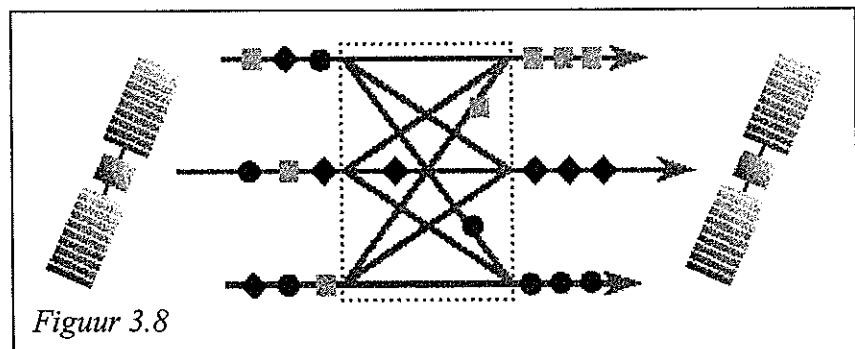
De satellieten vormen maar een deel van het totale project. Ook op de grond moeten veel zaken geregeld worden zoals ontvangssystemen en verbindingen naar het vaste netwerk op aarde dat voornamelijk uit glasvezelkabels zal bestaan. Het protocol waar de satellieten mee praten wordt op de grond omgezet naar het protocol waar de vaste netwerken mee werken

zodat een koppeling met ISDN mogelijk is. In de toekomst zullen de satellietverbindingen vooral een oplossing bieden voor plaatsen waar geen glasvezel ligt.

Men heeft de grondstations in twee soorten ingedeeld, de COCC (Constellation Operations Control Centers) en de NOCC (Netwerk Operations Control Centers). De COCCs coördineren de eerste ontwikkeling van de satellieten, aanvullingen indien nodig, herstellingen en het terug in baan brengen van satellieten. De NOCCs bevatten een variëteit van verspreide netwerken en controle functies waaronder netwerk databanken, speciale processoren en netwerk management.

Het teledesic netwerk gebruikt snelle gegevenswisseling. Communicatie wordt in het netwerk behandeld als een stroom van korte pakketten met een vaste lengte. Ieder pakket bevat een kop die een eindadres of de bestemming bevat en nog andere noodzakelijke informatie. Een foutencontrole gedeelte wordt gebruikt om de goede toestand van de kop te bevestigen. Een gedeelte die men de last noemt draagt de digitale gecodeerde data van de gebruiker mee (video, stem, data...). De verandering naar en van het pakketformaat neemt plaatst in het eindpunt van het netwerk.

De samenhang van het gehele LEO netwerk is dynamisch. Het netwerk moet voortdurend aangepast worden naar



deze veranderende omstandigheden om de optimale verbindingen (minst vertragingen) tussen twee eindpunten te volbrengen. Elk pakket draagt het netwerk adres van het eindpunt, en elk onafhankelijk knooppunt selecteert de kortste weg met de minste vertragingen naar het eindpunt. In Figuur 3.8 kun je dus ook zien dat pakketten met informatie verschillende wegen door het netwerk kunnen volgen.

Teledesic zal geen mobiele service aanbieden. De klanten van Teledesic zullen gebruik maken van vaste gebruikersapparatuur om hoge-bandbreedte data communicatie via het netwerk te zenden en te ontvangen. Bovendien is geen dure apparatuur nodig voor het ontvangen en versturen van informatie. Teledesic zal ook luchtvaart en maritieme toepassingen ondersteunen. Smalband service zoals beepers (en ook mobiele service) zullen niet beschikbaar zijn door Teledesic.

### 3.3 Global Positioning System

De mens probeert al lang zijn positie op aarde te weten, vroeger deed men dat a.d.h.v. de zon en de sterren, later met een kompas of de gyroscoop. In kustgebieden geven vuurtorens en radiobakens de schepen aan waar ze zich bevinden. Radiobundels leiden vliegtuigen langs hun routes. Aan boord van schepen en vliegtuigen worden radar en computers gebruikt om de positie te bepalen en om de omgeving te laten zien. Er wordt ook veel gebruik gemaakt van navigatiesatellieten die in een lage baan om de aarde draaien. Zo kan men tot op ongeveer 10 meter een positie bepalen. Voor militairen is zelfs een grotere nauwkeurigheid mogelijk. De belangrijkste systemen die we vandaag gebruiken zijn: GPS, GLONASS, Inmarsat, NDR, VOR, Localizer, LORAN C, Omega, Radar, Glide Slope, Marker beacons, ILS en DME.

#### *3.3.1 Inleiding*

GPS werd een paar jaar geleden door DOD (Department Of Defense), FAA (Federal Aviation Administration) en de kustwacht operationeel verklaard. De volledige GPS werking is gebaseerd op 24 satellieten, waarvan 21 actieve en 3 reserve, die in 6 verschillende banen, elk onder een inclinatie van 55 graden, in 12 uur rond de aarde draaien in een cirkelvormige baan met een straal van 20 200 km. De levensduur van een satelliet is in theorie 4 à 5 jaar, maar in praktijk vermoedelijk een factor twee hoger. Op dit ogenblik is er om die reden al één satelliet meer in omloop dan voorzien. Er zijn tot nu toe 32 satellieten gelanceerd, en zeven zijn er alweer in de atmosfeer verbrand. Er zijn wereldwijd vier grondstations die de satellieten in de gaten houden met drie antennes, met één commandocentrale. Er zijn vier frequenties waarover informatie wordt uitgewisseld.

L1 = 1575.42 MHz

L2 = 1227.6 MHz

Uplink = 2227.5 MHz

Downlink = 1783.74 MHz

De L band-frequenties geven de positie en tijdsinformatie, de “ links ” worden gebruikt voor correcties. De positie informatie wordt gegeven in P code (Precision), met 10,23 miljoen bits/s (L1 en L2), en CA code (Coarse Acquisition) met 1,023 miljoen bits/s (uitsluitend L2). De P code is uitsluitend voor militair gebruik en levert zonder correctie een precisie van enkele meter. Een militaire ontvanger ontvangt zowel L1 als L2, en gebruikt in eerste instantie de CA code om vervolgens beter te kunnen instellen op de P code. De tijdsnauwkeurigheid bedraagt officieel 334 ns met een 2-sigma 95% betrouwbaarheid. Dit kan met filtertechnieken zelfs nog worden verbeterd tot 1,5 ns.

Na ingebruikneming van de eerste serie GPS satellieten bleek al snel dat de CA nauwkeuriger was dan berekend, ongeveer 30 meter (2-sigma, 95%). Daarom is besloten om de CA code opzettelijk minder nauwkeurig te maken door de nauwkeurigheid van de klok aan te tasten. Deze degradatie levert een laterale (van het horizontaal vlak) precisie van 100 meter (2-sigma, 95%), een verticale precisie van 150 meter, en wordt Selective Availability (SA) genoemd. Het resulterende signaal noemt men SPS (Standard Positioning Service). SA kan vanaf de grond “door het Pentagon” worden uitgeschakeld. Dit is tenminste twee maal in het verleden gebeurd, namelijk tijdens de Golf-oorlog en het Haïti conflict! De reden was dat veel militairen juist met civiele ontvangers werkten. De vijand had gelukkig geen GPS; volgens bronnen in Amerika hadden de Irakese legeraanvoerders zelfs nog nooit van GPS gehoord!

Omdat SA een niet willekeurige klokdegradatie is, zijn de degradatiegegevens bekend. Het is dan ook mogelijk om achteraf die gegevens te verkrijgen. Voor toepassingen waarop achteraf bewerkingen mogelijk zijn, zoals cartografie, kan dus voor SA worden gecorrigeerd.

Een NAVSTAR satelliet zendt een pseudorandom signaal uit dat zich elke zeven dagen herhaalt. De GPS ontvanger genereert exact hetzelfde signaal. Door deze twee signalen ten opzichte van elkaar te verschuiven totdat de patronen exact over elkaar heen vallen, kan het tijdsverschil worden bepaald. Omdat de signalen de ontvanger met de lichtsnelheid bereiken kan uit de looptijd van het signaal worden berekend hoe ver de satelliet van de ontvanger is verwijderd. Door deze berekening voor een aantal satellieten te herhalen en omdat de satellietposities bekend zijn, kan een twee of driedimensionale positie worden berekend. Op

basis van dopplerverschuiving kan uit het GPS signaal een directe snelheidsberekening worden gemaakt.

GPS gebruikt als geodetisch referentiesysteem het zogenaamde world Geodetic System 84, en UTC (Zulu) tijd als referentie. Omdat DOD niet alleen de SA gegevens achteraf beschikbaar stelt maar tevens de ephemeris en pseudorange gegevens, kan een punt op de kaart worden gezet met een precisie van ongeveer 5 mm.

### ***3.3.2 De opbouw van het GPS-systeem***

Oorspronkelijk is GPS (Global Positioning System m.a.w. een systeem om op een wereldlijke basis je positie te bepalen) een satellietnavigatiesysteem, ontwikkeld door het Amerikaanse ministerie van defensie met het doel de militaire gebruiker in staat te stellen op een ogenblikkelijke of continue manier zijn positie, snelheid en tijd te bepalen.

Hoewel dit navigatiesysteem werd ontworpen voor militair gebruik, kan het ook door burgerlijke gebruikers, evenwel onder bepaalde voorwaarden en beperkingen, worden geëxploiteerd.

Zoals de definitie het laat vermoeden zal het systeem vooral toegepast worden in alle domeinen van de navigatie (landnavigatie, zeenavigatie en navigatie in de lucht). Nochtans waren de geodeten vanaf het beginstadium van de ontwikkeling geïnteresseerd in de mogelijkheden van deze ruimtetechniek voor nauwkeurige positiebepaling. Na een testperiode van verschillende jaren werd het meer dan duidelijk dat men met de ontwikkelde meettechnieken resultaten kon bekomen, die de stoutste verwachtingen overtreffen (men bereikt een nauwkeurigheid tot op de centimeter nauwkeurig van afstanden die over honderden kilometer gaan.) .

Vandaag de dag is het gebruik van de GPS-techniek voor positiebepaling wereldwijd verspreid en wordt deze techniek door nationale en privé-instellingen in het productieproces ingeschakeld.

Het GPS-systeem bestaat uit drie essentiële onderdelen:



### 3.3.2.1 Het ruimtesegment

Het ruimtesegment bestaat uit een aantal satellieten die zich in een cirkelvormige baan rond de aarde bewegen. Aan boord van elke satelliet bevindt zich een atoomklok die de synchrone tijdsignalen (dit zijn radiogolven) uitzendt. Tevens hebben zij als taak hun positieparameters en systeeminformatie afkomstig van het controlesegment naar het gebruikerssegment door te sturen.

### 3.3.2.2 Het controlesegment

Het controlesegment bestaat uit een wereldwijd net van volgstations met een hoofdcontrolestation in Colorado Springs (Amerika).

De controlestations beschikken over monitors die de signalen van de satellieten meten die dan worden weergegeven in baanmiddelen van de satellieten. Het geheel heeft als voornaamste taken: de goede tijdssynchronisatie van de baanparameters evenals hun correcties en het doorsturen van algemene systeeminformatie naar het ruimtesegment.

### 3.3.2.3 Het gebruikerssegment

De gebruiker van het GPS-systeem is uitgerust met een antenne en een ontvanger. De GPS- signalen en de GPS-informatie worden door de antenne opgevangen en doorgestuurd naar de ontvanger.

Een microprocessor zet de waarnemingen om in een positie, snelheid en tijd en deze resultaten kunnen dan op een display worden afgelezen. Deze ogenblikkelijke berekening is vooral belangrijk bij de dynamische toepassingen.

Er zijn vier satellieten nodig om de vier gevraagde dimensies (nl. de positie in de XYZ – parameters en de tijd) te kunnen bepalen.

### **3.3.3 De werking van het GPS-systeem**

#### 3.3.3.1 Het NAVSTAR GPS gebruikerssegment

De functie van het gebruikerssegment is het ontvangen en verwerken van de elektromagnetische signalen afkomstig van satellieten. De signalen bevatten de gegevens die kunnen leiden tot het verkrijgen van precieze informatie over positie, snelheid en tijd. De energie-dichtheid is grofweg vergelijkbaar met het op ongeveer 2250 kilometer waarnemen van de remlichten van een auto. Hiermee bedoelen we indien we deze energie aan remlichten zouden geven dan zouden we ze kunnen zien op 2250 kilometer. Toch kunnen de zwakke signalen ontvangen worden door verrassend kleine antennes ( soms maar vijf centimeter in doorsnee). De eerste ontvangers waren nog groot, zwaar, duur en moeilijk te bedienen. Ze hadden een gewicht van ongeveer 20 kilo, de afmetingen van een elektrische typemachine en een prijs van ongeveer 5 000 000 BEF. Gelukkig heeft ook hier de techniek gezorgd voor compacte ontvangers. Tegenwoordig heeft een GPS toestel de grootte van een pakje koffie, een twee - kanaals ontvanger weegt ( zonder batterijen ) ongeveer 300 gram en kost maar iets meer dan 10 000 BEF

#### 1. Antenne en verwante elektronica.

De L1 en/of L2 gemoduleerde draaggolven van de geselecteerde satellieten worden geconcentreerd en versterkt. De elektromagnetische energie wordt omgezet in een elektrisch equivalent. Meestal is de antenne fysiek geïsoleerd van “ multi-path ” reflecties (verstoring vergelijkbaar met de dubbele beelden op onze, van een normale antenne voorziene, televisie). De L – band signalen worden meestal voorversterkt doorgeleid naar de verwerkende elektronische circuits. De signalen van de antenne worden dikwijls via een coaxiale kabel doorgegeven aan de ontvanger. De coax-kabel zorgt dan ook voor de stroomvoorziening van de ontvanger naar de elektronica van de antenne.

#### 2. Tracking loops

Door de NAVSTAR GPS ontvangers worden de signalen op twee verschillende manieren “ in lussen gevolgd ”:

- De “code-tracking loop”: voor het verkrijgen van de reistijd van het signaal vanaf elke relevante satelliet.
- De “carrier-tracking loop”: voor het verkrijgen van de snelheids componenten door het meten van de Dopplerverschuiving.

De “code-tracking” loop genereert automatisch een, in de tijd verschoven, replica van de CA - code ( één miljoen bits per seconde). Deze codes worden in synchronisatie gebracht. Wanneer de codes samenvallen springt de “ auto-correlation ” functie van waarde 0 naar 1. Men spreekt dan van “ lock-on ”. In deze fase is het mogelijk de pseudo-range te meten en de 50 bits per seconde datastroom te decoderen. De meeste P(Y)-code ontvangers gebruiken het zogenaamde HOW (HandOver World) uit elk 6 – seconde data subframe om de tijd te verkorten tot de “ lock-on ” van de tien miljoen bits per seconde P(Y) – code. De “carrier-tracking loop” gebruikt een oscillator om een replica te produceren van de inkomende draaggolf om de Doppler-shift te meten.

### 3. Navigatie-processor (verwerkingseenheid)

Dit is het rekengedeelte van de ontvanger. Deze verwerkingseenheid verzorgt o.a. het algoritme van de satelliet-selectie, de omzetting van de coördinaten, filtertechnieken (om storingen te elimineren), foutenberekeningen en wegpunt navigatie. Er zijn geheugens beschikbaar voor de verschillende types berekeningen. Elke keer als de ontvanger uit wordt gezet, zorgen niet-vluchtige geheugens voor het vasthouden van bijvoorbeeld de laatste set van positiecoördinaten tezamen met de laatste set van almanak constanten ( geven de positie van de satellieten weer). Als de ontvanger weer aangezet wordt zullen deze waarden gebruikt worden voor de eerste “gok” naar de positie en voor het bepalen van de vier of meer best-gepositioneerde satellieten.

### 4. Voeding

De gelijkspanningsstroom die de ontvanger nodig heeft om te functioneren wordt meestal geleverd door oplaadbare batterijen. Elektrische systemen in voer-/vaar- en vliegtuigen kunnen hier natuurlijk ook voor zorgen.

## 5. Bedienings- en display-eenheid

Deze eenheid is de mens-machine interface tussen gebruiker en ontvanger. Er is een grote verscheidenheid in de uitvoering van deze eenheid. In zijn algemeenheid staan de gebruikersmiddelen en mogelijkheden ter beschikking, die bedoelt zijn voor de -in en uitvoer van gegevens en informatie, het instellen van modes, werken met wegpunten en kiezen van coördinatenconversies.

## 6. De drie meest voorkomende types ontvangers

- *Continue-ontvangers*: Deze kwalitatief beste en daarom meest prijzige ontvangers, ook wel multi-kanaals ontvangers genoemd, kunnen gelijktijdig vier of meer NAVSTAR satellieten continu volgen. De ontvangers hebben ook een ononderbroken toegang tot de 50 bits per seconde datastroom. De continu-ontvanger is een uitstekende keuze voor toepassingen die vereisen dat de navigatiegegevens zeer snel beschikbaar zijn zelfs in zeer snelle operaties en zonder storingen.
- *éénkanaals-ontvangers*: Deze relatief minder kwalitatieve en minst prijzige ontvangers, ook wel “ time sharing receivers ” genoemd volgen vier of meer opeenvolgende satellieten. De beschikbare tijd wordt, telkens voor een of twee secondes, verdeeld over de relevante satellieten. Deze ontvangers lenen zich voornamelijk voor een statische of trage toepassing.
- *éénkanaals-multiplex-ontvangers*: Deze type ontvangers, ook wel “multiplexing receivers” genoemd, volgen vier of meer snel opeenvolgende satellieten. De ontvanger houdt zich telkens voor 0,02 seconde bezig met één van de relevante satellieten. Dus de ontvanger gaat weer terug naar iedere satelliet om de volgende bit van het navigatiebericht te kunnen ontvangen. Op deze manier heeft dit type ontvanger te allen tijde toegang tot de 50 bits per seconde datastroom van de satellieten.

### 3.3.3.2 Het NAVSTAR GPS ruimtesegment

Het doel van het ruimtesegment is de gebruikers te voorzien van exacte tijdpulsen en de al eerder genoemde dagelijkse constanten (baangegevens) van de satelliet. Hiermee kunnen wereldwijd verspreide gebruikers informatie verkrijgen over hun posities, snelheid en/of de juiste tijd. De NAVSTAR satellieten kennen we in drie generaties (11 x Block I, 28 x Block II/IIA en 20 x Block IIR). De vanaf februari 1978 gelanceerde Block I satellieten functioneerden succesvol (drie jaar of meer). De tweemaal zo zware (ongeveer 900 kilo) Block II satellieten werden vanaf februari 1989 door de draagraketten van het type "Delta II" in de ruimte gebracht. McDonnell Corporation, de bouwers van de Delta II, hebben het contract gekregen om ook de draagraketten te leveren voor de Block IIR satellieten die vanaf midden 1996 operationeel zijn. De Space-Shuttle heeft zich trouwens ook als vervoermiddel van de NAVSTAR- satellieten ontpopt. Incidenteel noodzakelijke vervanging van een (verloren gegane) satelliet is soms mogelijk. We beperken ons even tot de Block II satellieten.

Een NAVSTAR satelliet is een zeer complexe maar toch ook zeer betrouwbare machine. Ze is uit acht belangrijke subsystemen samengesteld, bevat zo'n 65 000 afzonderlijke onderdelen en is ontworpen om zeven en een halfjaar (of 870 miljoen km) zonder service te functioneren.

De Delta II lanceerdraagraket "parkeert" de satelliet op een bepaalde hoogte en eigen raketmotoren, de zogenoemde "perigee- en apogee-kick" motoren, brengen de satelliet zelfstandig in zijn uiteindelijke baanpositie.

#### 1. De zonnepanelen en de speciale nikkelcadmium batterijen

De continu loodrecht op de zon georiënteerde silicium zonnepanelen (op de twee uitstekende "vleugels") zijn in staat om 700 Watt elektrische energie te genereren. Deze elektriciteit is voor de diverse subsystemen waaronder de zenders, de atoomklokken, de verwarmings- en bewegingssystemen. De overtollige energie wordt opgeslagen in drie 15-ampère-per-uur nikkel-cadmium batterijen. Deze extra energie dekt pieken in de energiebehoeftes en stelt het ruimtevaartuig in staat om continu zijn navigatiesignalen te verzenden wanneer het periodiek in de schaduw van de aarde vertoeft. Om de ongeveer zes maanden valt de schaduw van de aarde tussen 0 en 56 minuten op de satelliet en dit

gedurende 35 tot 45 opeenvolgende dagen. Gemiddeld per jaar, staat echter elke GPS-satelliet meer dan 99 % van de tijd vol in het zonlicht.

## 2. Isolatie en temperatuur regeling

Omdat de meeste elektronische componenten het meest efficiënt functioneren op of rond kamertemperatuur moeten we zorgen voor een optimale temperatuur. Vooral de atoomklokken zijn zeer gevoelig voor te grote temperatuurschommelingen. Soms is de afscherming (van koude en warmte) dertien isolatiedekens dik (mylar-kapton). Als een stuk ijs, van één pond, zorgvuldig in deze isolatie verpakt zou worden, en we dit pakketje op de pier te Brugge neerleggen, vinden we daar een jaar later nog steeds ijs in terug. Aan de hand van thermostaten die de verwarmingselementen controleren en ventilatieroosters op specifieke locaties wordt de interne temperatuur stabiel gehouden.

## 3. Richting van de satelliet en de beweging van de satelliet (correcties)

De Block II satelliet kent ook een subsysteem ten behoeve van zijn beweging. Dit controle- en reactiesysteem draagt er onder andere zorg voor dat de oriëntatie van de satelliet een onafgebroken aarde-zoekende richting is. De twaalf spiraalvormige navigatie-antennes staan, in een vast patroon, met een nauwkeurigheid van één graad op de aarde gericht. Ook regelt dit systeem, in dit geval met twee zonne-sensoren, het precies naar de zon richten van de twee zonnepanelen. Het uitgekiende bewegingssysteem -bestaande uit, onder andere, sensoren en zowel elektrisch als op brandstof werkende stuurraketjes- zorgt er ook voor dat de satelliet in zijn voorbestemde elliptische baan om de aarde blijft. Diverse subtiele krachten (o.a. zwaartekrachten van aarde/maan/zon, druk van zonnestraling) kunnen een verstoring betekenen van deze eliptische baan. Als correcties op deze baan niet accuraat gemodelleerd konden zijn, zou dit een fout in de positiebepaling betekenen van ongeveer 360 meter per uur.

## 3. De communicatie met de nodige elementen

Ten behoeve van communicatie met de controlestations zijn de satellieten onder andere uitgerust met twee speervormige antennes. Actuele efemeriden constanten, klokcorrecties

en statusgegevens (inzetbaarheid/betrouwbaarheid) worden periodiek in de richting van de satellieten gezonden. De uplink frequentie (2 227,50 Mhz) en de downlink frequentie (1 783,74 Mhz, dit zijn de frequenties die gebruikt worden voor de controle van de verkregen gegevens) wordt primair gebruikt voor de verzending van een ontvangstbevestiging en een reactie op gelijkheids controle om daarmee het controlestation constateermogelijkheden te bieden m.b.t. de correcte ontvangst van het uplink-bericht. De satelliet zendt de gegevens van deze "Update", verpakt in het navigatie-bericht, naar de ontvangers van de gebruikers.

### **3.3.4 Nut van GPS**

Het Amerikaanse "Navstar Global Positioning System" (GPS) is thans volledig operationeel met zelfs één meer dan de voorziene vierentwintig satellieten. Het maakt wereldwijd nauwkeurige vierdimensionale positiebepaling mogelijk, op te splitsen in laterale positie, hoogte en tijd. GPS is een militaire ontwikkeling, maar wordt alom civiel toegepast. De toepassingen voor de luchtvaart en het vervoer over water en land zijn legio. Cartografische toepassingen nemen hand over hand toe. De prijs van individuele ontvangers is gedaald tot het niveau van enige honderden dollars voor de eenvoudigste uitvoering, die zo in een draagbare computer kan worden geschoven. De meest betrouwbare ontvangers, die precisielandingen van vliegtuigen mogelijk maken, hebben vanzelfsprekend een heel wat steviger prijskaartje. De markt voor GPS ontvangers en -applicaties is gegroeid van 40 miljoen \$ in 1989 naar 600 miljoen \$ in 1994. Voor het jaar 2000 wordt een marktomvang van 5 \$ tot 8 miljard voorspeld.

Satellietnavigatie is de logische aanvulling op satellietcommunicatie. In de nabije toekomst zullen nieuwe "SATNAV/CON" satellietconstellaties worden gelanceerd en beheerd door de internationale gemeenschap. Tot zolang stelt het Pentagon GPS gratis aan de hele wereld ter beschikking. In de burgerluchtvaart zijn de technologische ontwikkelingen in de toepassing van GPS het meest belangwekkend. De technologie komt snel binnen bereik om onder alle weersomstandigheden in de cockpit van elk vliegtuig een exact en compleet overzicht te genereren van het luchtruim en het vliegveld, inclusief alle naderende, vertrekkende en taxiënde vlieg- en voertuigen. De meest vooruitstrevende piloten en luchtvaartmaatschappijen stellen dat op basis hiervan de piloot in het vliegtuig minstens even

goede beslissingen kan nemen als de verkeersleider in de toren. Zo komt men tot het concept “ Free Flight ”, waarmee wordt bedoeld dat de technologische vooruitgang de piloot in staat stelt zelf in alle fasen van de vlucht en ook onder omstandigheden van slecht zicht de optimale koers te bepalen.

Vooraf op het gebied van navigatiesystemen voor de burgerluchtvaart wordt intensief gewerkt aan DGPS-technieken en verbeteringen in de verwerking van het zwakke GPS-sigitaal door de ontvangstapparatuur. De aanleiding wordt gevormd door de sterke veroudering van de huidige luchtvaartnavigatiemiddelen en de toenemende vliegverkeersdrukke. Dat geldt zowel voor precisielandingen als voor trans- en intercontinentale navigatie. De toegenomen drukke scheidt de behoefte aan één navigatie en landingssysteem met wereldwijde dekking. De separatie afstand tussen vliegtuigen, met name tijdens de oceaan oversteek, als er geen radardekking is, kan daarmee belangrijk worden verkleind. De capaciteit neemt daardoor toe en de vliegtijd kan onder andere door optimaal gebruik van de “ jetstream ” worden verkort, met gunstige effecten op kosten en milieu. Kleinere vliegvelden, die geen (dure) grondapparatuur hebben voor precisielandingen kunnen met DGPS een gedeelte van de last van de drukke velden overnemen. Bovendien, hoe dichter bij de uiteindelijke bestemming kan worden geland, hoe beter. Op dit moment wordt GPS al door enkele honderden vliegvelden in de VS officieel gebruikt voor non- precisie landingen, dat zijn landingen met uitsluitend laterale geleiding, tot zo'n 300 meter boven de grond.

Vrijwel alle transportsectoren maken gebruik van GPS, maar de burgerluchtvaart is de civiele gebruiker van GPS bij uitstek. Bovendien stelt de burgerluchtvaart voor de kritieke fasen van de vlucht (start en landing) hogere eisen aan GPS dan enige andere civiele sector. Dit komt tot uiting in belangrijke technologische ontwikkelingen. De technologieontwikkeling in de luchtvaart zal uiteindelijk slechts 5 % van de markt vertegenwoordigen. Er zijn wereldwijd immers maar enige duizenden lijnvliegtuigen en enige honderdduizenden toestellen algemene luchtvaart! Van de markt komt 15% tot 20% voor rekening van de scheepvaart. De rest van de markt wordt voorzien voor transport over land en cartografische toepassingen. In de VS en elders grijpen talloze kleine bedrijven, zoals Trimble, Ashtech, Garmin, Magellan, II Morrow, 3S Navigation, Geotronics, Omnistar etc. deze kans met beide handen aan. De grote bedrijven, zoals



Wilcox, Honeywell, RockwellCollins en Motorola wisselen onderzoeksresultaten uit en zijn daardoor in de huidige ontwikkelingsfase goed opgewassen tegen Japanse bedrijven zoals Sony, Panasonic en Toshiba.

Voor honderd dollar koopt men een ontvanger op basis van PCMCIA-technologie. Het zal niet lang duren alvorens draagbare telefoons automatisch hun positie doorgeven zodra het noodnummer van de centrale meldkamer wordt gebeld. Elke toepassing waarbij nauwkeurige geografische plaatsbepaling een rol speelt, kan uitstekend gebruik maken van het GPS signaal, dat naast driedimensionale positionering zoals gezegd een uiterst nauwkeurig tijdsignaal beschikbaar stelt. Het is voor elk vervoersbedrijf enorm aantrekkelijk om op elk moment exact te weten waar de lading zich bevindt, of deze nu uit personen of uit goederen bestaat. Geografische Informatie Systemen (GIS) zijn eveneens sterk gebaat met het nauwkeurige DGPS-signaal. Tal van bedrijven leveren daartoe commerciële differentiële bakens. Binnen de Amerikaanse overheid alleen al zijn een negental verschillende departementen en instituten doende met de implementatie van een (eigen) DGPS-netwerk. De eerste niet militaire overheidstoepassing van DGPS werd uitgevoerd door de "Forest Service", voor cartografische doeleinden. De meest in het oog springende toepassing is misschien wel die van autonavigatiesystemen. Voor enkele duizenden gulden zijn er al zeer bruikbare systemen in de handel, die de automobilist zijn weg laten vinden in een onbekende streek of stad. In New York gaat dat nog mis. De wolkenkrabbers blokkeren het satelliet signaal..

#### GNSS (Global Navigation Satellite Systems)

De eerste succesvolle demonstratie van de mogelijkheid van het gebruik van satellietcommunicatie als navigatiehulpmiddel voor de luchtvaart vond plaats in 1964. De ICAO (International Civil Aviation Organisation) stelde een werkgroep samen onder de naam ASTRA (Application of Space Techniques Related to Aviation) om het concept verder uit te werken. In 1971 werd het eindrapport aangeboden aan de 7e " Air Navigation Conference " van ICAO. Dit leidde op zijn beurt tot een internationaal programma voor technische ontwikkeling, "Aerosat" genaamd. Deelnemers waren Canada, de VS en Europa. De eerste Aerosat zou in 1979 worden gelanceerd, maar door de tegenvallende economie kwam er niets van terecht en het programma ging in de ijskast. De interesse bleef echter

onverminderd en werd levend gehouden in de vorm van de "Aviation Review Committee". Deze gaf op zijn beurt het estafettestokje door aan de "Committee on Future Air Navigation Systems" (FANS), welke zijn eerste bijeenkomst hield in 1983. Het FANS eindrapport werd aan de ICAO Council aangeboden in mei 1988 en door de ICAO Air Navigation Conference van september 1991 bekrachtigd. De voorgaande jaartallen illustreren de trage procesgang en besluitvorming binnen een logge internationale organisatie als ICAO. Men bedenke echter dat ICAO liefst 183 "Contracting States" kent (juni 1994); het kost veel tijd om alle belangen af te wegen. In vergelijking met andere internationale organisaties levert het 50 jaar oude ICAO juist een dynamische prestatie.

Ondertussen nam in de VS het bedrijf ARINC (Aeronautical Radio Incorporated) het initiatief voor de realisatie van een ander satellietcommunicatiesysteem voor de luchtvaart. Dit systeem werd AVSAT genoemd. Het sloeg enorm aan binnen de luchtvaartgemeenschap, maar het ontbrak andermaal aan voldoende middelen om het van de grond te trekken.

ICAO's FANS-concept gaat uitdrukkelijk in op het gebruik van satellieten voor communicatie, navigatie en bewaking. Daarvoor gebruikt FANS het begrip GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Momenteel zijn er twee van zulke systemen, GPS en GLONASS. GPS is operationeel en GLONASS kan dat weldra zijn.

Terwijl ICAO's werkgroep over FANS vergaderde bracht de in 1976 opgerichte INMARSAT organisatie zes geostationaire satellieten omhoog, aanvankelijk uitsluitend bedoeld voor maritieme communicatie. In 1985 werd het mandaat van Inmarsat uitgebreid tot de luchtvaart. Zelfs voor de 10<sup>e</sup> Air Navigation Conference had de burgerluchtvaart echter al satellietcommunicatie in praktijk gebracht. Het eerste vliegtuig dat hiertoe een certificaat ontving was Boeing 747 van United Airlines op 13 september 1990. Dit vliegtuig vloog op 27 september 1990 van San Francisco naar Hong Kong en gaf elk uur per satelliet een gesproken positierapport door. Op de terugweg werden deze rapporten zelfs automatisch om de 5 minuten gegenereerd. Dit kan gezien worden als de eerste satellietnavigatie d.m.v. communicatie (SATNAV/COM). Satellietnavigatie, uitgebreid met gecomputeriseerde databases, is ongelooflijk veel gemakkelijker in het gebruik dan conventionele systemen.

In de toekomst zal er meer en meer gebruik gemaakt worden van satellietnavigatie. Bijvoorbeeld bij het reizen per bus of eigen auto zal onderweg informatie afhankelijk van positie en plaats voorzien worden. We krijgen de kortste en snelste weg toegesproken of zien deze afgebeeld op een kleurendisplay. Een toch verkeerd gekozen afslag wordt gecorrigeerd. Naar wens krijgen we relevante verkeersinformatie, is reisinformatie voorhanden en worden we voorzien van toeristische informatie. Tijdens de rit maken we een keuze uit de plaatselijke restaurants, reserveren daar een tafel en bestellen alvast uit het menu.

### 3.4 Satelliet-TV

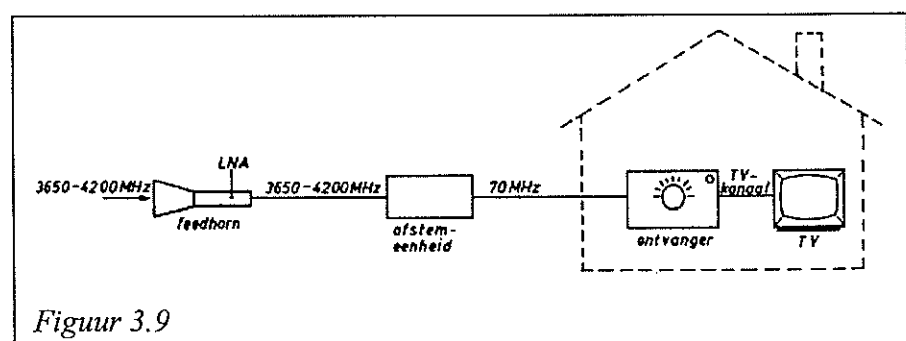
In deze laatste toepassing bespreken we de ontvangst van televisieprogramma's via satelliet. Dit zijn dus extra programma's die onze huiskamer binnenkomen. Skychannel en Musix Box waren de eerste en meest bekende.

#### *3.4.1 Het signaal van antenne tot beeldbuis*

Nadat het signaal door een antenne wordt opgevangen is het belangrijk om het signaal ongeschonden in de huiskamer te krijgen. Versterking van het signaal is van groot belang. Versterkers hebben een ruisfactor die zeker op hoge frequenties een enorm belangrijke rol speelt.

##### 3.4.1.1 Ontvangststelsel

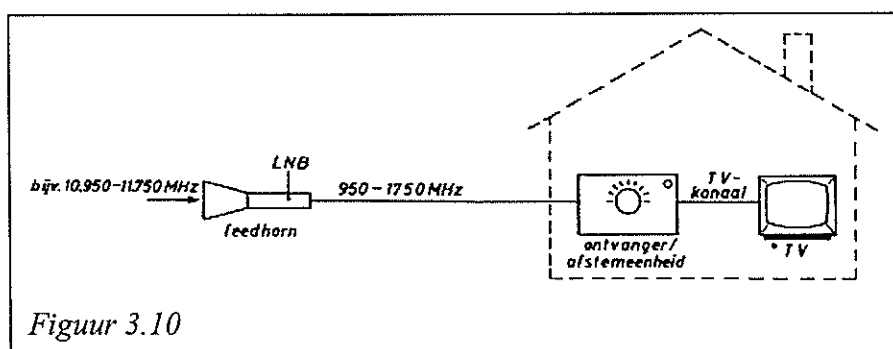
In de figuur zien we hoe het ontvangen signaal direct na de feedhorn versterkt wordt. Dit is absoluut nood-



zakelijk, of het nu om C- of Ku-bandontvangsten gaat. In de Verenigde Staten waar de C-band lange tijd de enige bron van satellietontvangstmogelijkheden bood, werd het

ontvangsysteem uit de figuur vrij standaard toegepast: het versterkte signaal wordt via een korte kabel naar een buitenshuis geplaatste afstemeenheid gestuurd. Hier wordt door middel van diode-afstemming op het gewenste satellietkanaal afgestemd. De bediening ervan vindt binnenshuis plaatst. De diodeafstemming houdt in dat een spanning met een bepaald voltage vanuit de huiskamer naar de afstemeenheid buiten wordt gestuurd. Daar wordt dan het uiteindelijke gekozen kanaal op een tweede kabel gezet als een middenfrequentsignaal. Hiervoor wordt vrijwel altijd een frequentie van 70 MHz gekozen. Verliezen zijn ook bij grotere kabellengten tussen de afstemmer en de huiskamer nauwelijks aanwezig, vandaar de omzetting. In de huiskamer wordt dan ten slotte verder gewerkt aan het signaal: scheiding van beeld en geluid, demodulatie,... tot eigenlijk het gewenste TV-signaal beschikbaar is. Hoewel ook in de Verenigde Staten nu een beperkt deel van de Ku-band in gebruik is, is daardoor het hiervoor beschreven systeem daar steeds minder in gebruik is.

Zoals de volgende figuur 3.10 ziet ontbreekt de buitenafstemmer. Reden hiervoor is dat niet één



frequentie wordt omgezet, maar de gehele ontvangen satellietband. Wanneer we spreken van satellietband, doet het er op dit moment weinig toe welke we bedoelen: het principe gaat op voor elke band die te ontvangen is, hoewel we zullen zien dat er onderling toch verschillen kunnen optreden.

Het essentiële verschil ligt in de zogenaamde blokconversie. Als we bijvoorbeeld de Ku-1 band nemen, krijgen we het volgende beeld. De door de schotel ontvangen en door de feed doorgegeven signalen tussen 10,95 en 11,75 MHz worden in een LNB eerst versterkt en daarna via een 10 GHz-MF-schakeling omgezet naar het gebied tussen 950 en 1750 MHz. Dit is het frequentiegebied dat direct boven de normale UHF-televisiekanalen ligt. De kabellengte mag niet zo groot genomen worden, zelfs bij kwaliteitskabels moet bij lengtes vanaf pakweg 30 m een versterker in de kabel worden gebouwd. Of iets dergelijks nodig is, hangt af van hoe sterk de LNB het signaal versterkt. Hoe hoger die versterker, hoe langer de kabel mag zijn voordat merkbare verliezen optreden.

Nog een iets blokconversie: deze vindt in het geval van C-bandontvangst altijd plaats door omkering van de band. In de praktijk betekent dit dat men van de MF-frequentie van 5150 MHz de gewenste werkelijke frequentie moet aftrekken om de uiteindelijke frequentie te krijgen waarop wordt afgestemd. Een concreet voorbeeld: Rusland 1 via Gorizont zendt uit op 3675 MHz. Om nu te weten op welke frequentie de tuner afgestemd wordt, maakt men de volgende rekensom:

$$5150 - 3675 = 1475 \text{ kHz}$$

Het in frequentie veel hoger gelegen eerste programma van Saudië-arabië komt daarentegen juist heel laag de huiskamer binnen:

$$5150 - 4162,5 = 987,5 \text{ kHz}$$

Bij de ontvangers in de huiskamer heeft men drie verschillende soorten. Uniden-, Drake- en Andersons ontvangstinstallatie zijn voorbeelden van de drie zulke verschillende. Alleen de Uniden-ontvanger is in staat zonder bijkomende handelingen de MAC-genormeerde zenders na inbouw van de decoder direct weer te geven. Voor beide andere soorten geldt dat een MAC-decoder als een apart kistje moet worden aangesloten.

### ***3.4.2 Voorbeelden van systemen bij satelliet-TV***

#### ***3.4.2.1 Intelsat-systeem***

Over het ontstaan van Intelsat is in hoofdstuk 1 al iets over vertelt. Hier zullen we de actuele situatie van dit systeem bespreken.

Intelsat-transponders worden op diverse manieren beschikbaar gesteld. Een lidstaat kan één of meer transponders kopen voor permanent gebruik, maar ook delen van transponders verkopen en verhuren. Officieel deelt Intelsat nooit informatie uit over het gebruik van haar transponders. Men zegt dat de gebruiker zelf bepaalt in welke mate de transponder wordt ingezet voor video- dan wel dataservices. In principe zal dit zeker waar zijn, hoewel toch vaak een zekere regelmaat valt te ontdekken in de wijze waarop de transponders gebruikt worden. Wat de frequenties in de Ku-1-band betreft: vrijwel altijd is er sprake van een systeem waar horizontaal gepolariseerde uitzendingen zich concentreren op 10,975; 11,015;

11,135 en 11,175 MHz in de lage Ku-1 kanalen en 10,995, 11,155 en 11,175 MHz in het verticale vlak. Voor de hogere frequenties liggen de zaken iets moeilijker, maar hiervoor ligt de verklaring in het frequentieschema dat voor Intelsat-Ku-banduitzendingen geldt. De hogere frequenties worden in één breedbandige transponder gevat, die daarvoor een aantal kanalen kan bevatten. De prijs van het gebruik van een transponder voor grotere aantallen videosignalen is uiteraard dat voor elk signaal apart een lager vermogen beschikbaar is. De bandbreedte is weliswaar groter, maar het beschikbare transpondervermogen blijft hetzelfde. Enkel de Intelsat 4A-, 5- en 6-satellieten zijn nog actief. Officieel hebben de Intelsat-4A-satellieten reeds hun "end of life"-periode overschreden, maar uiteraard worden satellieten pas echt buiten gebruik gesteld als ze niet langer naar genoeg functioneren. Meestal bestaat dit niet-functioneren niet uit een defect raken van transponders, maar uit het opraken van de brandstof die nodig is om een satelliet bij te sturen waar deze onstabiel raakt ten opzichte van de aarde. Intelsat streeft naar een precisie binnen 1/10 graad, maar in extreme gevallen is het wel voorgekomen dat tot een volle graad afwijking mogelijk was. In zulke gevallen wordt uiteraard met grote spoed gewerkt aan een vervanging van desbetreffende satelliet.

De Intelsat 5 en 5A-satellieten brengen een enorme capaciteitsverhoging met zich mee ten opzichte van hun voorgangers. Zone beams kunnen rond 3 dBW meer signaal leveren in hun doelgebied voor de Intelsat 5-satellieten. Niet alle verbeteringen zijn voor ons van evenveel belang. Wel van belang is het toch duidelijk waarneembaar hogere vermogen van de Intelsat 5A-satellieten op C-bandkanalen. Een voor ons niet waarneembaar, maar toch erg groot voordeel is dat men onbeperkt aan cross-strapping kan doen. Dit houdt in dat een signaal in het C-bandfrequentiespectrum kan worden opgestraald, in de satelliet omgezet en dan op Ku verder kan worden gestuurd. Het bekendste voorbeeld hiervan is CNN News op Intelsat 5A f11, die haar programma op die wijze van Atlanta naar Europa verstuurd. Ook wordt dit nogal eens gebruikt voor éénmalige intercontinentale TV-verbindingen.

De Intelsat 6-satellieten zijn op dit moment de grootste telecommunicatiesatellieten. Bovendien is het de krachtigste Intelsat-generatie met de grootste overdrachtcapaciteit. Naast televisie- en radio-uitzendingen in de Ku- en de C-band levert dit systeem ook veel telecommunicatie- en datatransmissiediensten. Via de Intelsat 601 wordt BBC World Service Television uitgezonden. In het centrum van het verzorgingsgebied bedraagt de EIRP meer dan 46,5 dBW. Ontvangst is daar mogelijk met een 90-cm-paraboolantenne. Daarbuiten heb je een 1-m-spiegel nodig.

### 3.4.2.2 Russische systemen

Al in een vroegtijdig stadium werden Russische satellieten ingezet voor doorgifte van televisieprogramma's. In dit kader werd reeds in 1971 een internationaal samenwerkingsverband tussen 14 landen opgericht. Deze organisatie staat bekend als de Internationale Organisatie voor Ruimte Communicatie (Interspoetnik).

Bij kennisvergroting kan televisie een interessante rol spelen. En hierbij is satelliet-TV de enige mogelijkheid om in West-Europa Russische televisieprogramma's te kunnen ontvangen. Rusland maakt momenteel gebruik van vier systemen waarbij televisiebeelden kunnen worden ontvangen. We zullen er slechts één van bespreken nl. de Russische Gorizont-satelliet.

De satellieten van dit type hebben twee bijzondere eigenschappen waardoor ze van groot belang zijn voor ons. Ze hebben allereerst één zender aan boord waarmee ze met hoog vermogen een bepaald gebied met een televisieprogramma kunnen bestrijken. Hiermee zijn ze volstrekt uniek in de wereld alsook heeft men een relatief grote omvang van antenne om in het C-bandbereik een redelijke ontvangst te waarborgen. Zelfs in Noord-Amerika, waar veel directe uitzendingen op de C-band plaatsvinden, is het toch al snel nodig een schotel met een doorsnede van 3 m te gebruiken.

De voor West-Europa meest interessante satelliet is de Gorizont op 14° W. De gemiddelde sterkte van het signaal bedraagt hier 45 dBW. De uitzendingen vinden plaats op 3675 MHz, in SECAM-kleur. De beelden zijn positief gemoduleerd. Op audiogebied wordt met deze uitzending twee signalen meegestuurd: op 7 MHz afstand van het beeldsignaal vindt u het bijbehorend televisiegeluid en op 7,5 MHz afstand wordt het eerste programma meegezonden.

### **3.4.3 Televisiesystemen**

#### 3.4.3.1 Conventionele kleursystemen

Men had drie conventionele kleursystemen in de wereld: NTSC, SECAM en PAL. Deze drie systemen zullen we nu verder bespreken.

### 1. NTSC (National Television Standards Commission)

Dit systeem is het oudste en werd al in een vroegtijdig stadium toegepast in de Verenigde Staten. Dit ongeduld heeft de Amerikanen een systeem bezorgd dat nogal wat nadelen met zich meebrengt. Het belangrijkste is dat er geen kleurcontrolesysteem ingebouwd is, zoals wel het geval is bij de beide andere normen. Daarom hebben TV-toestellen met deze norm een kleurcontrolesysteem. Wil men dat de kleuren min of meer aanvaardbaar blijven zal voor elke zender en vaak voor elk programma of reclameboodschap iets aan deze knop gedraaid moeten worden. Let wel op, er bestaan twee NTSC-normen, elk met een volstrekt eigen doel. De norm die we nodig hebben voor ontvangst van TV-beelden, hetzij via satelliet hetzij via landzenders, wordt aangeduid als NTSC-3,58. Niet te verwarren met NTSC-4,43 de NTSC-videonorm. Deze norm wordt uitsluitend gebruikt voor videobeelden.

### 2. SECAM (Séquence Couleur à Memoire)

Dit systeem werd in Frankrijk uitgevonden en is tot vandaag de dag nog steeds de norm in de meeste Franstalige landen. Bij de invoering van kleurentelevisie in Rusland werd daar ook voor deze norm gekozen. Een aantal Oostbloklanden deed ook mee, anderen niet. SECAM is bovendien geadopteerd door een groot aantal landen in het Midden Oosten en door Griekenland. Op zich is het een uitstekend kleursysteem dat bij normale omstandigheden niet onderdoet voor het hierna te bespreken PAL-systeem zoals wij dit kennen. Wel kan het erg vervelende consequenties met zich meebrengen bij ontvangst van minder sterke zenders. Dan namelijk wordt bij storingen en sneeuw een erg hinderlijk verschijnsel merkbaar: de 'lopende' kleurimpulsen veranderen in horizontale strepen die het kleurenbeeld behoorlijk verknoeien.

### 3. PAL (Phase Alternation by Line)

Deze bij ons gangbare norm is een uitvinding die in de jaren zestig werd gedaan. Van de drie kleurnormen is het duidelijk degene met de minste negatieve bijverschijnselen. In tegenstelling tot bijvoorbeeld de NTSC-norm wordt in principe altijd een schakeling in uw toestel toegepast die met het lieflijke woord kleurkiller wordt aangeduid. Deze treedt in werking als het signaal te zwak wordt om een mooi kleurenbeeld te produceren.



Wie gebruikt PAL? Ongeveer de meeste Westeuropese en Afrikaanse landen, het deel van Azië dat geen NTSC gebruikt en Australië. PAL-uitzendingen vinden met name plaats via onderandere Intelsat.

### 3.4.3.2 De nieuwe MAC-(Multiplexed Analogue Components-)systemen

Veel factoren hebben ertoe bijgedragen dat gezocht is naar een nieuw systeem voor het uitzenden van televisieprogramma's. Naast de wens om één verbeterd systeem wereldwijd te introduceren dat een eind zou maken aan de wirwar van PAL-, SECAM- en NTSC-systemen, werd uiteraard als doel gesteld een verbeterd televisiebeeld te brengen.

#### 1. Ontstaansgeschiedenis van MAC

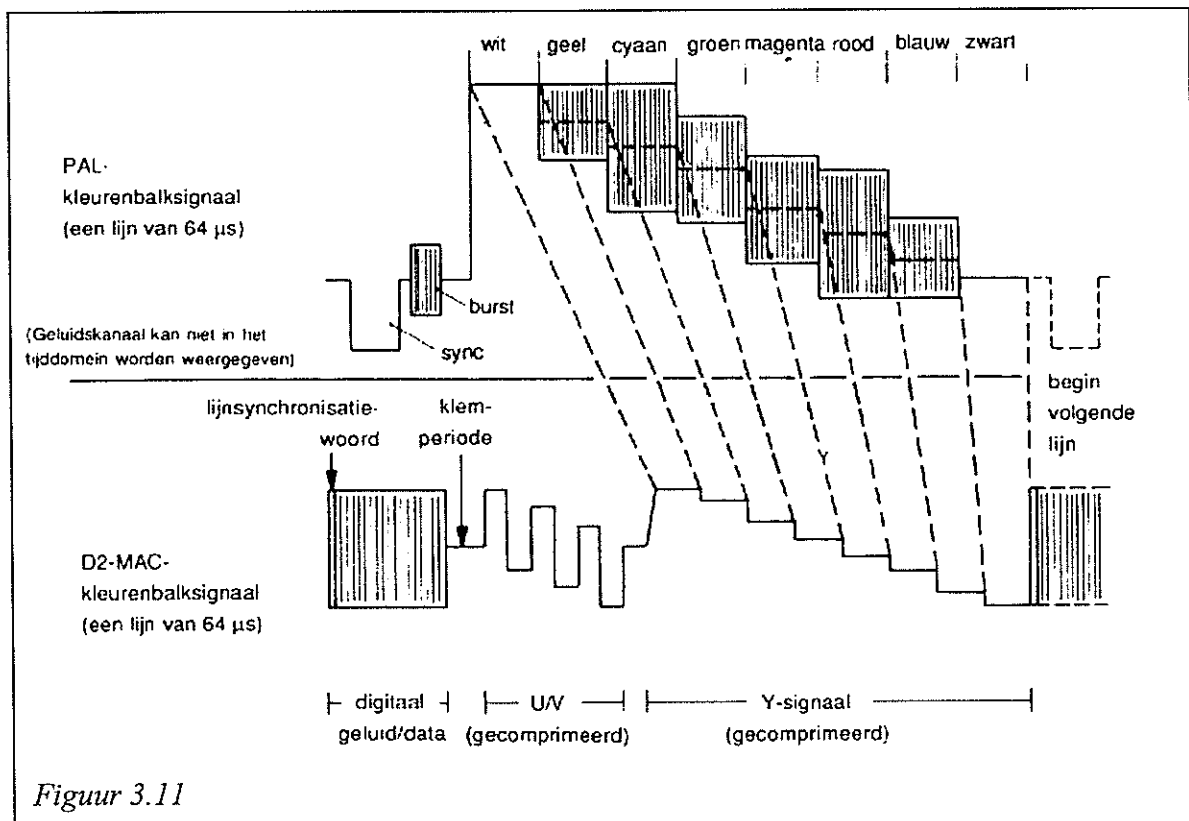
Jaren geleden werd door de Independent Broadcasting Authority (IBA) een eerste MAC-systeem gelanceerd. Het belangrijkste voordeel lag in het scheiden van de zwart/wit- en de kleurenonderdelen van het televisiebeeld. Hierdoor wordt een wat hogere resolutie van het beeld mogelijk. Bij bestaande systemen is iets alleen mogelijk bij een vergroting van de bandbreedte waarop wordt uitgezonden. Al snel kwam het Amerikaanse bedrijf Scientific Atlanta met een tweede versie die als B-MAC de wereld ingestuurd werd. Deze norm werd al snel geaccepteerd, althans buiten Europa. Niet alleen door de Verenigde Staten, maar ook door landen als Australië en Zuidafrika die er op beperkte schaal gebruik van maken. In Europa ging de ontwikkeling door. Later kwam er nog de C- en de D-MAC. Als voorlopig laatste kwam er de D2-MAC. Deze D2-MAC zullen we nu verder bespreken;

#### 2. D2-MAC, een nieuwe satelliet-TV-norm

De nieuwe TV-norm kun je niet verenigen met de bestaande normen (PAL, SECAM en NTSC). Midden 1985 hebben Duitsland en Frankrijk voor deze norm gekozen. In de onderstaande tabel vindt je een overzicht van het verschil tussen PAL en D2-MAC.

Norm	PAL	D2-MAC
Aantal lijnen	625	625
Rasterfrequentie	50 Hz	50 Hz
Geluid	Mono/stereo	Digitaal
Beeldverhouding	4:3	4:3/16:9
Uitzending vanaf	1967	1989
Ontvangst via	Kabel, dakantenne, satelliet	Kabel, satelliet

In tegenstelling tot het PAL-systeem worden bij het D2-MAC-systeem de signaalcomponenten voor geluid, kleur en helderheid in de tijd gemultiplext verzonden. Dat betekent dat achtereenvolgens worden verzonden: de data voor de geluidskanalen, vervolgens de analoge kleurinformatie (kleurverschilsignaal U bij oneven lijnen en V bij even lijnen), en tenslotte de helderheidsinformatie (Y-signaal). Deze sequentiële overdracht

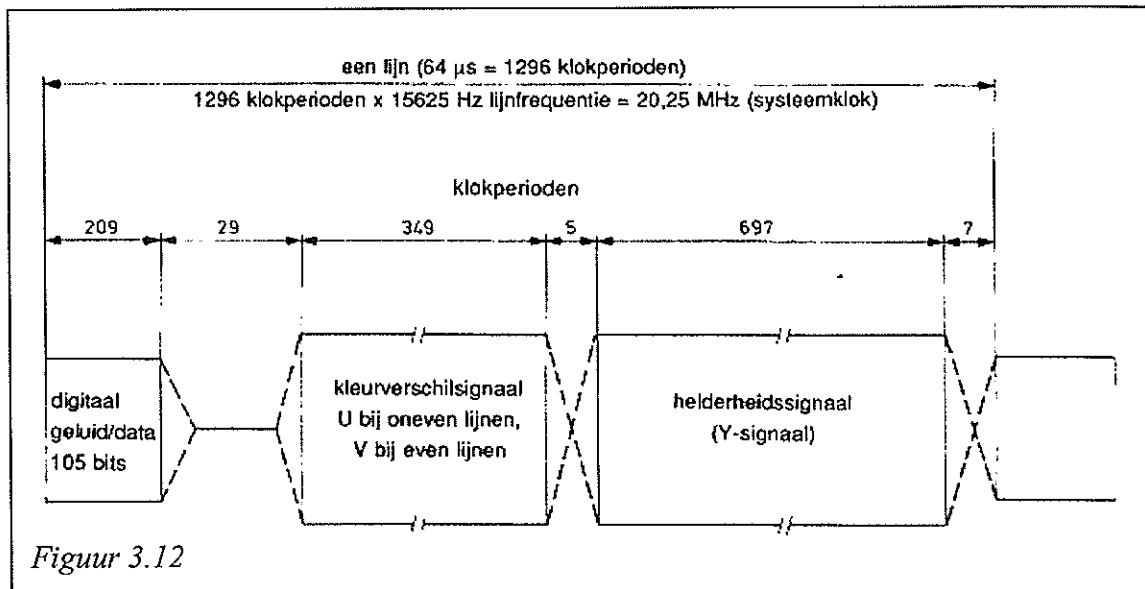


Figuur 3.11

vindt lijn na lijn plaats. In de figuur 3.11 vindt u een vergelijking tussen het PAL- en het D2-MAC/pakket-signaal.

Om in één lijnperiode van 64  $\mu\text{s}$  te passen, moeten de analoge signaalcomponenten (kleur en helderheid) gecomprimeerd worden. De compressiefactor voor het kleursignaal bedraagt 3:1 en voor het helderheidssignaal 3:2.

Uit deze compressiefactoren volgt de systeem-klokfrequentie van 20,25 MHz, hetgeen overeenkomt met 1296 klokperiodes per lijn. De onderstaande figuur geeft de verdeling van deze klokperiodes over een lijn weer.



De signaalcompressie wordt door de encoder uitgevoerd. Daartoe worden het helderheids- en het kleursignaal afzonderlijk gedigitaliseerd, in een tussengeheugen opgeslagen en vervolgens met grotere snelheid weer uitgelezen. Na D/A-omzetting is het gecomprimeerde kleur-respectievelijk helderheidssignaal voor verdere verwerking beschikbaar. In de ontvanger wordt het signaal door de decoder op omgekeerde wijze geëxpandeerd.

De voor- en nadelen van het D2-MAC/packetsysteem zijn:

Voordelen:

- uitstekende beeldkwaliteit dankzij gescheiden overdracht van helderheid en kleur
- Voor het D2-MAC/packet-signaal is slechts één draaggolf nodig (voor PAL zijn dat er vier)
- Na demodulatie is meteen het D2-MAC/paket-basisbandsignaal beschikbaar
- Geringe kleur-ruis dan bij PAL
- Digitaal geluid van hoge kwaliteit
- Mogelijkheid voor het verzenden van veel aanvullende informatie

Nadelen:

- Het D2-MAC is niet compatibel met enig van de bestaande systemen
- In individuele installaties hebben we een decoder nodig
- Om een D2-MAC-decoder op een bestaand TV-toestel aan te sluiten moet dit voorzien zijn van een Scart-aansluiting
- Aan ontvangst van D2-MAC-uitzendingen zijn extra (hardware-)kosten verbonden.

## ***BESLUIT***

In het eerste hoofdstuk was zeer goed de evolutie van de satellietcommunicatie te zien. Eerst kon men enkel een klein geluidssignaal verzenden, dit evolueerde dan tot een telefoonverbinding en nu zelfs tot alle mogelijke communicatievormen zoals televisie, internet, enzovoort.

Het tweede hoofdstuk handelde over de techniek van de satellietcommunicatie. We konden zien dat men gebruik maakt van zeer geavanceerde technieken. We hebben geprobeerd de nodige zaken op een voor ons bevattelijke manier uit te leggen.

In het hoofdstuk drie hebben we geprobeerd enkele van de moderne toepassingen op het gebied van satellietcommunicatie uit te werken. De besproken toepassingen zullen in de toekomst nog veel gebruikt worden. Uitgezonderd satelliet-TV, want deze zal alleen gebruikt worden voor de minder bevolkte gebieden.

Wij hopen dat nog vele mensen van ons werk kunnen gebruik maken als basis voor als basis voor satellietcommunicatie.

**APPENDIX**

<b>woord</b>	<b>betekenis</b>
AM	Amplitude Modulatie
AOR	Atlantic Ocean Region
ARINC	Aeronautical Radio Incorporated
ATS	Applications Technology Satellite
CA	Coarse Acquisition
COCC	Constellation Operation/s Control Centers
COMSAT	Communications Satellites
DBS	Direct Broadcasting Satellites
DOD	Department Of Defense
DSCS	Defense Satellite Communication System
EIRP	Effective Isotropically Radiated Power
ELF	Extreme Low Frequency
ESA	European Space Agency
FAA	Federal Aviation Administration
FANS	Future Air Navigation Systems
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FM	Frequentie Modulatie
GIS	Geografische Informatie Systemen
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
HF	High Frequency
HOW	HandOver World
IDCSP	Initial Defense Communication Satellite Program
IDSCS	Initial Defense Satellite Communication System
INMARSAT	International Maritime Satellite
INTELSAT	International Telecommunications Satellite Organisation
IOR	Indian Ocean Region
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
LEO	Low Earth Orbit
LES	Lincoln Experimental Satellite

LF	Low Frequency
LMSS	Low Maritime Satellite System
LNA	Low Noise Amplifier
LNB	Low Noise Block
MARISAT	Maritime Satellites
MF	Middle Frequency
NOCC	Network Operations Control Centers
NASA	National Aeronautics and Space Administration
POR	Pacific Ocean Region
SA	Sective Availability
SATCOM	Satellite Communications
SCORE	Signal Communications Orbit Relay Equipment
SHF	Super High Frequency
SITE	Satellite Instructional Television Experiment
SPS	Standard Positioning System
SSPS	Solar Satellite Power System
TACSAT	Tactical Communication Satellite
TDMA	Time Division Multiple Access
TRANSPONDER	Transmitter Responder
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
VLf	Very Low Frequency
WARC	World Administrative Radio Conference

## ***BIBLIOGRAFIE***

A.J.T. BEUCKELAERS en P.E.M. VAN DEN WYNGAERT,  
Elektrotechniek-deel 5- HF-techniek, Standaard, 1976.

BERNHARD KRIEG, Satelliet-onvangers, Elektuur, 1994.

CAPPON KOENRAAD en D'HONDT DAVID, Elektromagnetische golven, 1997.

C.J. BOTH, De korte golf, De muiderkring, 1975.

CHRIET TITULAER, Van Spoetnik tot Space shuttle, Strengholt, 1980.

DESCHEPPER GEERT, Cursus Transistorversterking.

DIRK DE GROOF, Encyclomedia, Davidsfonds, 1995.

DIRK DE GROOFF, Medialexicon, Alles over moderne communicatiemiddelen,  
Lannoo, 1991.

F.H.M. SCHUT, Telematica 3, Transmissietechniek, Wolters-Noordhoff, 1992.

HOGESCHOOL DELFT, Ruisarme elektronische schakelingen en systemen, Kluwer, 1981.

J.F. VANHOORT, Radiogolven, Kluwer, 1980.

JOSEPH J. CARR, HF-techniek zonder mystiek, Deel 1, Elektuur, 1997.

JOSEPH J. CARR, HF-techniek zonder mystiek, Deel 2, Elektuur, 1997.

KENNETH GATLAND, Ruimtevaart, Henrie Proost et Cie, 1982.

KEVIN YDE en TOM BOUCKAERT en PETER CALLEWAERT, GPS, 1998.



Microsoft Encarta 2000

RUDI BEKKERS EN JAN SMITS, Mobiele telecommunicatie,  
Kluwer telematica/elektuur, 1997.

VERHAEGHE DIRK, Cursus modulatie.

W. CONRAD, Communicatie 2001, Elektuur, 1990.

[www.mrc.nl/w2/lab/profiel/ruimtevaart](http://www.mrc.nl/w2/lab/profiel/ruimtevaart)

[www.teledesic.com](http://www.teledesic.com)

## **LOGBOEK**

- Tom Bauwens

<b>Datum</b>	<b>Handeling</b>	<b>duur</b>
04/09/99	Opstellen inhoud eindwerk	2 uur
11/09/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	3 uur
16/10/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	4 uur
03/11/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	3 uur
29/12/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	6 uur
30/12/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	2 uur
02/01/2000	Evolutie van de satellietcommunicatie	4 uur
04/01/2000	Evolutie van de satellietcommunicatie	6 uur
06/01/2000	Evolutie van de satellietcommunicatie	5 uur
08/01/2000	Evolutie van de satellietcommunicatie	4 uur
22/01/2000	Evolutie van de satellietcommunicatie	4 uur
29/01/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	5 uur
05/02/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	3 uur
12/02/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	6 uur
26/02/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	4 uur
04/03/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	5 uur
06/03/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	2 uur
07/03/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	3 uur
08/03/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	5 uur
10/03/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	4 uur
11/03/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	2 uur
12/04/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	3 uur
15/04/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	5 uur
16/04/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	4 uur
18/04/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	6 uur
20/04/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	5 uur
22/04/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	4 uur
03/05/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	3 uur
13/05/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	3 uur
20/05/2000	Samenstellen eindwerk	5 uur

- Joerie Vansteelant

<b>Datum</b>	<b>Handeling</b>	<b>duur</b>
04/09/99	Opstellen inhoud eindwerk	2 uur
11/09/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	3 uur
16/10/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	4 uur
03/10/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	2 uur
28/12/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	3 uur
30/12/99	Evolutie van de satellietcommunicatie	2 uur
03/01/2000	Evolutie van de satellietcommunicatie	6 uur
04/01/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	3 uur
07/01/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	4 uur
08/01/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	2 uur
22/01/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	3 uur
23/01/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	5 uur
05/02/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	4 uur
12/02/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	3 uur
16/02/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	2 uur
26/02/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	5 uur
04/03/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	3 uur
05/03/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	4 uur
09/03/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	3 uur
08/04/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	2 uur
10/04/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	5 uur
11/04/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	6 uur
12/04/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	4 uur
14/04/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	5 uur
17/04/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	3 uur
18/04/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	6 uur
19/04/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	5 uur
20/04/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	3 uur
21/04/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	2 uur
29/04/2000	Toepassingen van de satellietcommunicatie	4 uur
01/05/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	3 uur
06/05/2000	Techniek van de satellietcommunicatie	4 uur
20/05/2000	Samenstellen eindwerk	5 uur



