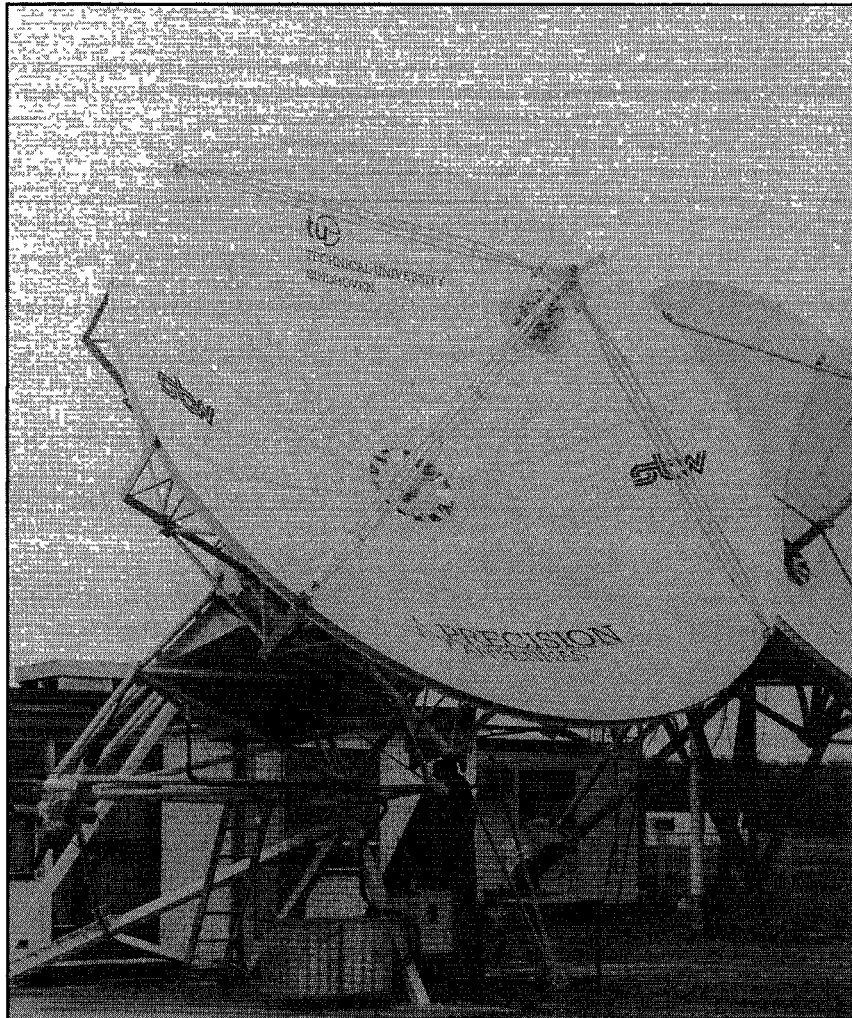


Hoge instelnaauwkeurigheid met conventionele technieken

Toegepast op een statief voor een 5,5 meter antenne

H.M. Soemers, Nederlandse Philips Bedrijven; D.M. van Dijk, Faculteit Werktuigbouwkunde, P. Brinkgreve, Centrale Technische Dienst, Technische Universiteit Eindhoven



Waar het in dit artikel om gaat

Voor het huidige communicatieverkeer via geostationaire satellieten moeten de daarvoor noodzakelijke antennesystemen aan hoge eisen voldoen.

De Technische Universiteit Eindhoven houdt zich al vele jaren bezig met het ontwerpen van antennestatieven en in het bijzonder met het verfijnen van constructieve oplossingen voor o.a. de instelmogelijkheden.

De laatste stand van zaken wordt in dit artikel behandeld, voorafgegaan door een theoretische beschouwing over de geometrie van de satellietenbaan ten opzichte van de aarde.

De gekozen oplossing om de instelling te laten plaatsvinden door rotatie van de antenneschotel om een polaire as en een as loodrecht hierop, wijkt nogal af van de conventionele oplossingen. Bij deze laatste vinden namelijk en azimuth- en elevatie verstelling plaats die niet direct zijn betrokken op de geostationaire baan. Verder bestaat meestal geen verschil tussen de "grof verstelling" - dit is de verstelling van satelliet naar satelliet - en de fijninstelling.

Inleiding

Als gevolg van de sterke toename van het communicatieverkeer via geostationaire satellieten, wil men hogere frequenties in gebruik gaan nemen. Onder hogere frequenties moet men dan verstaan: 20 à 60 GHz. De golflengte die hierbij hoort loopt dan uiteen van 5 tot 15 mm. Dit is in de orde van grootte van regendruppels. Het is duidelijk dat er dan gemakkelijk enige verstoring van het te ontvangen signaal zal optreden. Een ander gevolg is dat hoge eisen aan vorm en oppervlakenauwkeurigheid van de parabolische reflector gesteld worden, aangezien algemeen geldt dat afwijkingen in de parabolische reflector veel kleiner moeten zijn dan de gebruikte golflengte. Ook zal bij hogere frequenties de richtingsgevoeligheid evenredig toenemen. Dus bij geringe afwijking van de juiste richting wordt al beduidend minder signaal ontvangen.

Wil men met deze frequenties opereren, dan moet het hele antennesysteem aan hoge eisen voldoen. In 1975 is op de TUE ten behoeve van de vakgroep Telecommunicatie hiervoor een antennestatief ontworpen.

Uit mechanisch oogpunt gezien was het een uitstekend statief. Met een hoeknaauwkeurigheid van 10^{-5} radiaal voldeed het ruimschoots aan de gestelde eis: de rotatie om twee assen moet instelbaar zijn met een hoeknaauwkeurigheid van $0,02^\circ$.

Aan dit statief kleefden echter wel wat bezwaren. Zo waren azimuth (windrichting) en elevatie (hoogte-instelling) niet onafhankelijk van elkaar in te stellen door rotatie om elk der assen afzonderlijk, zodat de instelprocedure moeizaam was. Het voornaamste bezwaar was echter dat de schotel, bij verandering van instelling, een rotatie in zijn vlak vertoonde. Hierdoor ontstonden afwijkingen in de kruispolarisatie. Deze beïnvloedde de nauwkeurigheid van de (verstrooiings)metingen in ongunstige zin en maakte eigenlijk een nauwkeurig geregelde aanpassing van de polarisatierichting van de golfpijp aan de polarisatierichting van het satelliet signaal noodzakelijk. Vandaar dat de vraag kwam naar een ander antennestatief, dat aan dezelfde nauwkeurigheid moest voldoen, maar

natuurlijk zonder de bovengenoemde bezwaren

Er is al opgemerkt dat het communicatieverkeer via satellieten zich in een sterke groeifase bevindt. Het voordeel, dat een satelliet kortgolvlige radio-communicatie mogelijk maakt tussen plaatsen op aarde die daarvoor normaal buiten elkaars bereik vallen, geldt vooral in gebieden waar steden zeer ver uiteen liggen. Om telefoonverkeer of televisieuitzendingen mogelijk te maken is de satelliet dan het aangewezen hulpmiddel. In dichtbevolkte en hoogontwikkelde gebieden kan een voldoende dicht net van relayeestations met antennes, ontvangers, versterkers en zenders opgericht worden, waarbij de lange-afstandscommunicatie eventueel via een keten van relayeestations gevoerd kan worden. Voor ontwikkelingslanden, met veelal een gebrekkige infrastructuur, kan de satelliet een uitkomst zijn. Zij zitten echter wel met het probleem dat een heel antennesysteem vrij duur is, omdat het meestal aangekocht moet worden in een van de ontwikkelde landen. De ontwikkelingslanden zijn dus duidelijk gebaat bij een eenvoudig (en dus goedkoop!) antennesysteem. Het dient dan wel zo ontworpen te zijn, dat het ter plekke gemaakt kan worden. De antennestatieven worden zo ontworpen dat, als ze eenmaal op een geostationaire satelliet zijn ingesteld, alleen een fijnregeling nodig blijft om ervoor te zorgen dat de satelliet gevolgd kan worden bij afwijkingen van zijn nominale baan. Deze antennestatieven zijn niet geschikt om satellieten te volgen die in een lagere baan dan de geostationaire (36 000 km hoogte) rond de aarde draaien. Hiervoor is de werkslag te klein.

Specificaties

In het algemeen worden bij satellietcommunicatie parabolische spiegels als antenne gebruikt. Het parabolische oppervlak zal uit een geleidend materiaal moeten bestaan. Daarbij kan het metaal in een niet-geleidende, maar bijvoorbeeld beschermende laag, ingebed zijn. Men moet er dan wel rekening mee houden, dat de prestatie van de antenne afneemt.

Een eigenschap van een parabolische spiegel is, dat een zuiver evenwijdige bundel, evenwijdig met de spiegelas, zodanig weerkaatst wordt, dat hij convergeert in het brandpunt. Alle stralen leggen daarbij precies dezelfde weg af, zodat ze in fase aankomen. In het brandpunt wordt de geconcentreerde straling opgevangen in een metalen hoorn en via een zogenaamde "golf-

pijp" verder geleid in de richting van de elektronica.

Richtnauwkeurigheid

Een goede antenne heeft een smalle bundelbreedte, een begrip dat wat nadere uitleg behoeft. Staat de antenne precies naar de satelliet toe gericht, dan zal het ontvangen signaal een maximale sterkte hebben.

Zou de antenne een weinig fout gericht staan, dan wordt er nog wel signaal ontvangen, maar wel zwakker. Het liefst zouden we willen dat de signaalsterkte zeer snel tot nul zou naderen. De antenne is dan namelijk zeer gevoelig voor één richting en heeft zodoende minder last van signalen afkomstig van bronnen uit andere richtingen.

Het signaal wordt nul als de golven die op de ene helft van de spiegel ontvangen worden, precies tegengesteld van fase zijn ten opzichte van de golven op de andere helft. Een sterk vereenvoudigde voorstelling kan eruit zien zoals *figuur 1* toont.

Het opgevangen signaal wordt nul als het wegverschil gelijk is aan $\frac{1}{2}\lambda$ voor punten die $\frac{1}{2}D$ uit elkaar liggen (λ = golflengte en D is de diameter van de schotel). Voor de hoek θ kan dan bij benadering geschreven worden:

$$\theta \approx \frac{1}{2} \cdot \lambda / \frac{1}{2} \cdot D = \lambda / D \text{ rad} \approx 60\lambda / D \text{ graden}$$

De hoek die ingesloten wordt door de richtingen waarin 3 dB signaalverzwakking gemeten wordt (dat is de helft van het signaal) duidt men aan met de "bundelbreedte". Deze hoek is ongeveer gelijk aan de waarde die we voor θ afgeleid hebben:

bundelbreedte $\theta = 60\lambda / D$ graden
Met $\lambda = 0,01$ m en $D = 3$ m geldt voor onze antenne
 $\theta = 0,2^\circ$

De gebruikte frequentie bedraagt 30 Ghz. De richtnauwkeurigheid leidt men af van deze bundelbreedte. Men stelt dat de richtnauwkeurigheid beter moet zijn dan $0,1 \times$ bundelbreedte. In ons geval betekent dit een richtnauwkeurigheid van $0,02^\circ$. Om wat meer inzicht te krijgen in de betekenis van deze nauwkeurigheid, kan men zeggen dat dit gelijk is aan een verplaatsing van 0,35 mm op een straal van 1 m, zie *figuur 2*.

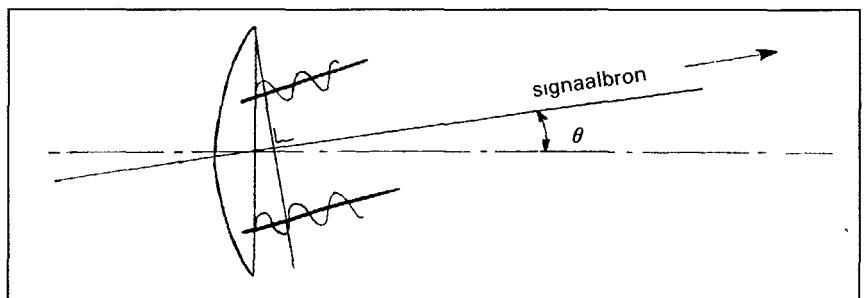
Bereik

Een geostationaire satelliet heeft zijn baan in het equatoriale vlak. Zijn omlooptijd is zodanig dat we hem steeds op dezelfde plaats aan de hemel blijven zien. Dat betekent dat zijn omlooptijd niet precies 24 uur is, maar iets minder, zie *figuur 3*. De aarde draait immers in één dag niet alleen rond zijn eigen as, maar legt ook nog $1/365,24$ deel af van zijn jaarlijkse baan rond de zon. Dus een geostationaire satelliet heeft de volgende omlooptijd:

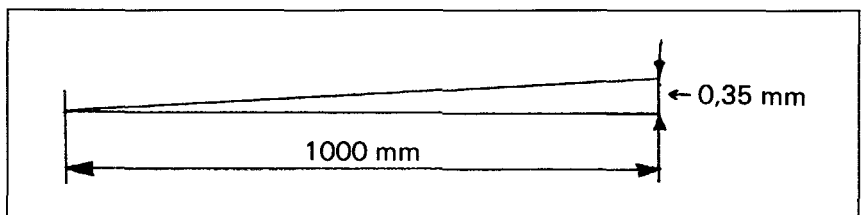
$$T = (1 - 1/365,24) \times 24 \text{ h} = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4 \text{ sec}$$

Het is duidelijk dat de geostationaire satellietbaan qua ruimte zijn beperkingen heeft. Ze moet daarom zo efficiënt mogelijk benut worden om wederzijdse verstoring te kunnen reduceren. Er zijn enkele belangrijke gebieden aan te wijzen op de geostationaire baan. Zo zijn er veel satellieten te vinden midden boven de oceanen (intercontinentaal scheepvaartverkeer) en boven land (regionaal communicatieverkeer), dit resulteert in satellietklusters in de geostationaire baan.

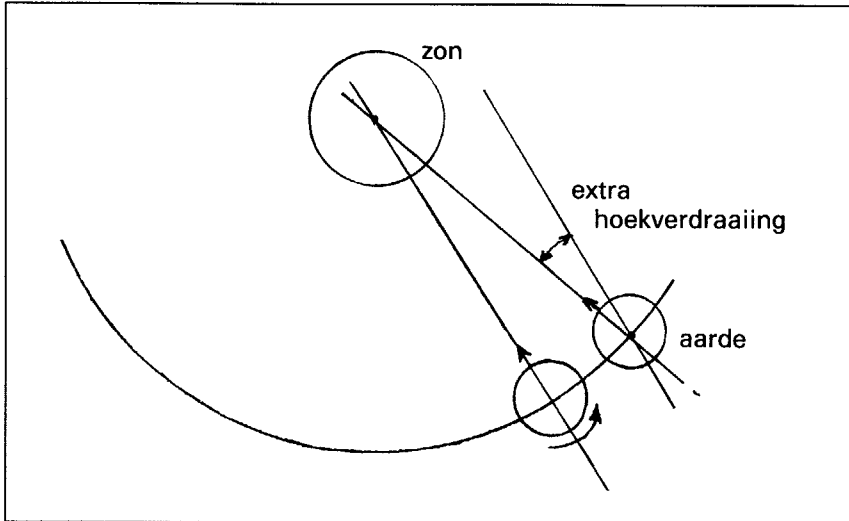
De geostationaire baan is eigenlijk een



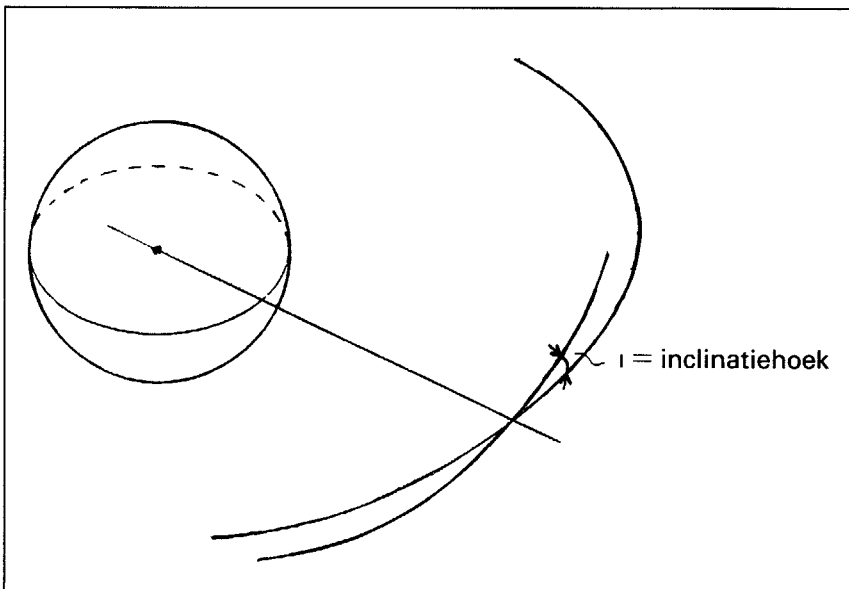
Figuur 1 Zie tekst



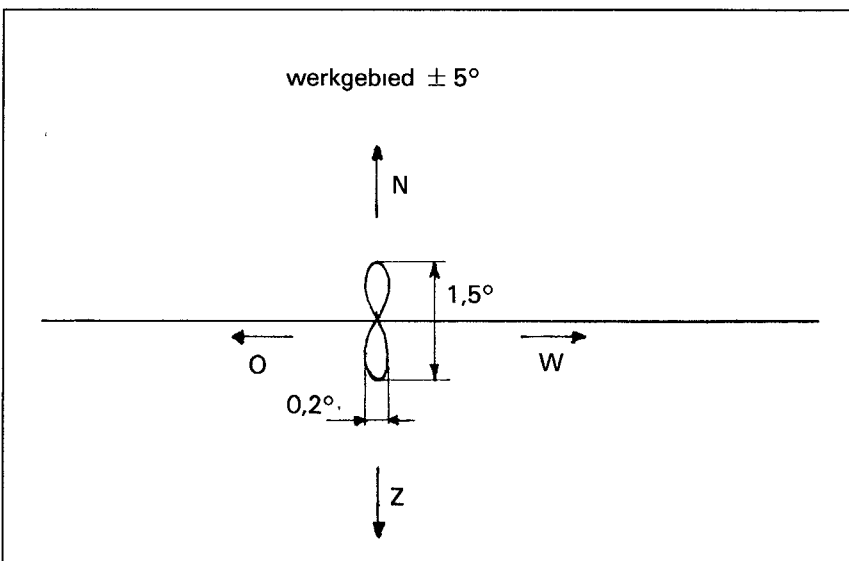
Figuur 2 Zie tekst



Figuur 3 Zie tekst



Figuur 4 Zie tekst



Figuur 5 Zie tekst.

idealisatie Staat een satelliet eenmaal op zijn plaats, dan zal hij onvermijdelijk wegdrijven. Dit gebeurt onder invloed van kleine, maar toch significante krachten, zoals

- De aantrekkingskrachten van zon en maan en stralingsdrukken. Deze zorgen ervoor dat de geostationaire baan niet in een vlak blijft, maar een zekere inclinatie ten opzichte hiervan krijgt. De hoekverandering bedraagt tussen $0,75^\circ$ en $0,95^\circ$ per jaar, zie *figuur 4*.
- Asymmetrische aardepotentialen, veroorzaakt door het niet rond en inhomogeen zijn van de aard-massa. Zo zijn er twee stabiele evenwichtsstanden in de geostationaire baan aan te wijzen 105° W.L. en 75° O.L. en twee onstabiele, elk 90° verdraaid ten opzichte van de stabiele. Een satelliet in een andere positie zal wegdrijven evenwijdig aan de evenaar. Vaak worden satellieten, als hun levensduur voorbij is, "begraven" op een van de stabiele plaatsen. Dit om driftende "spook" satellieten te voorkomen.

Verstoring a geeft een afwijking in N-Z richting, dus loodrecht op de geostationaire baan. Verstoring b geeft een afwijking in O-W richting. Bij het doorlopen van één omwenteling laten deze afwijkingen zich in beide richtingen sinusvormig aanzien. Aldus ontstaat een Lissajous-figuur. Een waarnemer die zich bevindt op de as tussen het middelpunt van de aarde en de gemiddelde satellietpositie, ziet de satellietbaan als een soort "achtje"; zie *figuur 5*.

Dit "achtje" wordt eenmaal per dag doorlopen. Deze storingen hebben behalve een periodieke component, ook een deel dat in de tijd langzaam aangroeit. Het "achtje" zal dus langzaam groter worden en wegdrijven. Drift de satelliet zo ver weg dat hij buiten de plaatstoleranties dreigt te geraken, dan zijn er aan boord vrij nauwkeurige stuurmotoren aanwezig om de satelliet weer terug te sturen naar zijn juiste plaats en snelheid. Nu zijn die plaatstoleranties van de satellieten onderling sterk verschillend. De "betere" satellieten tracht men op een paar tienden van graden nauwkeurig op de plaats te houden, (in de L-SAT folder stond te lezen: "station keeping accuracy $\pm 0,1^\circ$ "), terwijl de wat "goedkopere" satellieten het met een nauwkeurigheid van $\pm 1,5^\circ$ moeten stellen. Men dient zich echter niet te veel blind te staren op deze waarden. Wordt een satelliet wat ouder, dan worden de positietoleranties steeds groter. Er is derhalve gekozen voor een bereik van $\pm 5^\circ$ graden voor zowel

azimuth (windrichting) als elevatie, zie *figuur 5*

Opgemerkt moet nog worden, dat het beschreven "achtje" vanuit Eindhoven er niet langer als een "achtje" uitziet, maar een ellipsachtige gedaante heeft. In *figuur 6* is de baan van de ATS-6 satelliet, vanuit Eindhoven bekeken, getekend.

De geostationaire satellietbaan

We zullen allereerst eens moeten bekijken hoe we de schotel moeten richten, als we een geostationaire satelliet in vizier willen krijgen. Een ander punt dat in dit verband aandacht behoeft is, dat we een mogelijkheid inbouwen om van de ene naar de andere satelliet over te schakelen. Dit hoeft niet in een paar tellen gebeurd te zijn, maar het mag gerust een dag werk vergen. Het punt is, dat we geen statief ontwerpen dat exclusief voor één satelliet geschikt is. Om wat meer over de geostationaire satellietbaan te weten te komen volgt allereerst wat rekenwerk.

Om te beginnen willen we de afstand van het middelpunt der aarde tot de satelliet bepalen.

De aardstraal r vinden we door de omtrek van de aarde door 2π te delen $r = 40 \cdot 10^6 / 2\pi = 6,366 \cdot 10^6$ m

Verder geldt voor de zwaartekracht op aarde

$$m \cdot g = f \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

Hierin zijn

M = massa van de aarde [kg]

f = gravitatieconstante [-]

g = valversnelling [m · s⁻²]

Uit de formule volgt

$$M = g \cdot r^2 / f$$

Voor een object dat in een baan met straal R rond de aarde draait, zie *figuur 7*, geldt dat de zwaartekracht gelijk is aan de middelpuntvliedende kracht:

$$f \cdot \frac{M \cdot m}{R^2} = m \cdot \omega^2 R$$

ω = hoeksnelheid satelliet [s⁻¹]

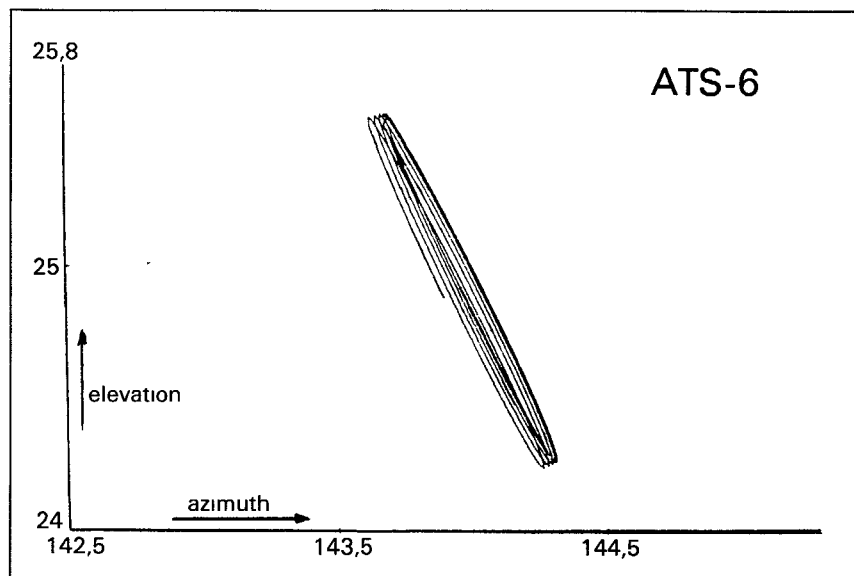
We hadden al berekend dat een satelliet een omwenteling maakt in 23 h, 56 min en 4 sec. Dat wil zeggen:

$$\omega = \frac{2\pi}{(23 \cdot 3600) + (56 \cdot 60) + 4} = 72,92 \cdot 10^{-6} \text{ [s}^{-1}\text{]}$$

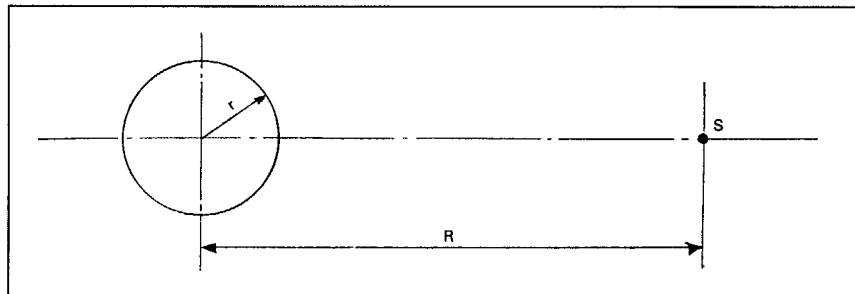
$$R = \sqrt[3]{\frac{g \cdot r^2}{\omega^2}}$$

$$= \sqrt[3]{\frac{9,81 \cdot (6,366 \cdot 10^6)^2}{(72,92 \cdot 10^{-6})^2}}$$

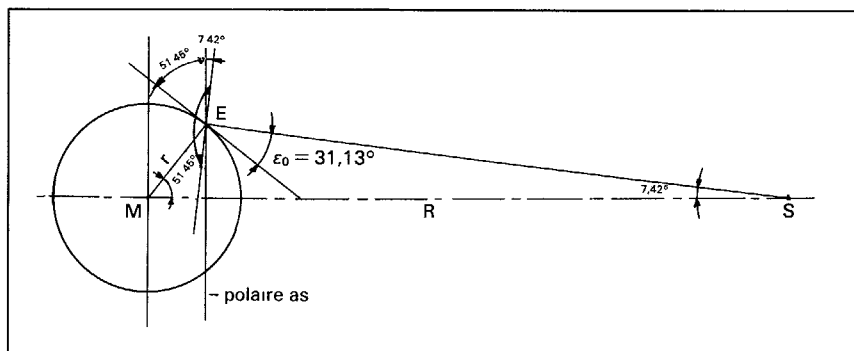
$$= 42,213 \cdot 10^6 \text{ [m]}$$



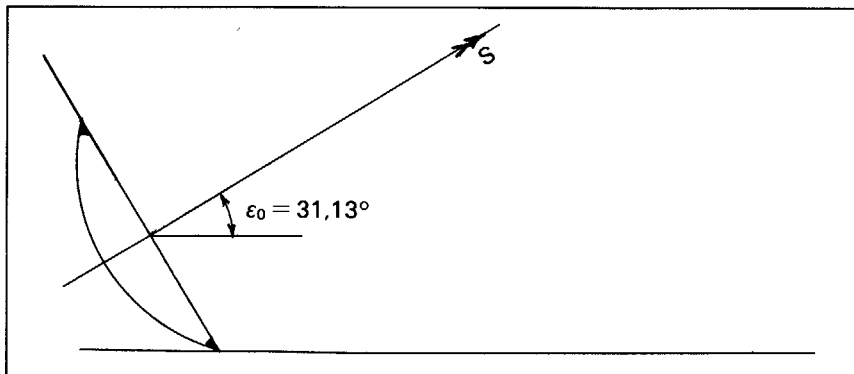
Figuur 6 Zie tekst.



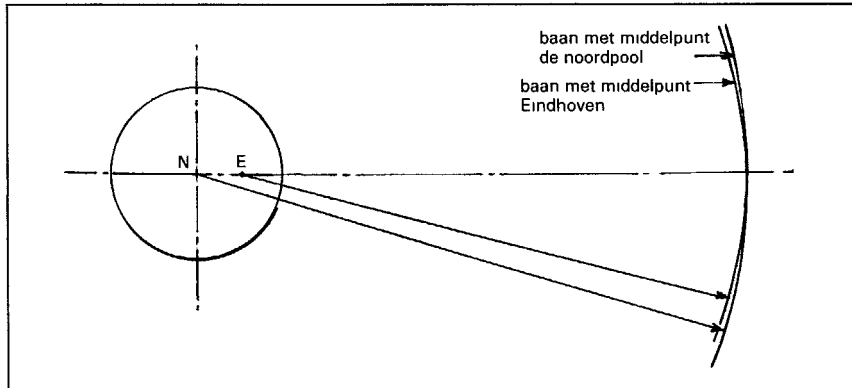
Figuur 7 Zie tekst.



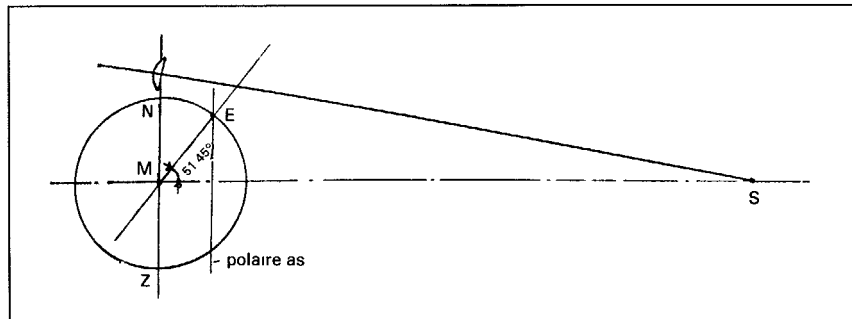
Figuur 8 Zie tekst.



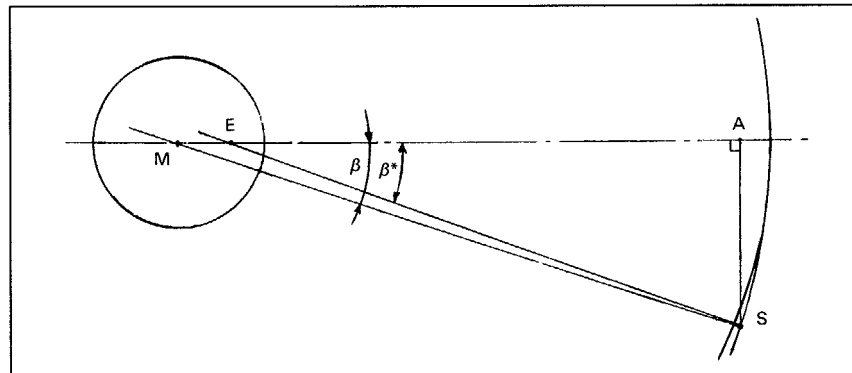
Figuur 9 Zie tekst.



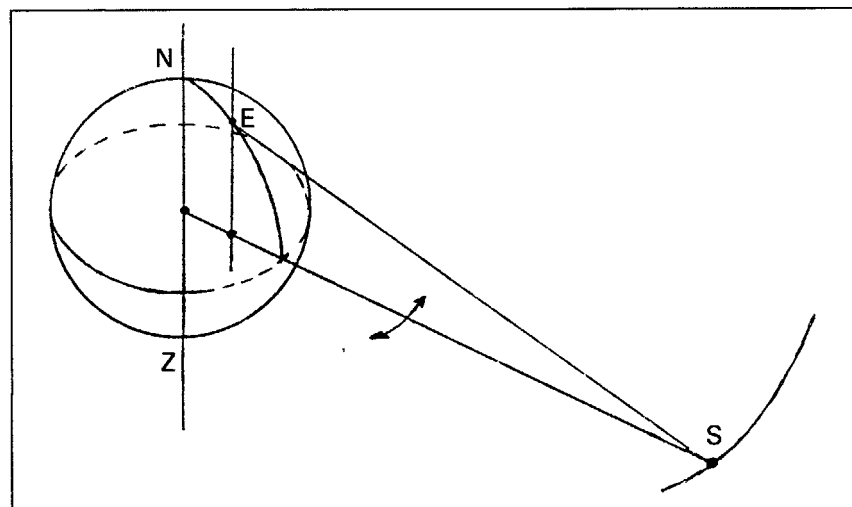
Figuur 10 Zie tekst



Figuur 11 Zie tekst



Figuur 12 Zie tekst



Figuur 13 Zie tekst

Dus de straal van de geostationaire satellieten is 6,63 maal zo groot als de aardstraal

Figuur 8 toont in het meridiaanvlak door Eindhoven (E) – dit ligt op $5,5^\circ$ O L en $51,45^\circ$ N B. – de doorsnijding met de aarde en het snijpunt S met de satellietenbaan.

In de driehoek MES valt eenvoudig te berekenen dat Eindhoven onder een hoek van $7,42^\circ$ wordt gezien vanuit S. Eveneens is te berekenen dat de elevatiehoek ε° , dat is de hoek tussen het Eindhovense horizonvlak en de lijn ES $31,13^\circ$ bedraagt. Duidelijk zal zijn dat deze hoek de elevatie is voor een satelliet in dit meridiaanvlak.

Te constateren valt dat de polaire as van Eindhoven een hoek van $51,45^\circ$ met het horizonvlak en een hoek van $7,42^\circ$ met de lijn ES maakt.

Voor het verkrijgen van een meer aansprekend beeld is in figuur 9 de antenne "op de grond geplaatst", hetgeen wil zeggen dat het horizonvlak nu horizontaal staat en we de satellietenbaan ook inderdaad in de hemel zien staan (als we hem konden zien)

We moeten nu nagaan, hoe we op eenvoudige wijze van de ene naar de andere satelliet over zouden kunnen schakelen. Een waarnemer, die zich precies boven de noordpool bevindt, ziet de aarde, Eindhoven en de geostationaire satellietenbaan zoals figuur 10 toont

Zou er boven de noordpool een schotel kunnen zweven, dan moeten we voor verstelling van de ene naar de andere satelliet enkel maar rond de poolas draaien, zie figuur 11

In Eindhoven gaat dit verhaal echter niet meer op, althans niet helemaal. Eindhoven ligt excentrisch ten opzichte van de geostationaire satellietenbaan. We zien dan dat het spoor, dat gevolgd wordt door vanuit Eindhoven rond de polaire as te draaien, licht afwijkt van de te volgen baan; zie figuur 12. Bij instelling op een hoek β^* , volgt een te kleine elevatiehoek ε

Het verschil in de elevatie ε behorende bij hoek β en de elevatie ε^* behorende bij hoek β^* is te berekenen. Voor de L-SAT, die zich op 19° W.L. bevindt blijkt dit verschil slechts $0,1^\circ$ te bedragen

Dus een rotatie rond de polaire as blijkt een goede benadering te zijn om de verzameling van alle geostationaire satellieten af te tasten

In [1] wordt een methode beschreven om de bovenstaande benadering nog te verbeteren, waarvan nu een korte beschrijving volgt. Roteren we de schotel rond een polaire as, dan beschrijft de schotel-as een kegel-mantel

De doorsnijding met het equatoriale vlak is een cirkel, zie *figuur 13*. We hebben daarnet gezien dat deze cirkel een te kleine kromtestraal heeft om de juiste baan goed in het oog te kunnen houden. Een manier om deze kromtestraal in het relevante gebied wat groter te maken, is de polaire as te kantelen over een hoek γ , zie *figuur 14*. Ze blijft daarbij wel in het meridiaanvlak beschreven door de noordpool, zuidpool en Eindhoven. De doorsnijding met het equatoriale vlak zal dan niet langer een cirkel zijn, maar de gedaante aannemen van een ellips.

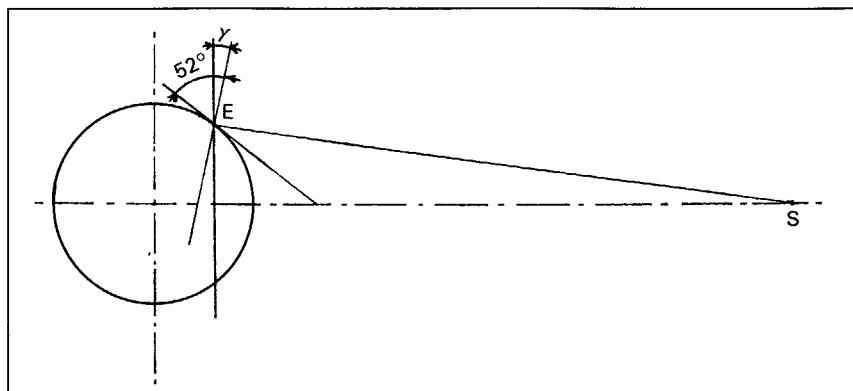
De hoek γ is zodanig berekend dat in het beschouwde gebied de kromtestraal van de ellips gelijk is aan de kromtestraal R van alle satellietposities. Uit berekeningen bleek dat een optimale aanpassing verkregen kan worden voor $\gamma = 0,5^\circ$. Dus de zuiver polaire as wordt niet langer gehandhaafd als rotatie-as. Dit wordt de as die een hoek van $51,45 + 0,5 = 52^\circ$ met het aardoppervlak maakt.

Samenvattend kunnen we zeggen dat een polaire as niet alleen ontzettend handig is bij een grofinstelling van de ene satelliet naar de andere, maar dat we een polaire rotatie-as ook goed kunnen gebruiken bij de fijninstelling. De andere rotatie-as, hier loodrecht op, wordt een zuivere elevatie-instelling. Roteren om een polaire as betekent niet alleen een azimuth verandering, maar ook een verandering in elevatie. De instellingen zijn dus zeker niet ontkoppeld wat betreft azimuth en elevatie. Dit lijken dus begrippen die in dit verband weinig betekenis hebben. Ze zijn uitsluitend handig om op een bepaalde plaats op aarde een juiste antenne-instelling te verkrijgen. Voor de begripsvorming zou in plaats van azimuth, een rotatie rond de (gecorrigeerde) polaire as gedefinieerd kunnen worden. En de elevatie zou bijvoorbeeld 0° genoemd kunnen worden als de antenne precies naar de baan van alle geostationaire satellieten wijst in het meridiaanvlak van een willekeurige plek op de aarde.

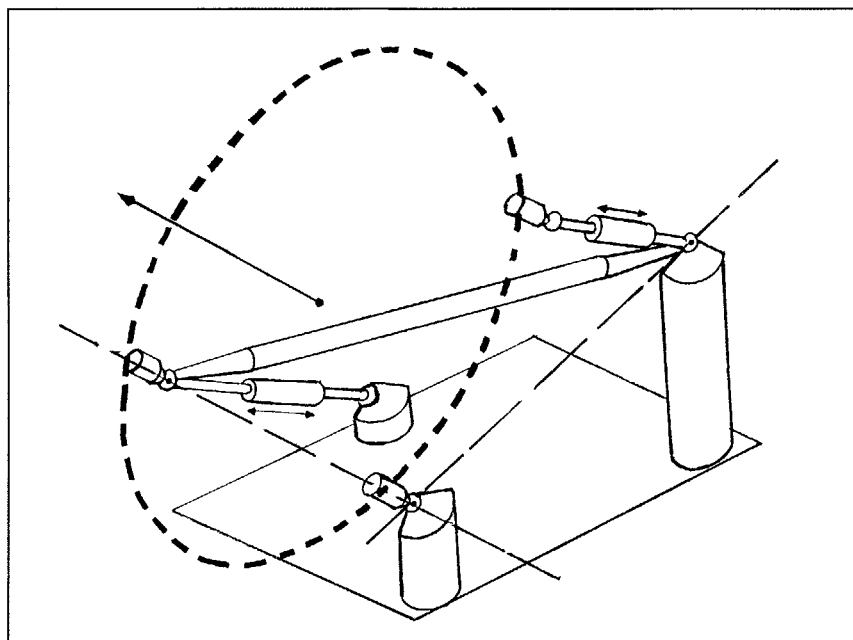
De constructieve uitvoering

Uitgangspunten voor de constructie

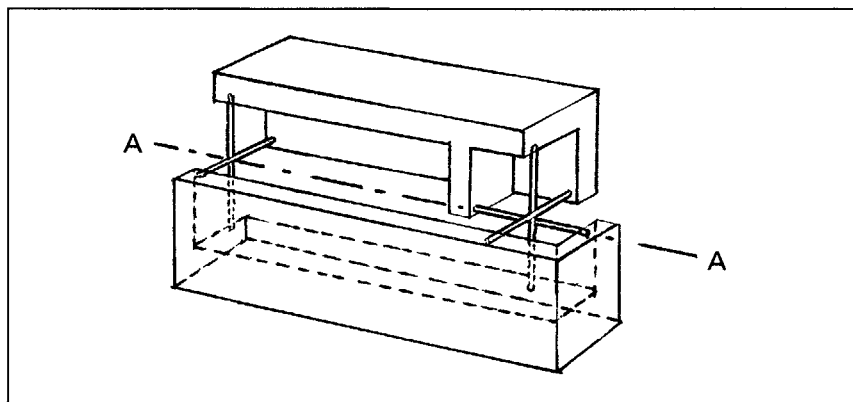
- 1 De schotel krijgt een driepunts oplegging (driepunts bevestiging)
- 2 De bevestigingsdiameter aan de schotel moet groot zijn
- 3 De totale constructie van het antennesysteem moet stijf zijn
- 4 De aandrijvingen en rotaties moeten weinig wrijving hebben
- 5 De aandrijvingen en overbrenging moeten spelingsvrij zijn



Figuur 14 Zie tekst



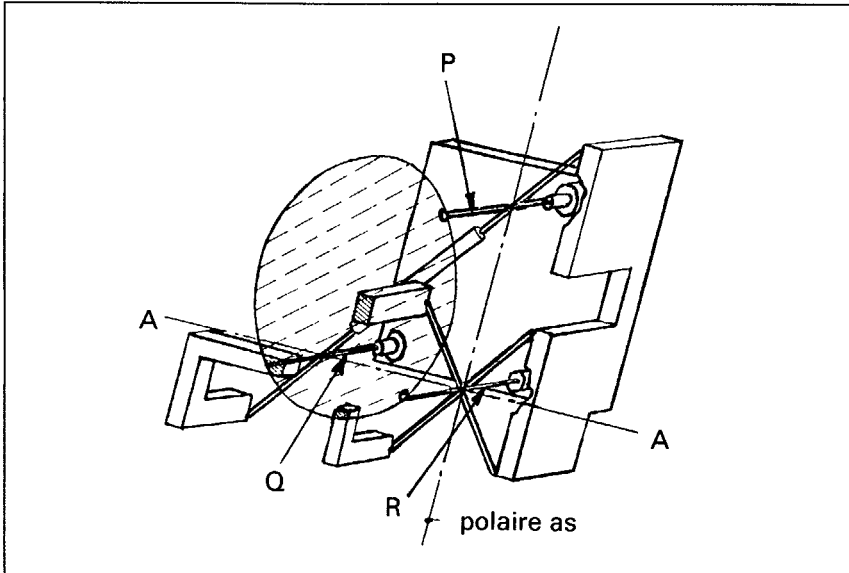
Figuur 15 Principe van het antennesysteem



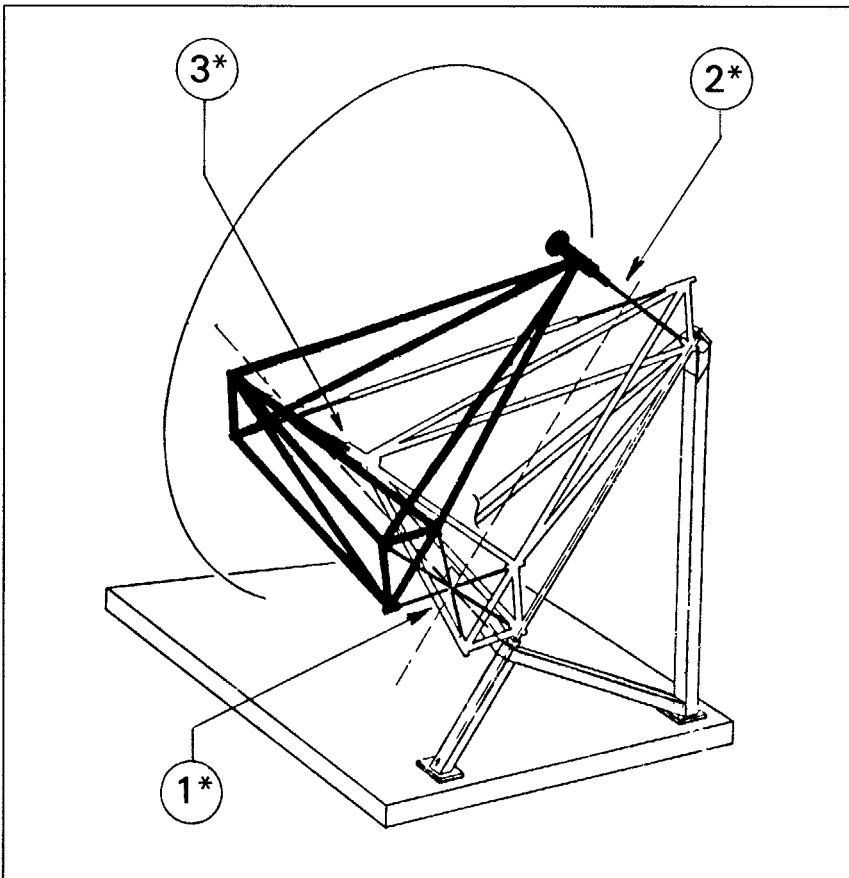
Figuur 10 Het toegepaste kruisveerscharnierprincipe

Het in 1977 ontworpen en vervaardigde antennesysteem is geschetst in *figuur 15*. Hoewel het voldoet aan de voornoemde uitgangspunten zijn toch aan het constructieve principe een aantal bezwaren verbonden. Daarom is later een logische ontwikkeling van dit principe gerealiseerd,

waarbij ten behoeve van de fijninstelling gebruik is gemaakt van een aantal elastische elementen. De vorm van het toegepaste kruisveerscharnier (elastische scharnier) is weergegeven in *figuur 16*. De aangegeven elastische staven (vijf stuks) laten hier slechts één rotatie,



Figuur 17 Het principe van het antennestatief



Figuur 18 De positie van de elastische staven in de totale freemconstructie

rond as AA, toe

Dit principe is terug te vinden in de schets van het gehele antennestatief, zie *figuur 17*

Een verstelling in de lengterichting van staaf P geeft een rotatie om as AA. Een verstelling van staaf Q geeft een rotatie om de polaire as. Wel moet worden opgemerkt dat de verplaatsing

van het momentane rotatiepunt van een elastische scharnier in het vlak, niet altijd aanleiding hoeft te geven tot fouten. Als bijvoorbeeld deze verplaatsingen bij P en R (*figuur 17*) dezelfde zijn als een verstelling van Q, dan wordt slechts een translatie van de polaire as veroorzaakt. Dit leidt dan niet tot een fout in de positie van het systeem

Het principe van het antennestatief voor wat betreft de positie van de verstellassen alsmede de manier van verstellen, is hiermee aangegeven. De daadwerkelijke constructieve uitvoering van het statief kan nu behandeld worden.

Zowel in 1984 als in 1989 zijn volgens de genoemde principes statieven geconstrueerd en gerealiseerd. Het model van 1989 wordt in *figuur 18* getoond.

De elastische staven 1*, 2* en 3* zijn volgens de overzichtstekening *figuur 19* in het frame aangebracht. Deze staven zijn vervaardigd uit 34 CrNiMo₆, een veredeld constructiestaal.

Aan de uiteinden zijn de "vaste" staven door vastlassen bevestigd, de verstellstaven worden met een conus vastgetrokken.

De dimensionering van deze staven is volgens de klassieke berekeningsmethode en belastingscriteria uitgevoerd. Van invloed zijn hiervoor onder andere het eigen gewicht van de constructie, de maximale windbelasting alsmede de maximale hoekverdraaiing over de beide rotatie-assen.

Zonder extra aandacht kan het vastlassen van de knikstaven tot problemen leiden. Een aantal lasproeven op "dummy's" gaf aan dat door te snelle afkoeling van de lasplaat te veel martensiet ontstond. Het voorverwarmen tussen 500 en 600 °C en het gebruik van de juiste las-elektroden zijn noodzakelijk en afdoende gebleken om problemen te voorkomen.

Het verstellen van de staven vindt plaats met draadspillen en kogelomloopmoeren. Deze oplossing is goedkoop en zeer nauwkeurig.

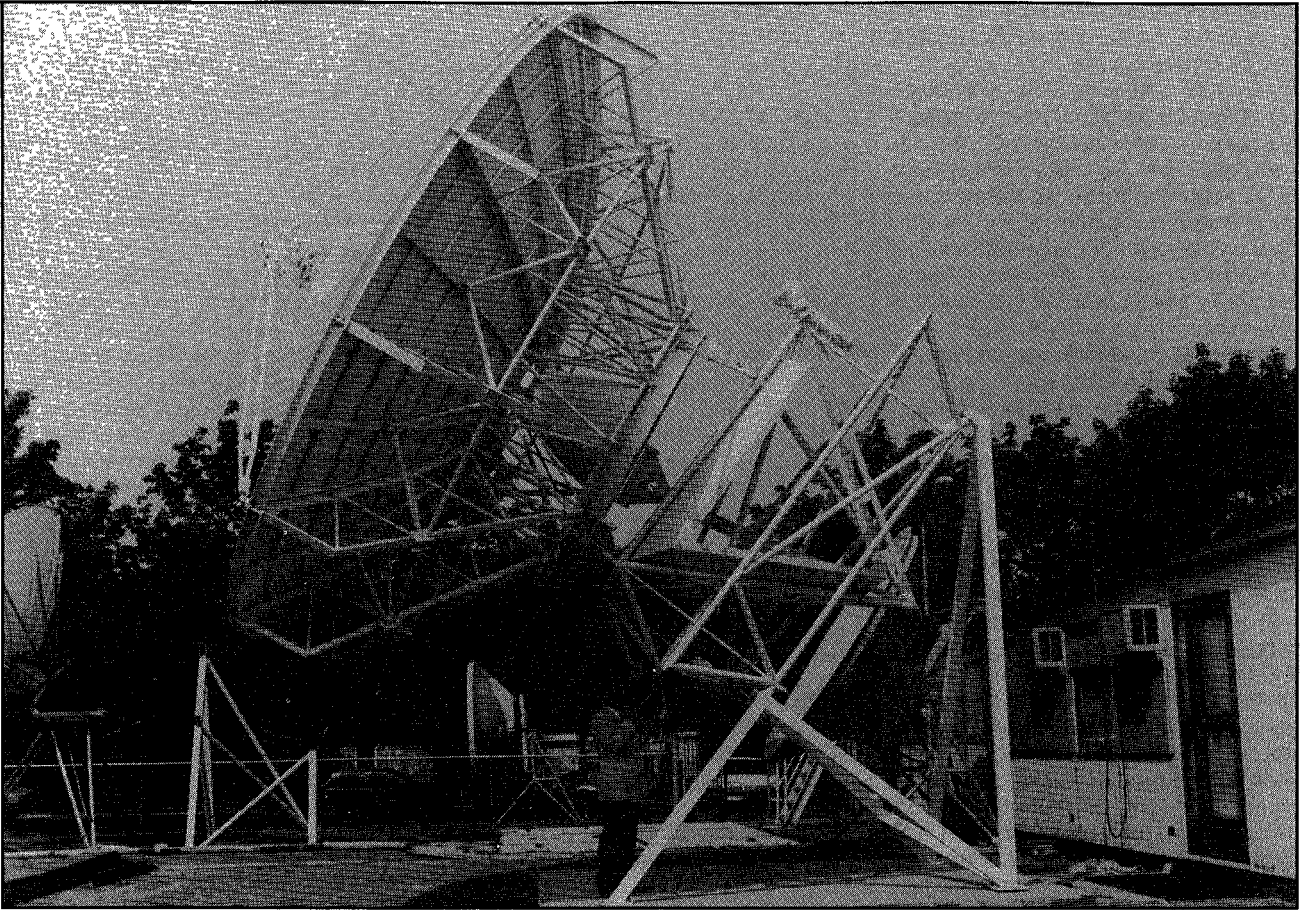
De nauwkeurigheid wordt extra opgevoerd door de relatief grote afstand van de verstellstaven tot hun respectievelijke verstellassen.

De kogelomloopmoeren zijn zo goed als hysteresisvrij en hebben een zeer laag wrijvingskoppel. Het "opkrul"-effect van de staven is hierdoor te verwaarlozen.

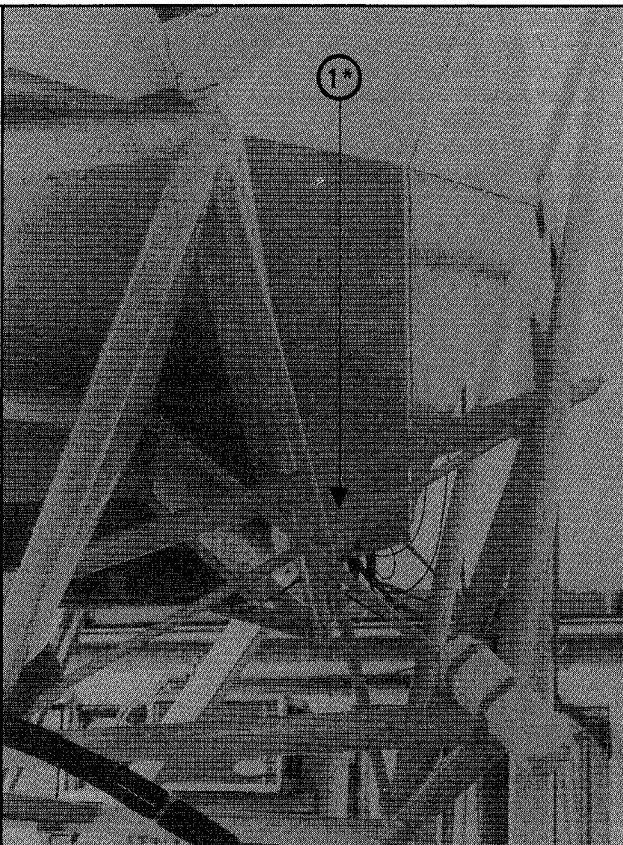
De spil/moercombinatie is tevens zeer stijf (Ck 3000 N/μm) en sterk - bij Ø 50 uitwendig is tot 100.000 N statische belasting toelaatbaar.

Door de toepassing van twee moeren per spil is de axiale speling volledig op te heffen.

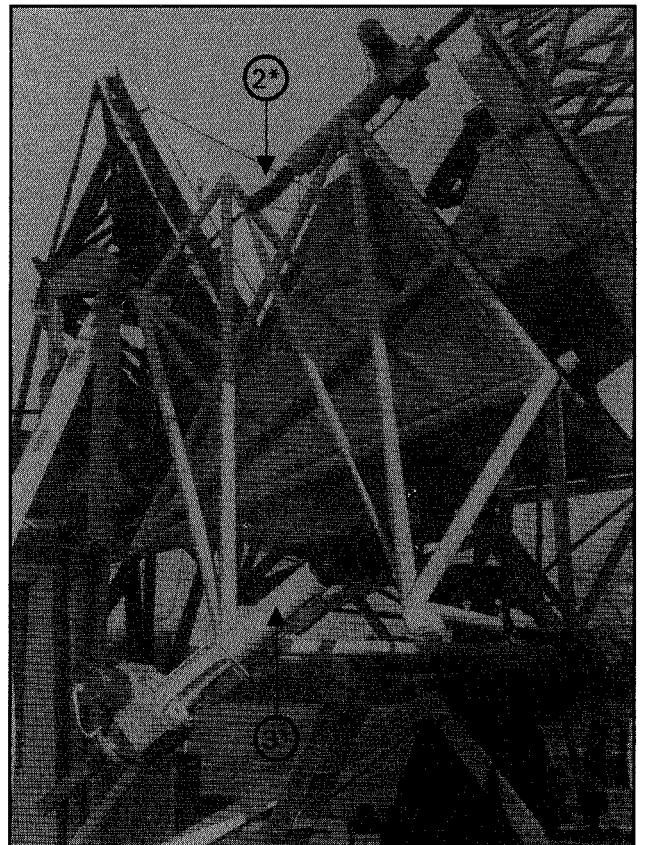
De methode van verstellen is aangegeven in *figuur 22*. Het model 1989 heeft een tweevoudige moer. Een uitvoeringsvorm waarbij de kniklengte niet verandert en tevens de stabiliteit van de inklemming van de knikstaaf groter is.



Figuur 18 Zie tekst



Figuur 20 Zie tekst



Figuur 21 Zie tekst

In samenspel met de vaste buigstaven bepalen de verstelstaven de positie van de scharnierassen

Waar het "scharnierpunt" per staaf ligt is onbelangrijk, als beide scharnierpunten maar gelijk zijn Model 1989 biedt dan duidelijk voordeel, mits de "vaste" kant van de verstelstaaf maar juist gekozen wordt

De uitvoeringsvorm met dubbele moer is tevens gekozen om het buigend moment in de staven beter te kunnen opvangen

De aandrijving met een worm/wormwielcombinatie is zelfremmend. Voor het vasthouden van een positie moeten de toegepaste stappenmotoren daarom niet worden bekrachtigd

De positie van de staven.

De staven kunnen niet rechtstreeks aan de antenne of de antennestructuur bevestigd worden. De montage van de antennestructuur is bovendien (te) klein

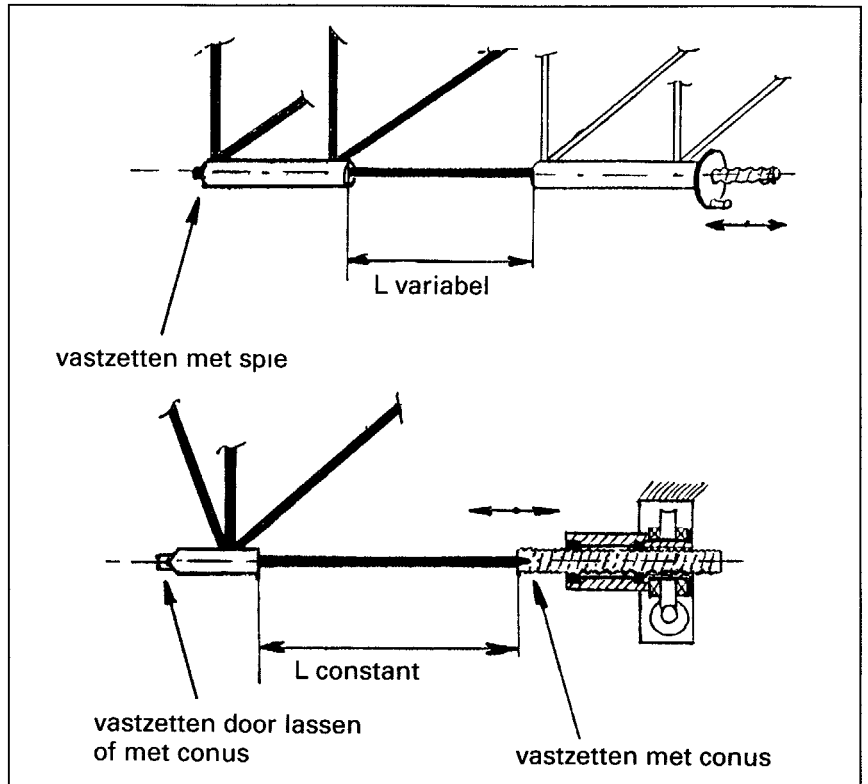
De antenne is daarom "kinematisch bepaald" aan een schotelfreem bevestigd met behulp van drie driehoeksplaten.

De reden daarvoor is dat de bevestigingskrachten geen vervorming van de antenne kunnen veroorzaken. De aluminium antenne en de antennestructuur kunnen dan hun eigen vorm en maat behouden - met variaties daarin door bijvoorbeeld temperateffecten - zonder dat het stalen schotelframe daaraan ook nog vormen maatvoorwaarden stelt. Was dit niet het geval dan zou dat vervorming van de antenne tot gevolg hebben. De nauwkeurigheid van het oppervlak zou dan negatief worden beïnvloed

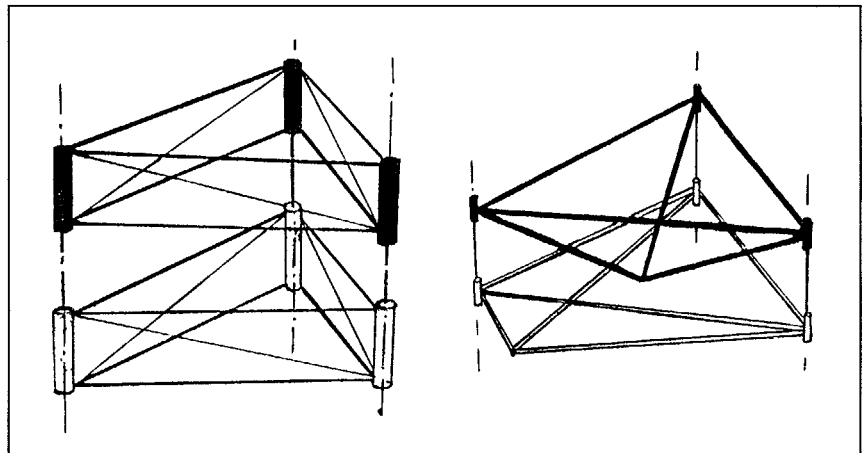
Het schotelfreem bevat de bevestigingspunten voor de elastische staven. De afstand tussen deze staven is groot om een hoge instelnaauwkeurigheid te bereiken. De grote afstand tussen de staven leidt ook tot een grote stabiliteit van het statief. In *figuur 19* is het "schotelfreem" te herkennen (het donkere freemgedeelte). Hieraan worden de uiteinden van staven bevestigd; tevens wordt de antenne aan dit freemgedeelte bevestigd.

Het vakwerk is een verdere ontwikkeling van het vakwerk van het model van 1984. Het verstellen van de staven veroorzaakt buigende momenten aan de uiteinden (inklemmingen) ervan, maar ook buigende momenten in de andere staven. Er zijn in grote lijnen twee mogelijkheden om deze momenten in de constructie te verwerken, zie *figuur 23*

De eerste methode (model 1984) is de methode van de dubbele freems (hekwerkjes).



Figuur 22 De methode van verstellen, boven die van model 1984 en onder die van 1989.



Figuur 23 Toegepaste vakwerkconstructies 1984 links en 1989 rechts

De tweede methode (model 1989) is de methode met de enkelvoudige tetraeders. Deze zijn uit dikke buigsterke en buigstijve pijp met grote diameter vervaardigd. De inklemmomenten van de staven die door deze pijpen moeten worden opgevangen veroorzaken kleine verbuigingen van deze pijpen. In eerste orde leidt dat niet tot afstandvariatie, dus hoekvariatie, tussen de twee statiefhelften

Ook is bij de uitwerking van de beide constructies nog steeds het principe te herkennen dat "drie punten" de twee delen van de mount verbinden - de mount is in feite afgebeeld in *figuur 19* en is dus de combinatie van de

reeds behandelde bovenfreems en het voetfreem. Dat de uitwerking met behulp van een vakwerk is gerealiseerd heeft een aantal technische, economische en subjectieve redenen. Plaat- of doosconstructies uit uiteenlopende constructiematerialen kunnen hier met evenveel recht worden toegepast. Wel kan gesteld worden dat de gekozen oplossingen relatief snel en goedkoop tot resultaat leiden. Tevens is de gebruikte vervaardigingsmethode "low tech" en kan overal ter wereld met behulp van enkele basisambachten gerealiseerd worden

De constructieve uitwerking van het model 1989 lijkt een verbetering ten

opzichte van het model 1984. Voor beide oplossingen (1984 en 1989) geldt echter dat zij hun specifieke voor- en nadelen hebben. De absolute maat van de mount bepaalt de uiteindelijke keuze tussen de twee mogelijkheden.

Het voetfreem van de mount is eigenlijk het "grof instelfreem". Dit freem, het onderste gedeelte in *figuur 19*, is wat grover en massiever vervaardigd dan de overige delen van de mount. Verstellen rond de polaire as (azimutverstelling) is hiermee mogelijk. Het verstellen wordt uitgevoerd door het monteren van een hulpstaaf, die voor iedere satellietpositie zijn eigen specifieke lengte heeft.

Samenvatting

Dit systeem wordt toegepast bij 30 GHz en heeft dus een bundelbreedte van $0,14^\circ$.

Voor communicatiedoeleinden is een richtnauwkeurigheid van $1/10 \times 0,14^\circ$ nodig.

Voor meetdoeleinden is $1/100 \times 0,14^\circ$ richtnauwkeurigheid nodig. Dit is voor het meten van de zogenaamde "kruispolarisatie van de antenne". Een instelnaauwkeurigheid van $0,001^\circ$ is gehaald.

Het instelbereik is zo groot dat het systeem gebruikt kan worden voor alle geostationaire satellieten die "zichtbaar" zijn vanuit Eindhoven. Dit is mogelijk doordat het systeem een grof- en een fijninstelling heeft.

De mechanische stabiliteit van het systeem lijkt goed. De eigen frequenties van het totale systeem en de delen daarvan liggen veraf van de te verwachten aanstootfrequenties van de besturing en de weersinvloeden.

Ontwikkelingen binnen de TUE sinds 1975

Samenwerking

- vakgroep Telecommunicatie, faculteit der Elektrotechniek
- vakgroep W.O.C. Sectie Constructies en Mechanismen, faculteit der Werktuigbouwkunde
- Centrale Technische Dienst

1977: Bouw antennestatief (J. Oostvogels)

1984: Ontwerp statief met buigstaaf, 3 m (H.M. Soemers)

1989: Uitontwikkeling en bouw, 5,5 m (D.M. van Dijk, P. Brinkgreve).

Alle ontwerpactiviteiten hebben onder het toezicht van Prof.ir. W. van der Hoek plaatsgevonden. Het zijn dan ook mede zijn ideeën die de basis hebben gelegd voor de verdere uitwerking van deze statieven.

Zichtbaar licht emitterende halfgeleider-laser

Philips komt met een nieuw programma halfgeleider-lasers die zichtbaar licht emitteren. Vooral voor toepassingen waarbij men de positie van de trefvlek van de laserbundel wil kunnen waarnemen, zoals bij het toepassen van streepjescodelezers, optische uitlijnsystemen en doelmarkersystemen, hebben dergelijke lasers grote voordelen op typen die uitsluitend infrarood licht uitzenden. De eerste laser uit dit programma, de

CQL80/D, is onlangs uitgekomen. Deze emitteert zichtbaar rood licht met een golflengte van 675 nm en met een continu uitgangsvermogen van 5 mW. De verwachte levensduur bij 3 mW continu (bij kamertemperatuur) bedraagt 250.000 uur.

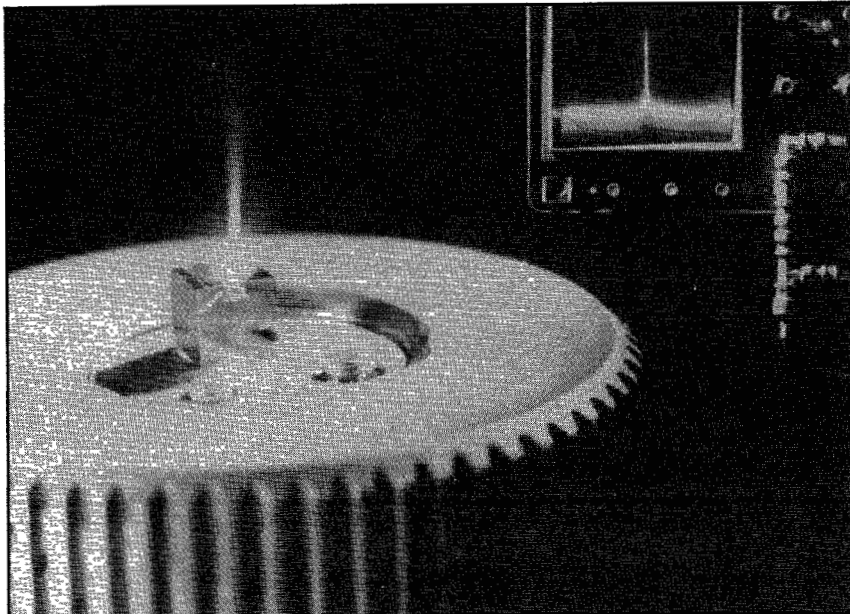
Voor de halfgeleider-laser CQL80/D is gebruik gemaakt van een richelstructuur. Het laser-materiaal bestaat uit InGaAlP, dat door epitaxie van organische metaalverbindingen via de dampfase (MOVPE, Metal Organic Vapour Phase Epitaxy) op een substraat van n-type GaAs is aangebracht. Bij een optisch uitgangsvermogen van 3 mW en een temperatuur

van 25°C bestaat het uitgezonden licht slechts uit één spectrale lijn, waarmee de laser zijn kenmerkende gedrag van lichtgeleiding op basis van de brekingsindex demonstreert.

De grootste diameter van de omhulling is 9 mm, de lengte $5,4 \pm 0,2$ mm. Optisch gekoppeld met de laser is een meetdiode voor de regeling van het lichtniveau. Het lage stroomverbruik en eenvoudige voeding maken de laser zeer geschikt voor draagbare handapparatuur en voor het vervangen van de conventionele helium-neon-laser in vele toepassingen. Het toegestane temperatuurgebied ligt tussen -10 en $+50^\circ\text{C}$.

Net zoals de infrarood-lasers van Philips kan ook de CQL80/D worden aangepast aan specifieke klantenwensen. Ook beschikbaar komt een collimatorpenuitvoering (typenummer CQL90/D) met ingebouwde optiek, deze versie is zeer geschikt voor fabrikanten die weinig ervaring hebben met opto-elektronische onderdelen.

Voor nadere informatie:
Philips Nederland B.V.,
Components, Eindhoven.
Telefoon 040-783749.



De nieuwe halfgeleider-laser CQL80/D zendt zichtbaar rood licht uit en heeft een groot uitgangsvermogen en lange levensduur.