

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

DE BILT

VERSLAGEN

V-213

Verslag van een serie lezingen over
meteorologische applicatie-satellieten.

U.N. Conference on the exploration
and peaceful uses of the outer space

14-27 augustus 1968,
Hofburg Paleis, Wenen.

door

H.M. de Jong

De Bilt, 1968

Publikationsnummer: K.N.M.I. V 213-VI.

Verslag van een serie lezingen over
meteorologische applicatie-satellieten

U.N. Conference on the Exploration
and Peaceful Uses of the Outer Space

14-27 augustus 1968,
Hofburg Paleis, Wenen

door

Dr. H.M. de Jong

1. Inleiding

In Wenen werd van 14 tot 27 augustus 1968 een VN-vergadering gehouden over de exploratie van de ruimte.

De conferentie onder voorzitterschap van de Minister van Buitenlandse Zaken van Oostenrijk, Dr. Kurt Waldheim, werd bijgewoond door + 550 gedelegeerden uit 75 landen en een aantal waarnemers van 12 internationale organisaties zoals UNESCO, ESRO, ELDO, ITU, WMO, ICAO, INTELSAT.

De vergadering werd geopend door de Bondspresident, waarbij ook de Bondskanselier en kabinetsleden aanwezig waren.

De USA en USSR stuurden de grootste afvaardigingen, alternerende groepen van resp. 63 en 38 gedelegeerden. De opkomst van ontwikkelingslanden viel tegen. Enkele staten lieten zich door de ambassadeur in Wenen vertegenwoordigen.

De Nederlandse delegatie stond onder leiding van Prof.Dr. H.C. van de Hulst. Mr. G. van Vloten, ambassaderaad in Wenen, fungeerde als plv. voorzitter. Als adviseurs waren toegevoegd Ir. H. Hermsen (PTT), Dr. J.H. Spaa (Philips) en rapporteur dezes (KNMI). W.J.J.D. Baron thoe Schwartzenberg en Hohenlansberg was aangewezen als secretaris van de delegatie.

De conferentie was zuiver van informatieve aard en beoogde voor het forum van de wereld een overzicht te geven van de stand der techniek en de mogelijke toepassingen van een internationaal ruimte-programma.

De lezingenseries stonden onder voorzitterschap van Dr. Vikram Sarabhai, hoofd van de Atomic Energy Commission van India.

Het programma was verdeeld in een aantal thema's, 9 in totaal, zodat vrijwel alle aspecten werden belicht. Achtereenvolgens kwamen in behandeling: communicatie, meteorologie, navigatie, andere ruimtetechnieken b.v. voor geodesie, geologie, oceanografie, hydrologie, enz. Voorts medicijnen, toepassingen van ruimte-technologie buiten het ruimteprogramma om (spin-off), onderwijs en training, internationale samenwerking en tenslotte economische, legale en sociale problemen.

De vergadering vond plaats in het Hofburg Paleis, het voormalige keizerlijke paleis. De Oostenrijkse regering streeft ernaar van Wenen een congresstad te maken. Zij stelde daarom alles in het werk om de conferentie te doen slagen.

Er was een aantal tentoonstellingen ingericht. Vooral de Russische was groots van opzet, waarbij een aantal wetenschappelijke satellieten werd getoond: Molnya, Electron, Mars, Venus enz. De Amerikaanse stand was van bescheiden aard. De meeste plaats was ingeruimd voor een APT-ontvanger.

In de openingszitting werden boodschappen voorgelezen van paus Paulus VI, Mevr. Ghandi en premier Kosygin. In de boodschap van Kosygin werd het plan van een internationaal communicatiesysteem "intersputnik" naar voren gebracht. Later volgde de verspreiding van een ontwerpverdrag. Van Amerikaanse zijde volgde hierop onmiddellijk een reactie. Er is geen behoefte aan zulk een systeem, omdat geïnteresseerde landen, die lid zijn van ITU, zich kunnen aansluiten bij het INTELSAT-consortium. Door de gebeurtenissen in Tsjechoslowakije raakte de behandeling van het Russische voorstel op de achtergrond.

Dr. Sarabhai onderstreepte in een toespraak het sociale belang van de verspreiding van technologische en wetenschappelijke vorderingen voor de mensheid. Een karakteristieke eigenschap van zulk een verspreiding meende hij te kunnen toelichten met de macht van een getal, b.v. 3^{18} , wat ongeveer gelijk is aan 390.000.000. Dynamisch gezien illustreert dit getal het volgende: stel, dat iemand iets meedeelt aan 3 andere personen. Stel, dat deze de mededeling doorgeven elk weer aan 3 personen, dan zou het 18 stappen vergen om een bevolking als die van India kennis te doen nemen van het bericht. Zou iedere stap 1 uur duren, dan zou 90% van de bevolking het bericht pas gedurende de laatste 2 uren, het 17e en 18e, vernemen. In 80% van de tijd wordt slechts 10% van de bevolking van het bericht in kennis gesteld. Dit kan men generaliseren. In wezen vertoont de ontwikkeling en verspreiding van cultuur, techniek en wetenschap dit beeld door de eeuwen heen. Zou men het principe ook toepassen op conferenties, dan zouden deze aanzienlijk bekort kunnen worden.....

In dit rapport wordt een verslag gegeven van de "thematische zitting" over meteorologie. Met opzet is de vorm van een overzichtsstudie gekozen, omdat vele voordrachten - zij het vanuit een verschillend perspectief - dezelfde materie behandelden, terwijl er ook lezingen waren, die nauwelijks enige aandacht verdienden.

2. ITOS-serie

In februari 1966 startte 's werelds eerste operationele weersatelliet-systeem met de lancering van de eerste TOS-satelliet of ESSA 1. Voordien waren 9 succesvolle experimenten uitgevoerd met TIROS-satellieten en één NIMBUS-satelliet. Hiermee werden de ruimte-technologie en meteorologische analyse-technieken beproefd.

In de operationele serie ESSA-satellieten is deze zomer de zevende met succes in een baan rond de aarde gebracht. Er worden in deze serie twee typen gebruikt. Het eerste type verzamelt de waarnemingen en buffert de informatie gedurende een baanomloop. Een CDA (Command and Data Acquisition) grondstation tapt deze informatie af, zodra de satelliet het grondstation passeert. De informatie wordt per kabel gerelayeerd naar het WWW-centrum Washington voor verdere bewerking. Bij het tweede type worden opnamen van de bewolking gemaakt maar de gegevens worden in de baan zelf uitgezonden voor ontvangst door een grondstation, dat uitgerust is met een relatief goedkope ontvangstapparatuur (APT-systeem). Er zijn nu 400 APT-stations in 50 landen. De waarnemingen zijn, zoals bekend, vooral van waarde voor de gebieden waar men over weinig conventionele waarnemingen beschikt.

Sedert 1966 is geen enkele tropische storm aan de aandacht ontsnapt. Van de 56 tropische stormen in 1966 werd bevestigd, dat er 19 ontdekt zijn aan de hand van satellietopnamen. Op basis van de ESSA-opnamen worden thans in Washington dagelijks analyses vervaardigd van het gehele zuidelijke halfrond.

In één van de ontwikkelingslanden werden de wolkenfoto's geraadpleegd om vliegtuigen te dirigeren naar wolkenloze gebieden voor karteringsvluchten. Het project werd een jaar eerder voltooid dan was gepland.

Inmiddels zal de TOS-of ESSA-serie plaats maken voor een nieuwe verbeterde serie ITOS-satellieten (Improved TOS). De ITOS-satelliet zal de bestaande twee typen TOS vervangen. De satelliet is tweemaal zo groot en verbruikt tweemaal zo veel elektrische energie als de TOS-satelliet. De eerste in deze serie, TIROS M, wordt in 1969 gelanceerd en zal dienst doen voor check-out.

De ITOS wordt uitgerust met zowel de televisie-camera's voor APT-ontvangst als de "HRIR scanning radiometer". Deze stralingsmeter heeft een groter oplossend vermogen dan de vroegere. Er worden opnamen gemaakt in de spectraalgebieden:

- | | |
|------------------|--|
| 0.5- 0.7 micron | oplossend vermogen maximaal 3.7 km in het sub-satellietpunt en minimum resolutie van 9 km. |
| 10.5-12.5 micron | waterdamp-venster met een maximum resolutie van 7 km en minimum resolutie van 18 km. |

De signalen van beide kanalen worden naar één van de CDA-grondstations gezonden en gerelayeerd naar het WWW-centrum.

In de nachtzijde van de baanomloop worden de signalen van het infrarood kanaal ook verzonden voor ontvangst door APT-stations. In de dagzijde van de baanomloop kan een APT-ontvanger de signalen opnemen van de televisie-camera's, zoals nu ook gebeurt, maar kunnen ook de beelden van de stralingsmeterkanalen worden ontvangen. Men beschikt dan over twee wolkenmozaïeken per dag.

In de ITOS is ook plaats ingeruimd voor een verbeterde warmtebalanssensor. Deze dient voor calibratie van de bestaande remote sensing waarden. Verder zal de satelliet worden uitgerust met een aantal detectors om protonen en electronen afkomstig van zonnevlammen te signaleren, dit in verband met het tijdig waarschuwen ten behoeve van het supersone luchtverkeer en de bemande ruimtevaart, voor grote doses straling.

De infrarood stralingsmeters zullen gegevens verschaffen over de hoogte van wolke toppen, die nauwkeuriger zijn dan de tegenwoordige.

De ITOS roteert nog wel om een as loodrecht op het baanvlak, zoals de TOS, maar de rotatie bestaat slechts uit één omwenteling per omloop. Dit houdt verband met een nieuw stabilisatiesysteem. Omdat zowel HRIR- als TV-opnamen gemaakt worden, is het gewenst dat de satelliet steeds een zijde naar de aarde toekeert. Het stabilisatiesysteem maakt nu behalve van de normale magnetische positiecontrole gebruik van een vliegwiel, dat is gemonteerd op de draaias van het voertuig. De rotatiesnelheid van dit vliegwiel wordt geregeld door een momentoverdracht tussen vliegwiel en ruimtevoertuig via een servo-mechanisme. De overdracht van moment is zodanig, dat de satelliet juist één omwenteling maakt gedurende één baanomloop. Voorts wordt evenals nu in de TOS gebeurt, de draaias loodrecht op de baan gestabiliseerd door het regelen van een stroom door een speciale winding. De torsiekracht geproduceerd door de wisselwerking van het magnetisch veld van de elektrische kringstroom en het aardveld bewerkstelligt de gewenste stabilisatie van de draaias.

Men hoopt met deze verbeterde stabilisatie te bereiken dat de geografische locatiefouten van de individuele beelden aanzienlijk worden verkleind. Er worden ook technieken ontwikkeld om de drift van het baanvlak naar de terminator zoveel mogelijk op te heffen.

In wolkenloze gebieden detecteert de infrarood stralingsmeter de door het aardoppervlak uitgezonden straling. Speciaal boven de oceaan bij een golflengte van 11 micron is de emissie-coëfficiënt praktisch gelijk één. Daardoor is het mogelijk kaarten van de zeewatertemperatuur te vervaardigen. Dit zal men in de toekomst op routinebasis uitvoeren. Andere toepassingen betreffen het in kaart brengen van sneeuw- en ijscondities.

In de toekomst worden de ITOS-satellieten met scanning radiometers uitgerust, die een nog groter oplossend vermogen bezitten. Zeer belangrijk is de ontwikkeling van instrumenten waarmee de verticale temperatuurverdeling door remote sensing kan worden verkregen.

3. NIMBUS-serie

In de meteorologie wordt men geconfronteerd met twee hoofdproblemen. Het eerste heeft betrekking op de integratie van de thermo-hydrodynamische vergelijkingen voor (numerieke) verwachtingen op korte en op lange termijn. Hierbij is de kennis van een gedetailleerde wereldomvattende uitgangstoestand van de atmosferische parameters een gebiedende eis.

De dynamische principes, die de atmosferische processen beheersen, zijn bekend, t.w. conservering van massa, energie, moment en het hydrostatisch evenwicht. De atmosferische processen worden uitgedrukt in numerieke mathematische modellen. Als zulke modellen succesvolle verwachtingen over perioden van één tot twee weken moeten leveren, dan moeten de beginwaarden van de parameters bekend zijn elke twaalf uur en in een netwerk van ± 500 km roosterafstand over de gehele aarde. Essentieel is daarbij de waarneming van wind en dichtheid. De dichtheid vereist metingen van de luchtdruk of dichtheid aan het aardoppervlak en de temperatuurverdeling als functie van de hoogte.

Op de tweede plaats zijn er waarnemingen nodig, die tot de beschrijving en verklaring leiden van verschijnselen waarvan bekend is, dat deze een belangrijke invloed op het weer hebben. Een verscheidenheid van processen valt onder deze categorie, b.v. de transformatie van een tropische storing van geringe intensiteit in een tropische cycloon binnen enkele uren, de rol die kleine storingen spelen in de wisselwerking met grote circulatiesystemen, de invloed van het vrijkomen van latente warmte door condensatie van waterdamp op de circulatiepatronen, de verdeling van energiebronnen als gevolg van absorptie van kortgolvlige zonnestraling en emissie van langgolvlige terrestrische straling en het effect op de atmosferische circulatie, de wisselwerking tussen atmosferische lagen op verschillende hoogten, b.v. tussen de stratosfeer, waar ozon veel straling absorbeert en de lagere troposfeer.

Deze processen eisen de nauwkeurige meting van verschillen tussen lucht en watertemperatuur, de meting van verticale en horizontale verdeling van waterdamp en temperatuur in de troposfeer en stratosfeer, de meting van ozon, het in kaart brengen van absorptie van zonne-energie in ultraviolet in de hogere luchtlagen en het gehalte van water in wolken.

Na deze opsomming behoeft het geen betoog, dat men naarstig zoekt naar nieuwe waarnemingsmethoden vanuit satellieten.

Aangezien de te meten grootheden niet ter plaatse gemeten kunnen worden maar op afstand, zullen deze methoden alle berusten op metingen van straling in verschillende spectraalgebieden, speciaal in atmosferische vensters, sommige absorptiebanden en zelfs spectraallijnen.

De remote sensing technieken, die hiervoor ontwikkeld worden, worden in de NIMBUS-serie experimenteel getoetst. De NIMBUS-satelliet is een R en D (research and development) satelliet, die om de 18 maanden à 2 jaar in een baan rond de aarde wordt gebracht. Slagen de proefnemingen, dan vinden de technieken hun weg in de operationele TOS-serie. Deze satellieten zijn ontwikkeld op basis van een "modular concept", waardoor het mogelijk is om nieuwe en verbeterde sensors in het ruimtevoertuig te plaatsen, zonder dat het nodig is het gehele ontwerp te herzien. Het is mogelijk dat buitenlandse instituten en laboratoria plaats reserveren voor experimenten.

Het is bekend, dat enkele infrarood technieken, die voor het eerst in NIMBUS 1 en NIMBUS 2 werden beproefd, nu operationeel geworden zijn.

Zo wordt in het waterdampvenster bij 4 en 11 micron de infrarood straling gemeten, die geëmitteerd wordt door het aardoppervlak en door wolken. Hiermee kan analytisch de temperatuur van land, zee en wolke toppen worden bepaald. De HRIR scanning radiometer functioneert in één van deze vensters. Het oplossend vermogen is thans nog 10 tot 50 km, maar in de ITOS-serie wordt deze een factor 3 beter.

Verder wordt gemeten in de 6.3 en 15 micron-band. Bij deze golflengten brengt men de gemiddelde vochtigheid en temperatuur in kaart van relatief dikke lagen in de atmosfeer.

Voor een beschrijving van de uitgangstoestand zijn deze metingen echter ontoereikend. Meting van het verticale temperatuurprofiel is veel belangrijker. De remote sensing van de temperatuur in de vertikaal vereist stralingsmeters met een veel hogere spectrale resolutie dan tot nu toe mogelijk is. Een gehele scala van spectrometers, fotometers en stralingsmeters in het ultraviolette, zichtbare, infrarode en microgolfgebied is in ontwikkeling.

Eén van de meetmethoden berust op het principe van de z.g. inverse stralingstechniek. De waarneming van de spectrale emissie van straling door een atmosferisch gas zoals CO₂ is gebaseerd op het concept, dat de in de satelliet ontvangen straling op verschillende golflengten correspondeert met verschillende hoogten, afhankelijk van de doorlaatbaarheid van het gas bij een gegeven golflengte. Zo is de doorlaatbaarheid bij de rand van de CO₂-absorptieband geassocieerd met de temperatuur aan het aardoppervlak. Het centrum van de CO₂-band, waar het gas het minst doorlatend is, correspondeert met een hoogte van enkele kilometers boven de tropopause. Ter weerszijden van het centrum is in de absorptieband de temperaturomkering te zien bij de tropopause. Als men nu de emissie in de absorptieband bij een aantal spectraallijnen meet, kan men hieruit de temperatuurverdeling met de hoogte met een redelijke graad van nauwkeurigheid afleiden. Zo wordt in Engeland, aan de universiteiten van Reading en Oxford, een selective chopper radiometer ontworpen, die opereert in 6 spectraallijnen van de 15 micron CO₂-band. Een prototype wordt in NIMBUS D getest. Deze wordt gelanceerd in 1970. Men claimt een nauwkeurigheid van temperatuurmeting in deze spectraallijnen van 0.3 tot 1.2 °K.

In het microgolfspectrum zullen stralingsmeters beelden produceren van geëmitteerde straling van land, wateroppervlakte en regenwolken. Bij golflengten boven 1.6 cm emitteren regenwolken in sterke mate, zodat hierbij het watergehalte van regenwolken kan worden bepaald, zelfs boven oceanen. Er is een stralingsmeter in ontwikkeling, die opereert op een golflengte van 1.6 cm met een oplossend vermogen van \pm 50 km in een 1000 km-baan.

Bij een golflengte van 1.35 cm, waar absorptie en emissie in waterdamp plaats heeft, kunnen betrouwbaarder vochtigheidspatronen in de troposfeer worden verkregen dan tot nu toe in de 6.3 micronband.

Zoals het zich laat aanzien, zullen de metingen van de temperatuurprofielen beperkt blijven tot discrete waarnemingspunten. Elke meting zal betrekking hebben op een gebied van 200x200 km.

Andere, meer exotische sensors zijn voorgesteld om de dichtheid en de windsnelheid boven zee te meten. De dichtheid kan indirect worden bepaald door meting van de brekingsindex van elektromagnetische straling, die wordt uitgezonden door zenders in "slave" satellieten. Een Doppler-microgolfontvanger aan boord van de "master" satelliet meet de reductie van de voortplantingssnelheid en de afbuighoek. Beide zijn voldoende voor een indirecte bepaling van de brekingsindex en de dichtheid. De methode staat bekend als "occultatie"-methode. (Lusignan).

Een methode om de wind boven zee te schatten berust op de waarneming, dat de werkzame doorsnede van strooiing van gebundelde radiosignalen varieert in afhankelijkheid van de toestand van de zee. De wind zou dan kunnen worden afgeleid uit hoogte en richting van golven, die men uit de geometrie en intensiteit van de teruggekaatste radiosignalen haalt. (Pierson en Moore).

NIMBUS B, waarvan de lancering mislukt is (zomer 1968), was o.a. uitgerust met twee spectrometers om het verticale temperatuurprofiel te meten. Verder zou een proef met het IRLS (Interrogation Recording and Location System) worden ondernomen. Deze proef is belangrijk om na te gaan of men een elektronisch platform kan identificeren, daarvan de positie kan bepalen en de op het platform genomen waarnemingen kan relayeren naar een grondstation.

In latere versies van NIMBUS wordt de remote sensing uitgebreid in verschillende vensters en absorptiebanden van het spectrum en het microgolfgebied. Ook zullen IRLS-pakketten worden meegevoerd, waarmee het mogelijk is meerdere platforms tegelijk te ondervragen.

Een van de moeilijkst globaal te meten variabelen betreft de wind. Remote sensing door middel van stralingsmeters komt niet aan de orde. De wind zal lokaal gemeten moeten worden (zie EOLE-experiment). Satellieten kunnen hier hun diensten bewijzen als communicatieposten.

Een mogelijke oplossing is, dat men uit filmbeelden van de bewolking de wind extraheert (zie ATS-serie).

In de tropen heeft men de analyses van de hoogtestroming kunnen verbeteren door de uitspreiding van aambeelden van Cb-bewolking te interpreteren.

4. ATS-serie

De ATS-satelliet is ontworpen om in de ruimte technieken te onderzoeken, die later in meteorologische navigatie- en communicatiesatellieten kunnen worden toegepast. Er worden ook wetenschappelijke metingen gedaan, b.v. van de straling uit de ruimte.

De ATS-satelliet is een ruimtelaboratorium, waarmee enkele tientallen experimenten tegelijk worden uitgevoerd. Er zijn nu 4 geo-stationaire ATS-satellieten gelanceerd. ATS II is echter in een verkeerde, sterk excentrische baan rond de aarde gekomen. De lancering van de kostbare ATS IV (zomer 1968) is mislukt.

ATS I en ATS III zijn bijzonder succesvol. ATS I staat boven de Pacific, ATS III boven de monding van de Amazonerivier. ATS III is o.a. uitgerust met een scanning kleurentelevisiecamera. (Vernuftig ontwerp van Verner Suomi).

De opnamen geschieden in rood, groen en blauw. De camera scant de aarde van oost naar west in een 2.2 mijl brede baan. Lichtgolven passeren drie openingen, zodat een en dezelfde scène driemaal wordt vastgelegd. Elk van de drie lichtbundels passeert een bundel fiber lichtpijpen en valt daarna op een multiplicatorbuis. De eerste is voorzien van een rood filter, de tweede van een groen filter, de derde van een blauw filter. De multiplicatorbuizen converteren de lichtsignalen in elektrische impulsen.

Deze worden op een draaggolf uitgezonden met behulp van de bekende "time division multiplexing" techniek. De informatie wordt in groepen van 4 signalen verdeeld. De drie eerste signalen bepalen de intensiteit van groen, rood en blauw licht, het laatste signaal dient voor het uitbalanceren van de componenten, als ze bijeengevoegd worden tot een kleur-negatief. Daarna wordt een fotografische afdruk gemaakt. Eigenlijk is het geen TV-camera maar een telescopische fotometer. De telescoop bevat een kleine opening (in feite drie, voor elke kleur één), zodat alleen een gebiedje van 2.2 mijl doorsnede op het aardoppervlak wordt gezien. De rotatie van de satelliet zorgt automatisch voor het scannen in de oost-west richting. Bij een volgende omwenteling kantelt de telescoop om een kleine hoek. Na 2500 kantelingen bij een rotatiesnelheid van 100 per minuut wordt de hele aarde afgetast. Een opname duurt 25 minuten. De signalen worden in een grondstation bijeengevoegd als een gewoon televisiebeeld, alleen het gaat 5000 maal zo langzaam. Maar het oplossend vermogen is veel groter dan bij een normaal televisiebeeld. Dit is de reden waarom een ATS-satellietopname ongeveer dezelfde resolutie bezit als een ESSA-opname.

Zet men de afzonderlijke beeldjes op een filmrol en draait men deze af met een vertraging van 1000 tot 1, dan ziet men het weersverloop over een tijdsbestek van 18 uur gecomprimeerd in 3 à 4 seconden. Door de film bij herhaling af te draaien is het mogelijk de scène te fixeren aan de processen te bestuderen.

Een en ander resulteert in de vertoning van een spectaculaire kleurenfilm, gemaakt van de aarde uit de ruimte.

Een zwart-wit film van ATS I werd al eens vertoond op het Instituut. Deze is echter niet te vergelijken met wat nu vertoond werd. Duidelijk ziet men de configuratie van straalstromen. De hoge snelheid wordt gesuggereerd door wolkenflarden, die als tracers fungeren. Men heeft ontdekt, dat de sub-tropische straalstromen energie opnemen uit de tropen tot 10° NB toe. Dit manifesteert zich op de film door het "aanzuigen" van bewolking uit deze gebieden. Een lichtgele glans beweegt door het beeld. Dit is de "sun-glint". De bewolking bij de terminator vertoont de kleuren van zonsopgang of zonsondergang, hoe lager de wolken hoe roder de aanschijn, precies als op de aarde. Er werden ook close-ups getoond, b.v. van de roterende bewolking in een cut-off low bij de Portugese kust. Spectaculair is ook het occlusieproces van een uitdiepende oceaandepressie, het oplossen van cirrus, stratus en mist, de ontwikkeling van convectieve bewolking boven de Andes, het terugwijken van een wolkenbank van de kustlijn. De close-ups zijn van een uitstekende kwaliteit.

Suomi deelde mee, dat men plannen heeft de ATS ook infrarood nachtfoto's te laten maken, zodat men dan beschikt over een continue film.

Men is er nog niet in geslaagd de processing zodanig te ontwikkelen, dat men real time over dit filmmateriaal kan beschikken. De filmbeelden worden o.a. gebruikt om uit de verplaatsing van wolkenelementen de hoogte-wind te extraheren. Dit geschiedt nog met de hand, maar men tracht dit proces te automatiseren.

De ATS wordt ook gebruikt als een relayeringspunt bij de communicatie tussen een grondstation en elektronische platforms, vliegtuigen en schepen.

Verder worden proeven genomen met gerichte VHF-antennes aan boord van de satelliet, waardoor gerichte communicatie mogelijk is. Ook worden multiple access systemen, data collection en -distribution en range rate technieken voor navigatiedoeleinden gecheckt. Het WEFAX-experiment is er een voorbeeld van (zie APT). In een toekomstige ATS zal ook een zeer gevoelige "image orthicon camera" geplaatst kunnen worden, waarmee wolkenfoto's vervaardigd kunnen worden bij een zwakke verlichting, b.v. bij maanlicht of zelfs bij het licht van de sterren.

5. APT-ontvangst

Op de conferentie waren drie APT-ontvangers in bedrijf: één uit Amerika, één uit Oostenrijk en één uit Finland (Vaïjala, \$ 20.000). De kwaliteit van de opnamen ontliep elkaar niet veel. De NASA distribueerde een rapport: "Constructing inexpensive automatic picture transmission ground stations".

In enkele ontwikkelingslanden zijn APT-ontvangers gebouwd uit dump materiaal (Ceylon). Er werden ook APT-beelden van het WEFAX-experiment getoond.

Bij het WEFAX-experiment worden door een CDA-grondstation ATS-opnamen, mozaïeken van ESSA- en NIMBUS-foto's, weerkaarten enz. geconverteerd in een APT-mode en daarna via een ATS-satelliet gedistribueerd. Een APT-station, waarvan de antenne op de ATS-satelliet is gericht, ontvangt deze beelden. In Canada werden uitstekende opnamen van ATS I ontvangen, zelfs daar waar de ATS slechts 3° boven de horizon stond op een afstand van 25000 mijl.

Zoals bekend, heeft men de keuze uit voornamelijk drie typen output: paperfax, fotofax en polaroid fotografie. Een vierde komt in de handel, die gebaseerd is op een fotografisch procédé, dat gebruik maakt van "fibre optics". Met dit systeem kan de lijnfrequentie gemakkelijker worden geregeld.

De interpretaties van APT-opnamen zijn, zoals bekend, in een groot aantal technische rapporten en publikaties beschreven. Er zijn dan ook weinig nieuwe resultaten meegedeeld. Een uitzondering geldt misschien voor de tropische gebieden, de gebieden dus, waar vroeger juist veel leemtes waren in het waarnemingsnet. Het is dan ook niet te verwonderen, dat de APT-ontvangst in landen als India, Pakistan, Argentinië en Australië in de belangstelling staat, niet alleen om een beter inzicht te krijgen in de tropische circulatie, maar vooral om de inval van de moesson en de baan van tropische cyclonen te volgen.

Zo wordt de Golf van Bengalen jaarlijks gemiddeld door twee cyclonen geteisterd. Oost-Pakistan wordt ook herhaaldelijk door deze stormen getroffen. Berucht is de Bahergany cycloon, die in 1876 een tol eiste van 100.000 mensenlevens.

De APT-opnamen hebben aangetoond, dat de klassieke theorie over de tropische circulatie zal moeten worden herzien. Vroegere opvattingen gingen ervan uit, dat de lucht uit het noordelijk halfrond in de winter doordrong naar het zuidelijk halfrond en omgekeerd. Er werd een zone gevormd, waar de luchtstromingen van beide halfronden convergeerden. De convergentiezone werd beschouwd als de zone van maximale hoeveelheid bewolking en neerslag. De meeste regenval in de tropen in de zomer zou samenhangen met een intensivering en beweging van deze convergentiezone. Verder werd verondersteld, dat de lucht bij het passeren van de equator een hoog vochtgehalte bezit.

Deze opvatting wordt niet bevestigd door satellietopnamen. De equatoriale zone is bijna altijd wolkenloos. Blijkbaar heerst daar aanzienlijke subsidentie. Suomi meent dit te moeten bevestigen. In satellietfoto's worden gebieden met subsidentie gekenmerkt door de extra donkerte van het zeeoppervlak. Op grond hiervan zouden de donkere gebieden bij de equator inderdaad op subsidentie wijzen. In het algemeen zijn er twee zones met bewolking ongeveer evenwijdig aan de equator, één op het noordelijk en één op het zuidelijk halfrond. Blijkbaar zijn er twee convergentiezones, aan beide zijden van de equator één. In het "zomerhalfrond" is de afstand van de zone tot de equator groter dan in het "winterhalfrond". De APT-foto's suggereren, dat de invloed van het ene halfrond op het andere, wat betreft bewolking en neerslag, bijzonder gering is in tegenstelling met wat tot nu toe werd beweerd.

Er werd een film gedraaid, die in snelle opeenvolging de dagelijkse ESSA-mozaiekfoto's in Mercator projectie toonde boven het equatoriale gebied van de zuidelijke Atlantische Oceaan. De \pm 180 foto-mozaieken voor een periode van een half jaar werden in de film in 6 minuten gecomprimeerd. Opmerkelijk was het quasi-stationaire karakter van de convergentiezones. Beide zones waren niet altijd te zien. De tropische cyclonen, die in de nazomer en herfst naar het Caraïbische gebied en de oceaan koersen langs de Azoren, bleken op de film alle hun oorsprong te vinden in de noordelijke convergentiezone. De moeilijkheid is evenwel, dat niet elke verstoring in de convergentiezone resulteert in de ontwikkeling van een cycloon.

Het invallen van de moesson kan ook niet zonder meer aan de hand van APT-opnamen worden aangekondigd. In 1967, in India, gaven de APT-opnamen de dagen vóór het invallen van de moesson geen enkele aanwijzing, dat de moesson op komst was.

De lezingen over de interpretatie van de infraroodopnamen brachten weinig nieuws. Zowel de Amerikanen als de Russen toonden statistisch bewerkte kaarten van de langgolvlige en de kortgolvlige stralingsbalans.

De infraroodopnamen worden inmiddels gebruikt door oceanografen, geologen en hydrologen, omdat deze opnamen informatie geven over terrestrische structuren van allerlei aard.

6. Activiteiten in de USSR

Over de activiteiten van de USSR op het gebied van het meteorologische ruimteprogramma is weinig mee te delen dat vermeldenswaard is. De reden is op de eerste plaats, dat Rusland later gestart is met de lancering van meteorologische applicatie-kunstmanen. Op de tweede plaats lijkt het programma veel op dat van de USA. Bovendien liet de mededeelzaamheid in de documenten en voordrachten zeer te wensen over.

Experimentele satellieten worden gelanceerd in de KOSMOS-serie. KOSMOS 14, 23 en 122 waren voorlopers van de operationele METEOR-serie. In omloop zijn thans KOSMOS 144, 156, 184 en 206.

De METEOR-kunstmanen zijn niet uitgerust met een APT-systeem. Rusland heeft ook geen geo-stationaire satellieten met foto-apparatuur. Wel worden opnamen gemaakt aan boord van de 6 MOLNYA communicatiesatellieten, die een excentrische baan beschrijven met een omlooptijd van 12 uur, waarvan 8 uur boven het Russische territorium.

De METEOR-satellieten hebben behalve een TV-camera in het optische gebied, ook een infrarood TV-camera aan boord. Hier kan men van een voor-sprong op de Amerikanen spreken. Verder voert de METEOR infrarood sensors mee in verschillende spectraalgebieden. Gemeten wordt o.a. in de 0.3-3 micronband (Albedo) en de 3-13 micronband (langgolvlige stralingsbalans).

De stabilisatie is electromechanisch. Zonnecellen zorgen voor de energievoorziening; het instrumentenhuis wordt op constante temperatuur gehouden. De camera's en sensors worden op commando van de grond ingeschakeld. De kwaliteit van de beelden is minstens zo goed als van ESSA- en ATS-opnamen. De uit de foto's bewerkte NEPHANALYSES worden via de normale internationale verbindingen gedistribueerd. Men ontwikkelt computertech-nieken om de beeldinformatie te digitaliseren.

In Amerika is dit reeds gerealiseerd. Het digitaliseren van beeld-informatie biedt grote perspectieven. Men kan b.v. de contrasten verbeteren, men kan het beeld transformeren voor elke gewenste kaartprojectie, men kan het beeld mengen met een geografisch netwerk, men kan met het gekwantificeerde materiaal statistische onderzoeken doen, enz.

Bij de numerieke verwachtingen maakt men van de METEOR-foto's gebruik door de wolkenformaties boven gebieden met weinig aerologische waarnemingen te vertalen in vorticiiteitspatronen. Daartoe heeft men eerst uit een groot aantal opnamen de correlatie onderzocht tussen bewolking en vorticiiteit in een gebied met veel aerologische stations. In een actuele opname past men de gevonden regressies toe om boven oceanen de vorticiiteit te bepalen uit de wolkenstructuur. Deze vorticiiteitsgegevens worden vervolgens als aanvulling op de normale beginwaarden geïnjecteerd in een numeriek model van een 500 mbar prognose. Het percentage van geslaagde verwachtingen zou daardoor met 12% zijn gestegen.

7. EOLE-experiment

In een bilaterale overeenkomst tussen Frankrijk en Amerika wordt gewerkt aan het EOLE-project. In Frankrijk berust de organisatie bij het CNES (Centre National d'Etudes Spaciales). Het EOLE-programma beoogt de windstructuur te bepalen in de hogere luchtlagen boven het zuidelijk halfrond door middel van peilingen van ballons, drijvende in een constant dichtheidsvlak tussen 200 en 300 mbar. Identificatie, locatie en data transmissie geschiedt met een speciaal te ontwerpen communicatie- en navigatiesatelliet.

In 1970 zal een vloot van 500 ballons met regelmatige tussenpozen worden opgelaten in de atmosfeer van het zuidelijk halfrond. De ballons dienen als platforms voor meting van temperatuur, luchtdruk en wind. Frankrijk ontwikkelt de satelliet en ballonapparatuur. Amerika levert de SCOUT-raket waarmee de satelliet omhoog gebracht wordt. De hoogte van de satelliet zal 1000 km bedragen en de inclinatie 50° . Een radiozender in de ballonapparatuur zendt een vaste indicatiecode uit. Bij de ondervraging, die 5 minuten in totaal duurt, wordt eerst de locatie vastgesteld. Alleen die ballons waarvan de positie bekend is, worden verder ondervraagd. De satelliet verzamelt daarna de parameters zoals temperatuur en luchtdruk. Dagelijks zullen 4 ballons omhoog gaan uit 4 stations in Argentinië. Het grondstation berekent de onderlinge posities van de ballons. De lancering geschiedt zodanig, dat een zo gunstig mogelijke spreiding gehandhaafd blijft. De ballons hebben een levensduur van 3 tot 6 maanden. Ze kunnen op commando van de grond worden vernietigd voor het geval dat ze een bedreiging vormen voor het luchtverkeer of wanneer ze in het ongerede raken. De ballon vernietigt zichzelf als de equator wordt gepasseerd. Het gewicht van de ballon bedraagt 3 kg. Het uitlezen van de meetwaarden duurt per ballon 600 msec. De doorsnee van de ballons bedraagt 4 meter. Ze worden met helium gevuld in een niet doorlatend omhulsel. De sonde bevat een thermistor voor de luchttemperatuurmeting, een aneroid barometer voor de luchtdruk en tevens een differentiële manometer voor meting van de druk binnen het omhulsel. Dit om de "levensstaat" van de ballon te volgen. Als streefdatum voor het experiment is gesteld juli 1970.

8. Organisatie en samenwerking

De WMO onderzoekt in het kader van de World Weather Watch hoe de wereldomspannende satellietobservaties en communicatiefaciliteiten moeten worden ingepast in het global observing system, het global data processing system en het global telecommunication system.

Hieraan gaat een research-programma vooraf. Dit programma maakt deel uit van het Global Atmospheric Research Program (GARP), dat de WMO en ICSU (International Council of Scientific Unions) gezamenlijk opstellen.

De rol, die de WMO te vervullen heeft, is er één van internationale coördinatie, maar de activiteiten zijn wat betreft de genoemde functies nog wat duister, alsof men een afwachtende houding aanneemt.

In feite zijn er twee superstaten, die de middelen verschaffen om de potentiële mogelijkheden van ruimteprogramma's uit te buiten. Ongetwijfeld zijn hier politieke en militaire motieven in het spel. De drang tot domineren kan niet beter worden geëffectueerd dan door te trachten op wetenschappelijk terrein een voorsprong te krijgen en te behouden.

De wereld is toeschouwer en wacht af wat de spin-off zal zijn van deze machtsstrijd. De technologische verworvenheden, die te danken zijn aan het ruimteonderzoek, worden gretig aanvaard. Dit heeft de televisiecommunicatie b.v. bewezen.

De houding van andere staten is echter niet geheel passief. Er bestaan reeds enkele bi- en multilaterale overeenkomsten tussen de staten: ESRO, ELDO, INTELSAT, het THUMBA-project in India, EOLE, project SYMPHONIE, maar specifiek wat betreft meteorologische applicatiesatellieten is er nog weinig ondernomen.

De APT-ontvangst en het WEFAX-experiment bewijzen dat de ontwikkelingslanden reeds kunnen meeprofiteren, maar een klacht van ontwikkelingslanden is, dat men niet voldoende geschoold personeel heeft om de producten van de applicatiesatellieten te interpreteren en te gebruiken, zodat ze nut afwerpen voor de economie van het land.

Het APT-systeem is niet het laatste woord. In een global observing system zal men streven naar het verzamelen van waarnemingsreeksen op basis van continuïteit in ruimte en tijd. De ATS-satellietopnamen hebben bewezen dat dit in principe mogelijk is maar de hemelmechanica is er de oorzaak van, dat het filmverslag van het weer door de ATS beperkt blijft tussen 60° NB en 60° ZB. Dit filmverslag kan boven de polen worden aangevuld met de ESSA-beelden, omdat deze ruimtevaartuigen bij elke omloop de poolgebieden passeren. Het geval wil echter, dat beide filmverslagen juist op middelbare breedte randbederf vertonen, dus juist daar waar de weersprocessen het wisselvalligst zijn. Een overzichtelijk filmverslag is op middelbare breedte alleen te verkrijgen door het toepassen van speciale technieken. Men kan b.v. een geheel eskader ESSA-satellieten, 6 à 8 tegelijk, in polaire banen waarvan de baanvlakken $+ 30^{\circ}$ uit elkaar staan, laten ronddraaien. De beelden kunnen gerelayeerd worden, zodat APT-ontvangers, zeg elke twee uur, series foto's opnemen. Men heeft dit systeem reeds bestudeerd maar de technische uitvoering is zeer complex. Een andere mogelijkheid is, een geostationaire satelliet onder een zekere inclinatiehoek in een baan rond de aarde te brengen, zodat de satelliet t.o.v. de aarde een noord-zuid beweging vertoont langs een meridiaan. De omkeerpunten kunnen gunstig gekozen worden t.o.v. de locale zonnetijd. Men kan ook een excentrische baan kiezen, zoals bij de MOLNYA, met een omlooptijd van $+ 12$ uur, zodanig dat men ervan verzekerd is, dat de kunstmaan $+ 8$ uur van elke omloop zichtbaar is boven een zeker gebied.

Al deze projecten zouden zeer kostbaar worden en nog veel ontwikkelingswerk vereisen, vooral op het stuk van data collecting en data processing.

De directeur van ESSA, David Johnson, deelde mee, dat de bouwkosten van een ESSA-satelliet en eenvoudige ATS-satelliet \$ 2.500.000 bedragen. De lanceringskosten zijn \$ 4.500.000. Hierin zijn uiteraard de ontwikkelingskosten niet inbegrepen. Hij achtte het mogelijk, dat men in Europa een geostationaire satelliet zou kunnen construeren, die minder dan 200 kg weegt en die b.v. met de Franse Diamondraket op de evenaar gelanceerd kan worden.

In verband met deze suggestie werden contacten gelegd met gedelegeerden van Westeuropese staten. Men achtte het een goed denkbeeld, dat een groep van Westeuropese staten een multilaterale overeenkomst zou sluiten om een dergelijk satellietstelsel te bestuderen en te implementeren. Dit kan b.v. geschieden in het kader van ESRO. Een bijzonder aspect is hierbij, dat als een aardsynchrone satelliet geplaatst zou kunnen worden boven Afrika, de ontwikkelingslanden er ook profijt van trekken.

In meteorologische kringen zal een initiatief worden ondernomen (Zweden), om de vorming van een dergelijke multilaterale overeenkomst te stimuleren.