

Verslag van een korte studiereis in de Verenigde Staten

door

Prof. Dr. W. Bleeker

Na afloop van de vergadering van de Commissie voor Hydrologische Meteorologie, welke van 12 tot 26 april 1961 te Washington plaats vond, werden enige bezoeken gebracht aan Instituten, Laboratoria en aan wetenschappelijke werkers ten einde op de hoogte te komen van enkele recente ontwikkelingen in de Verenigde Staten.

Bezoek aan de Special Project Section van het U.S. Weather Bureau in Washington

Ik wisselde met dr. Machta van gedachten over de mondiale verdeling van radioactieve stoffen. Men heeft in mei en november 1960 weer met een B 57 stratosferische gegevens verzameld.

Er blijft nog altijd het raadselachtige gedrag van Wolfram 181 te verklaren, dat hoge waarden in de equatoriale stratosfeer vertoont. Terwijl de verdeling van alle andere stoffen in de stratosfeer geheel overeenkomstig het Brewer-Dobson model van de stratosferische meridionale circulatie is, blijkt de verdeling van Wo 181 dat niet te zijn. Men zou kunnen denken, dat het met de hoogte verband houdt, maar dit is onwaarschijnlijk omdat Rhodium wel aan Brewer-Dobson voldoet, terwijl het toch zeer hoog is gelanceerd.

Men heeft verder gegevens verzameld over de verdeling van het door kosmische straling geproduceerde Be-7. Merkwaardig is dat boven Antarctica waarden voorkomen, die belangrijk groter zijn dan de berekende evenwichtswaarden. Het lijkt overigens of Antarctica zich in andere opzichten anders gedraagt dan Arctica; de plotselinge stratosferische verwarmingen die zich in Arctica in de lente voordoen, schijnen in Antarctica niet in die mate voor te komen.

Er zijn ook gegevens verzameld van Ra D (Pb-210). De hierbij gevonden waarden zouden er volgens Machta op kunnen wijzen, dat de Brewer-Dobson circulatie optreedt.

Overigens is het plan om via de IBM-computer de verdeling van de Ra D-activiteit te onderzoeken via verschillende modellen (samenstelling van meridionale bewegingen en verticale beweging) nog niet uitgevoerd wegens gebrek aan tijd.

De nieuwste plannen zijn het Brewer-Dobson schema te testen met behulp van radon. Men wil zuid van Hawaii en op de noordelijker breedten stratosferische luchtmonsters nemen en die onderzoeken op radon-gehalte.

Men wil voorts ook ozonmetingen doen met een nieuw instrument, dat door Regener ontwikkeld is. Er zijn in India door de Amerikanen metingen gedaan met de optische Paetzoldsonde.



Bij een vorig bezoek (januari 1960) vernam ik dat men in de Verenigde Staten pogingen deed de Brewer ozonsonde na te bouwen. Men deelde mij nu mede, dat dit nog steeds niet was gelukt.

Voorts hebben we nog gesproken over waterdamp in de aller-hoogste luchtlagen. Men heeft in de Verenigde Staten metingen gedaan met behulp van de zgn. "liquid nitrogen trap". Het is gebleken, dat de waterdamp in de stratosfeer weer een toenemende mengverhouding vertoont (tot 0.1 gr/kg!). Als dit inderdaad juist is, zou dit een verklaring van de lichtende nachtwolken kunnen betekenen, indien althans het water niet afkomstig is van de H-bommen. Berekeningen tonen aan dat dit mogelijk zou kunnen zijn. Men hoopt nieuwe monsters te verzamelen en deze op tritium te onderzoeken. Een hoog tritium gehalte zou op H-bom origine wijzen.

Die zelfde middag heb ik eveneens een gesprek gehad met Pack over diffusiestudies mede in verband met radioactieve verontreinigingen door reactoren. Geïnformeerd werd naar de experimenten met tracer stoffen (Sb), die na inzameling onder een neutronen generator radioactief worden gemaakt. Het bleek, dat men bij diffusiestudies thans gebruik maakt van fluorescerende uranine-dye, dat in zeer kleine hoeveelheden (ongeveer  $1 \times 10^{-10}$  gram/m<sup>3</sup>) is aan te tonen.

Voor de beoordeling van de verticale structuur van de atmosfeer betreft, men wil nu gebruik gaan maken van zeer kleine en goedkope raketten, die tot ongeveer 200 meter<sup>2</sup> stijgen, dan dalen en de temperatuur telemeteren. De studies met drones (op afstand bestuurd modelvliegtuigen), waarover men mij in januari 1960 sprak, zijn mislukt.

Ik maakte melding van onze Pernis studies. Machta deelde mij mede, dat men een onderzoek had gedaan naar de vergentie boven een stad en duidelijk negatieve waarden (convergentie) had gevonden. Sprekende over al of niet wassen van afvalgassen, bleek mij dat men ook in de Verenigde Staten de ervaring heeft, dat wassen nadelig is wegens neerdrücken van pluimen door verdamping van de druppeltjes. Men wees in dit verband ook nog op publicaties van Scorer over dit onderwerp.

Luchtverontreinigingsonderzoek wordt in de Verenigde Staten hoofdzakelijk in Cincinnati verricht, waar Mac Cormick met zijn groep werkzaam is en in Idaho Falls, waar het Weather Bureau over een uitgebreid experimenteel station beschikt, dat onder leiding staat van dr. Islitzer. Machta en Pack vertelden, dat Mac Cormick metingen van de extinctie heeft gedaan op verschillende hoogten (extinctie meter van Volz); hij was in staat duidelijk verschillen te constateren. Mac Cormick wil uit deze metingen de vervuiling van de tussenliggende laag berekenen. Alhoewel diverse onderstellingen moeten worden ingevoerd meent men, dat het op deze wijze toch mogelijk moet zijn een eenvoudige bepaling van de "atmospheric load" te verkrijgen.

Ten slotte vertelde men mij nog iets van de studies, die men in verband met radio-actieve ongelukken in de lagere luchtlagen verricht met zgn. tetroons. Dit zijn ballons van 1 mil.(0.001 inch)

mylar met tetraeder vorm, die gevuld worden met helium gas met een overdruk van 100 millibar. Ze worden uitgewogen voor een laag niveau en blijven zeer goed op constante hoogte (weinig temperatuurinvloed). Men kan de ballons, die geen gevaar voor de luchtvaart vormen, met radar volgen en krijgt op deze wijze een goed denkbeeld van de stroming in een bepaald gebied, de windrichting- en snelheidsveranderingen. Het is ook mogelijk vertikale bewegingen in de atmosfeer met tetroons te bestuderen.

#### Bezoek aan de Extended Forecasts Section van het U.S. Weather Bureau te Suidland

De bedoeling van dit bezoek was een denkbeeld te krijgen van de wijze, waarop de individuele "surface maps" van de 5-daagse forecasts worden gemaakt, in het bijzonder in verband met hun betekenis voor het scheepsrouterings-programma.

Namias, hoofd van deze Sectie, vertelde, dat men sinds mijn laatste bezoek (enige jaren geleden) zeer veel gebruik is gaan maken van de "numerical forecast unit". Het merkwaardige is echter dat de section zich nog steeds bedient van 700 mb kaarten, terwijl de numerieke voorspelling op 500 mb werkt. De 500 mb gegevens worden echter automatisch in 700 mb gegevens omgezet. Namias betoogt dat het 700 mb niveau beter is, omdat het de invloed van het aardoppervlak vertoont (verwarming en afkoeling); de vraag is echter, of deze invloeden niet verloren gaan als de omzetting van 500 naar 700 mb volkomen automatisch geschiedt.

De vijfdaagse verwachtingen worden nog steeds op vijfdaagse gemiddelde kaarten gebaseerd. Een kaart voor D-dag bestaat dus uit kaarten van (D-2) tot (D+2). Is D-dag heden, dan worden (D+1) en (D+2) van de machine genomen; zelfs maakt men een gemiddelde kaart van D; (D+1), (D+2), (D+3) en (D+4). De gemiddelden worden direct berekend door de machine en met de "curve plotter" in kaart gebracht. Men bestudeert nu de beweging van troggen en ruggen en ook de "isallobaren" (periode 48 uur) en extrapoleert de toekomstige ligging van trog- en rugsystemen. Het is wel gebleken, dat men de individuele forecasts voor (D+1), (D+2), (D+3), (D+4) niet gebruiken kan als basis, doch beter via vijfdaagse gemiddelden kan werken.

Men past verder nog een zg. "basic current method" toe. Namias is van mening, dat men het "constant vorticity concept" ook op gemiddelde kaarten kan toepassen; hij heeft uitgaande van vijfdaagse gemiddelde kaarten met het barotrope model numeriek nieuwe kaarten berekend, die enige dagen lang op de werkelijk gemiddelde kaarten leken. Bij een langere periode bleken de kaarten "out of phase" te worden en Namias meent, dat dit toe te schrijven is aan fysische processen, die niet door de machine in rekening kunnen worden gebracht.

Men tracht nu in de model-berekeningen zich op de volgende wijze van deze fysische processen te bevrijden. De uitgangskaart is de gemiddelde kaart (D-2), (D-1), D, (D+1) en (D+2) op dag D. Indien de aarde geen longitudinale verschillen bevatte zouden er geen voorkeurs-

plaatsen voor troggen en ruggen zijn en zou er uitsluitend een zonale wervel bestaan. Een aantal factoren, zoals bergketens en land-zee contrasten, die nu het werken met het barotrope model ongunstig beïnvloeden (in het bijzonder voor langere voorspellingstijden) zouden op zo'n denkbeeldige aarde niet bestaan. We kunnen nu een 500 mb (of 700 mb) kaart construeren voor zo'n denkbeeldige aarde door van de actuele uitgangskaart de breedte-anomalie voor het normale patroon voor de tijd van het jaar af te trekken.

Voor deze denkbeeldige kaart geldt dus:

$$Z_d = Z - (Z_n - Z_n^\varphi), \quad \text{of}$$

$$Z_d = (Z - Z_n) + Z_n^\varphi,$$

waarin  $Z$  de geopotential waarde in een grid point van de actuele kaart voorstelt,  $Z_n$  de normale geopotential voor dit punt en  $Z_n^\varphi$  voor de desbetreffende maand de normale geopotential gemiddeld over de breedte  $\varphi$  van het punt.

Voor de denkbeeldige kaart worden nu voor periodes van 24, 48, 72 en 96 uur numerieke forecasts gemaakt met het barotrope model en deze worden weer gecorrigeerd voor het verschil tussen  $Z_n^\varphi$  en  $Z_n$ . Deze kaarten stellen dan 5-daagse gemiddelden voor.

Van de op diverse wijzen verkregen gemiddelde 700 mb kaarten moet men nu nog tot grondkaarten voor individuele dagen komen. Namias vertelde mij, dat men tegenwoordig wel allerlei regeltjes heeft om van 500 (of 700 mb) mb naar het aardoppervlak te extrapoleren. Ik kon hiervan geen overzicht krijgen.

Terwijl ik de "weerkamer" van de Sectie bezocht was men bezig de individuele grondkaarten te tekenen, gebruik makende van 24, 48 en 72 uur barotropische verwachtingen (500 mb) voor individuele dagen en van de verwachte vijfdaagse gemiddelden. Ik kon mij niet onttrekken van de indruk, dat de kaarten zeer subjectief worden gemaakt, waarbij de barotropische verwachtingen min of meer als correctie faktor optreden.

Ik deelde Namias mede, dat onze ervaringen met de kaarten voor de Atlantische Oceaan nu niet erg bemoedigend waren. Namias meent, dat de resultaten over de Verenigde Staten bepaald goed zijn, maar is er wel van overtuigd, dat door zijn mensen minder aandacht aan de Noord Atlantische Oceaan wordt besteed. Namias vestigt de aandacht op twee factoren: a) de forecaster moet voortdurend zelf kijken of het nog goed gaat en op zijn qui-vive zijn met betrekking tot afwijkende ontwikkelingen en b) men moet meer op de banen dan op de positie van de depressies letten. Beide punten hebben overigens bij onze routrouwingsexperimenten voortdurend de aandacht gehad.

Men schenkt thans bij de Sectie ook tamelijk veel aandacht aan zeewatertemperaturen en de afwijking daarvan van de normale waarden. Namias heeft hier in het bijzonder op gewezen in verband met zijn studies over droogteperiodes.

Bezoek aan het zg. satelliet-laboratorium van U.S. Weather Bureau en N.A.S.A. te Suitland

De bedoeling van dit bezoek was iets meer te weten te komen van het zg. Internationale Programma, dat door N.A.S.A. in samenwerking met het Weather Bureau is opgezet, en waarvoor ook in Nederland medewerking was gevraagd. Daartoe gesproken met D.Holmes, leider van dit project.

Het onderhoud levert weinig nieuws op. Holmes zegt, dat men het programma niet opgezet heeft om er zelf van te profiteren, doch meer om andere landen "satellite-minded" te maken.

Wij hebben indertijd schriftelijk gevraagd, of men in de Verenigde Staten de TIROS-foto's vergeleken heeft met foto's van alle "all-sky camera's" en foto's genomen uit hoog vliegende vliegtuigen, aangezien het in onze bedoeling lag bij TIROS-overgangen met een all-sky camera foto's te maken, terwijl de Koninklijke Luchtmacht bereid is van uit jet-vliegtuigen te fotograferen. Holmes deelde mede, dat men ook in de Verenigde Staten all-sky camera foto's en vliegtuigfoto's heeft gemaakt, doch dat men zodanig overweldigd was door het materiaal dat van de TIROS kwam, dat men nog geen gelegenheid heeft gehad voor een nader onderzoek.

Het is overigens van belang even te vermelden, dat het theoretisch mogelijk is, door gebruik te maken van de wenteling van de satelliet, een gradennet over een TIROS foto te leggen ook als men geen landmerken heeft.

Holmes vertelde verder, dat men op het ogenblik vele foto's onderzocht ten einde te zien of het mogelijk is wolken te onderscheiden van sneeuwbedekt land en van bevroren zee (project van dr. Wark).

Holmes is verder nauw verbonden met het Amerikaanse rocket-programma. Men besteedt zeer veel aandacht aan de ontwikkeling van meteorologische raketten, doch realiseert zich wel dat de "range safety" een belangrijke nadelige faktor is. De Amerikanen geloven niet in de mogelijkheid van besturing van kleine raketten. Er wordt thans, ten einde de gevaren van de terugvallende raket te vermijden, gedacht aan raketten, die of geheel opbranden of op maximale hoogte door een springlading volkomen worden vergruizeld.

Met het rocket programma worden gegevens verzameld van de wind (op maximale hoogte uitgeworpen ballon of parachute) en temperatuur (parachute met radiosonde). Holmes was er nog niet zeker van of de temperatuurmetingen wel zo goed waren; fouten treden op ten gevolge van de stralingsbeïnvloeding van de thermistor door het instrument.

Drukmetingen worden met deze radiosondes niet gedaan. Holmes vertelde wel, dat men op het ogeblik in de Verenigde Staten radiosondes heeft, die tot zeer grote hoogten drukmetingen hypsometrisch verrichten (vloeistof: zwavelkoolstof). Bij mijn bezoek aan Wallops Island (28 april) bleek mij, dat men daar deze sondes gebruikt; de hypsometrische waarnemingen hebben dan uitsluitend betrekking op de waarnemingen in de hogere niveaus.

Holmes en Winston lieten mij de eerste resultaten zien van de temperatuurmetingen aan het aardoppervlak (wolkenoppervlak), welke waren verricht met TIROS II. Men meet de stralingsenergie in het venster van het waterdamp absorptie spectrum bij  $4\mu$ . Hieruit wordt de temperatuur berekend. De kaart van Noord-Amerika bevatte honderden metingen. Lage temperaturen kwamen voor boven gebieden met uitgebreide bewolking. Het bleek zeer wel mogelijk isothermen te tekenen.

Met Hubert bekeek ik enige tientallen foto's van de TIROS I, waarvan men duizenden exemplaren en enorme foto-albums heeft geplakt. Ik vroeg Hubert hoe deze foto's verkregen waren; had men een televisie camera opgesteld en het beeld gefotografeerd? Dit is in zekere zin wel het geval, maar het beeld is afkomstig van één "scan"; het resultaat van zo'n scan wordt dus niet met het blote oog waargenomen. Men zei, dat men op deze wijze ook minder beïnvloed was door storingen.

Het materiaal is zo uitgebreid, dat men nog slechts een begin heeft kunnen maken met de bewerking. Men heeft allerlei interessante wolken configuraties gevonden: "Bénardse cellen", wolkenstraten van zeer grote afmetingen, spiraalbanden in de depressies en ringvormige wolkengebieden (doughnuts). Er zijn nog slechts weinig vergelijkingen gemaakt tussen het TIROS beeld en de synoptische kaarten, aangezien men te weinig mensen heeft.

#### Bezoek aan de raket basis op Wallops Island (Virginia)

Wallops Island is een van de plaatsen op het Noord-Amerikaanse continent, waar men raketten oplaait en waar zelfs zo nu en dan satellieten worden gelanceerd. Er bestaan thans in Noord-Amerika de volgende stations, waar min of meer regelmatig raketwaarnemingen tot 60 km hoogte worden verricht: Fort Greely (Alaska), Fort Churchill (Canada), Wallops Island en Cape Canaveral aan de Atlantische kust, Eglin Field aan de Golf van Mexico, White Sands (Nieuw Mexico), Tonopah (Nevada), Point Mugu (aan de kust van de Stille Oceaan).

Wallops Island is van Washington uit in twee uur vliegen (DC-3) te bereiken. De National Aeronautic and Space Administration (NASA) verzorgde mijn transport.

Ik werd ontvangen door de NASA meteoroloog Spurling, die mij op enthousiaste wijze alle inlichtingen gaf en mij op de basis rondleidde.

Er bestaat in de Verenigde Staten een Inter Range Instrumentation Group (IRIG), die een meteorologische werkgroep heeft, waarvan weer een ondergroep zich met netwerk problemen bezig houdt. Deze ondergroep bestaat uit meteorologen van de diverse bases, die tot taak hebben om oplatings van raketten te coördineren met andere elementen, de gegevens te verzamelen en te publiceren. IRIG-Meteorologische Werkgroep heeft al diverse boeken met gegevens gepubliceerd. Desgewenst kan men deze gegevens aanvragen bij Mr. W. Webb, Geophysics Division, U.S. Army Signal Missile Support Agency, White Sands Missile Range (N.M.).

NASA, Weather Bureau en diverse Department of Defense Agencies hebben bovendien een Joint Scientific Advisory Group of the Meteorological Rocket Network; in deze groep hebben ook vertegenwoordigers van de grote research lichamen als Rand Corporation en Sandia Corporation zitting.

Deze groep ontwerpt experimenten, probeert sensors, bewerkt gegevens enz.

Men gebruikt voor het meteorologische werk hoofdzakelijk Loki II A en Arcas raketten. Ten tijde van mijn verblijf werd een Arcas raket afgeschoten; ik was in de gelegenheid over de Arcas meer gegevens te verkrijgen.

ARCAS is een afkorting van Atlantic Research Corporation Atmospheric Sounding. De Atlantic Research Corporation, enige jaren geleden opgericht, schijnt zich met veel succes op de raket fabricage te hebben gespecialiseerd en produceert thans enige honderden raketten per maand.

Gewicht 35 kg, lang 2.5 m, diameter 11 cm, payload 2-8 kg, vaste brandstof.

Geringe versnelling (bij oplaten 40 g); de brandstof reikt voor 30 seconden, daarna stijgt de raket nog 100 seconden. Bij het bereiken van het hoogste punt zorgt een ontsteking voor het scheiden van raket en waarnemingsapparaat.

De waarnemingen, die men met de ARCAS verricht, zijn: a) windwaarnemingen en b) temperatuur- en windwaarnemingen.

Bij de windwaarnemingen wordt op maximale hoogte een ballon geëjecteerd; ballon materiaal is mylar van 0.01 inch dikte, ballon gewicht 120 gram. De ballon zet uit tot een diameter van 1 meter door de verdamping van isopentaan. Binnen de ballon bevindt zich een gemetalliseerde reflector als radar doel.

Een andere methode voor het verrichten van windwaarnemingen bestaat uit het ejecteren van haksel bestaande uit gemetalliseerd nylon.

Bij temperatuur- en windwaarnemingen wordt gebruik gemaakt van een radiosonde met een 0.01 inch "bead thermistor" voor temperatuurgegevens. De parachute heeft een diameter van 4 meter en is eveneens gemetalliseerd, zodat hij als radar doel kan dienen.

Ballon en parachute vallen in de hogere luchtlagen (op 60-80 km hoogte) met grote snelheid. Als voorbeeld: de parachute valt in 20 minuten van 80 tot 27 km; op 60 km is de valsnelheid 140 m/sec., op 30 km 13 m/sec.

Ballon en parachute moeten voor windwaarnemingen worden gevolgd of door radar-apparaat of door een combinatie van twee RAWIN-apparaten. Men beschikt op Wallops Island over de meest geperfectioneerde radar-apparaat, de FPS 16, speciaal gebouwd voor "rocket tracking"; range 240 km voor een doel van 1 m<sup>2</sup>, range nauwkeurigheid - 5 meter, hoeknauwkeurigheid 0.1 duizendste. Deze radar-apparaat volgt de raket automatisch, is voorzien van elektronische rekenapparaat en van een plotinrichting, die elke

secunde de projectie van raket, ballon en parachute op het aardoppervlak geeft en bovendien een hoogte-tijd kromme. Het is zelfs mogelijk de radargegevens op een magnetische band vast te leggen en daarne de positie van ballon elke 0.1 seconde met behulp van een IBM 650 te bepalen.

Opgemerkt wordt nog, dat de windgegevens van de ballon of parachute niet onmiddellijk na de uitworp kunnen worden gebruikt, aangezien de ballon of parachute zich eerst aan de luchtbeweging moet aanpassen. Spurling wist verder niets te vertellen omtrent de beïnvloeding van de thermistor door straling van het lichaam van de sonde.

Ten aanzien van de range safety wordt nog opgemerkt, dat het met behulp van windgegevens uit de onderste 600 meter mogelijk is het valpunt van de raket met een nauwkeurigheid van 10 à 15 mijl te bepalen. Voor elke opstijging wordt een radiosonde-wind waarneming gedaan ter bepaling van de ballistische wind. Van deze gegevens maakt men ook gebruik bij het "richten" van de raket.

De Atlantic Research Corporation heeft thans een Arcas in ontwikkeling voor ozon waarnemingen (Ozarc) volgens de optische methode van Paetzold. De eerste succesvolle opstijgingen hebben reeds plaats gehad.

Ook ontwikkelt A.R.C. een Videosonde met een lichtgewicht televisiecamera en zender te bevestigen aan een uitgeworpen parachute met de bedoeling een overzicht van de bewolking tijdens de daling te verkrijgen.

De gevaren van de vallende raket wil men trachten te vermijden door de raket op maximale hoogte door een springlading te verbrijzelen.

Ik kreeg de gelegenheid in Wallops Island de daar aanwezige installaties te zien, zoals de blokhut met het instrumentenpaneel voor controle van alle handelingen, die plaats moeten vinden alvorens een raket de lucht in gaat, de radarinstallaties met de daaraan gekoppelde computers, de fototoren (200 beelden per seconde) en voorts de radiosonde-installatie, die met radiosondes is uitgerust, welke tot 10 mb hoogte opstijgen en waarvan de drukgegevens van de hogere niveaus afkomstig zijn van een zwavelkoolstof hypsometer; de gegevens van de normale doos en de hypsometer schijnen elkaar uitstekend te bevestigen.

Ten slotte bezocht ik nog de U.S. Weather Bureau meteoroloog Chamberlain, die op het vliegveld verwachtingen uitgeeft, verder de ballistische informatie voor alle raketopstijgingen verzorgt, de resultaten van de windwaarnemingen uitmeet en codeert.

Spurling en Chamberlain vertelden mij verder nog dat in de Verenigde Staten ook nog regelmatig gegevens worden verzameld van wind en temperatuur met de "rocket-grenade methode". Tussen 30 en 100 km schiet een raket 11 granaten uit, die met een "flash detector" worden waargenomen. Het geluid wordt ontvangen op een vijftal microfoons, waarvan er vier op de hoekpunten van een vierkant staan en de vijfde in het midden. Uit de nauwkeurige gegevens omtrent tijd van aankomst van de geluidsgolf (schokgolf) kan men de gemiddelde wind en tempe-



ratuur voor lagen van 3 km dikte berekenen. Dit systeem wordt als het meest nauwkeurige beschouwd.

### Bezoek National Severe Storm Project te Oklahoma City

Het National Severe Storm Project is een onderneming om de zeer zware onweers in Oklahoma en aangrenzende staten te onderzoeken, in het bijzonder in verband met het feit dat daarin zoveel tornado's voorkomen, die grote verwoestingen aanrichten en tal van slachtoffers eisen. Op elk van de drie dagen, die ik in Oklahoma City doorbracht, traden zware tornado's op, die verwoestingen aanrichtten en waarbij enige tientallen doden te betreuren waren.

Het N.S.S.P. staat onder leiding van het hoofd van het Regional Weather Bureau Office te Kansas City, Van Thullenar. Het hoofdkwartier van het project is Kansas City, doch gedurende het tornado-seizoen is het operationele hoofdkwartier in Oklahoma City. De wetenschappelijke leiding berust bij dr. Chester Newton, lange tijd werkzaam geweest in Chicago, o.a. aan het bekende Thunderstorm project.

Tijdens het operationele seizoen richt men een project weerdienst in in een hangar op het vliegveld van Oklahoma City, een tiental meteorologen wordt daar geconcentreerd voor de weerdienst ten behoeve van het project en voor het doen van waarnemingen. Men beschikt voorts over een twaalfstal waarnemingsvliegtuigen, o.a. twee DC-6, een U-2, diverse één-motorige en twee-motorige jet-vliegtuigen.

De instrumentele uitrusting van de meeste dezer vliegtuigen is uitgebreid. De beide DC-6 vliegtuigen hebben storm radar, Doppler radar voor het doen van windwaarnemingen, "inverted flow thermometer" voor temperatuurmetingen, statische buizen voor luchtdrukwaarnemingen, versnellingsmeters, druppel vanger, terwijl een der vliegtuigen een volledige apparatuur heeft voor het meten van luchtelectriciteit. In de grotere zorgt de meteoroloog voor de waarnemingen en de bediening van het instrumentarium.

Aan de grond heeft men een uitgebreide radarapparatuur voor het volgen van de buien (PPI en RHI); de antenne van de radar kan onder verschillende hoeken worden ingesteld zodat men hogere of lagere gedeelten van de buien kan meten, voorts kan de intensiteit van de zender gewijzigd worden, waardoor het mogelijk is de "hard cores" (dikwijls hagel) van de buien op te zoeken.

Men kan de vliegtuigen volgen en via een "friend or foe identification" te weten komen of men met een der projectvliegtuigen te maken heeft. De radarkamer staat in voortdurend radio-telefonische verbinding met alle vliegtuigen, die zij ook voortdurend naar de meest interessante plaatsen sturen. De PPI-scope wordt elke 15 seconden automatisch gefotografeerd.

De weerdienst ontvangt alle facsimilé kaarten en tekent elk uur een sectiekaart. Men begint 's morgens om 6 uur, om 9.30 uur is er een briefing en worden de plannen voor de dag klaargemaakt.

Ik woonde enige briefings bij, tekende voorts tal van meso-analyses van de sectiekaarten en nam deel aan besprekingen.

Men heeft allerlei regeltjes ontwikkeld voor het localiseren van de plaatsen waar de zware onweersbuien ontstaan. In de eerste plaats let men op de normale jet, die gekoppeld is aan een front en verder op een zg. low level jet (700 mb). De onweers zouden zich hoofdzakelijk ontwikkelen na het snijpunt van de twee jets en wel in de hoek waar de grootste cyclonale vortciciteit aanwezig is. Voorts bekijkt men de ligging van de tong vochtige lucht (Tropical Gulf), die op 700 mb van het Zuiden opkruipt.

Een belangrijk punt is natuurlijk ook de analyse van de radio-sonde opstijging. Men middelt de mengverhouding over de onderste 3000 ft en men schat de maximale temperatuur; maximale mengverhoudingslijn door gemiddelde waarde van mengverhouding een droogadiabaat door maximale temperatuur geven een snijpunt, dat door de project meteorologen als de beste benadering voor het condensatie niveau van de convectieve wolken wordt beschouwd. Vandaar uit naar boven langs verzadigd adiabaat tot 500 mb levert een waarde van de onstabiliteits-energie, die men verder weer gebruikt voor het schatten van de maximale grootte van hagelstenen op een afzonderlijke diagram. Hoe groter de energie, hoe groter de verticale snelheden en hoe groter de hagelstenen, die zij kunnen dragen.

Bij het analyseren van de sectiekaarten valt op, hoe scherp het "dauwpuntsfront" is, dus hoe scherp het verschil tussen vochtige lucht uit de Gulf en de droge lucht uit het Westen. Dit dauwpuntsfront is ook meestal een plaats waar zich onweers aan ontwikkelen.

Uit de vliegtuigmetingen die men tijdens mijn bezoek deed bleek dat een der cumulonimbi tot 17 km reikte; een U-2 vloog er op 20 km boven en maakte foto's. De DC vloog op diverse hoogten vierkanten ("boxes") om de wolken heen ten einde windmetingen te verrichten ter berekening van de vergentie. Een der één-motorige jet vliegtuigen maakte op één dezer dagen een vlucht door een "hard core" en kwam zwaar beschadigd terug. Vertikale snelheden van 3 km/minuut zijn vrij dikwijls in deze "hard cores" gemeten.

Veel materiaal heeft men nog niet bewerkt; dat zal in het stillere seizoen geschieden.

Tijdens mijn bezoek maakte ik ook kennis met een tweetal meteorologen uit Washington, die bezig waren met het inrichten van accoustische luisterstations voor het opsporen van tornado's. Men heeft nl. in Washington dergelijke luisterstations opgericht voor het ontdekken van accoustische golven afkomstig van kernbomontploffingen. Op deze stations ontving men golven met een periode van 2-5 seconden tijdens dagen waarop in de Mid West van de U.S. tornado's optraden; deze golven bracht men toen in verband met de tornado's en de vraag heeft zich voorgedaan of het inderdaad mogelijk is langs accoustische weg tornado's te detecteren.