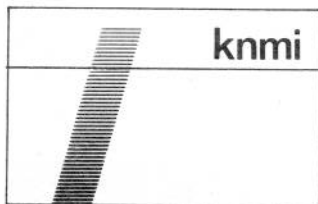


Vijfentwintig jaar weersatellieten

door: C. Floor

Vijfentwintig jaar weersatellieten



C. Floor

Op 1 april 1960 werd de eerste weersatelliet in een baan om de aarde gebracht. Inmiddels gingen vele opvolgers de lucht in. Technische ontwikkelingen leidden tot een geweldige uitbreiding van de mogelijkheden van deze satellieten. De kwaliteit van hun produkten nam daardoor toe. De gegevens van weersatellieten spelen bij het tot stand komen van het weerbericht thans een belangrijke rol.

Weersatellieten zijn bekend geworden door hun foto's. Om deze beter te kunnen interpreteren moet men een beeld hebben van de plaats van waaruit de weersatellieten naar het aardoppervlak kijken en van de manier waarop de "camera's", of beter de stralingsmeters, hun werk doen. Deze aspecten komen daarom eerst aan de orde. Na bespreking van enkele satellietopnamen zal blijken dat weersatellieten meer doen dan alleen maar foto's maken van het aardoppervlak en de zich daarboven bevindende bewolking. Met een beschrijving van deze overige taken wordt dit artikel besloten.

Satellietbanen

Weersatellieten worden tegenwoordig in een cirkelvormige baan rond de aarde geplaatst. Zo'n baan heeft het voordeel dat de afstand van de satelliet tot het aardoppervlak altijd gelijk is. Alle foto's worden daardoor op dezelfde schaal gemaakt en zijn zo makkelijk onderling te vergelijken.

Het merendeel van de tot nog toe gelanceerde weersatellieten volgt een baan die min of meer over de polen loopt. Vandaar de naam "polaire satellieten". De eerste weersatelliet in een dergelijke baan werd gelanceerd in 1965. Op dit moment zijn er twee operationeel: de NOAA-6 en de NOAA-9. (NOAA staat voor National Oceanographic and Atmospheric Administration, de naam van de beheerende instantie). Ze cirkelen rond op een hoogte van 800 à 850 km. Een omloop duurt ongeveer 100 minuten. Het baanvlak neemt een min of meer vaste positie in ten opzichte van de sterren; de aarde draait daardoor onder de satelliet door. Zo ziet de satelliet tijdens verschillende omlopen steeds verschillende delen van de aarde.

Overigens is de positie van het baanvlak niet helemaal constant ten opzichte van de sterren. De belangrijkste oorzaak daarvan is de afplatting van de aarde. De verbindinglijn aarde-zon heeft echter ook geen vaste richting. Door de draai-

ing van de aarde rond de zon verandert deze richting 360 graden in een jaar (dat is bijna een graad per dag). Bij de lancering van polaire weersatellieten zorgt men ervoor dat de draaiing van het baanvlak even groot is als de draaiing van de verbindinglijn aarde-zon. Daardoor heeft de zon steeds een vaste positie ten opzichte van de satellietbaan. Dit heeft verschillende voordelen. Een constante (zonne-)energievoorziening van de satelliet is gegarandeerd. Verder komen de satellieten nu elke dag op ongeveer dezelfde tijd over, wat erg praktisch is bij operationeel gebruik van de foto's. Bovendien is de belichting van het aardoppervlak op achtereenvolgende dagen ongeveer hetzelfde, zodat verschillende foto's gemakkelijker vergeleken kunnen worden. Vanwege dit gelijk oplopen van de polaire satellieten met de zon spreekt men ook wel van "zonsynchrone satellieten".

In december 1966 werd voor het eerst een weersatelliet gelanceerd waarvan de baan, en daardoor de toepassingsmogelijkheden, sterk afwaken van die van de polaire satellieten. Het ging om een satelliet die als het ware boven een vast punt op aarde stilstond. Dergelijke satellieten noemt men "geostationair". Natuurlijk is het in werkelijkheid niet mogelijk dat een satelliet stilstaat; hij zou direct op aarde terugvallen. In feite draait zo'n satelliet dan ook gewoon rond de aarde, maar met een omwentelingssnelheid die gelijk is aan die van de aarde. De constante snelheid van de cirkelbaan maakt het mogelijk dat de satelliet boven een vast punt van het aardoppervlak blijft "stilstaan". Om een omlooptijd van 24 uur te realiseren moet de baan van de satelliet aan twee voorwaarden voldoen: een baanvlak in het vlak van de evenaar en een hoogte van ongeveer 36.000 km.

De geostationaire satelliet kijkt dus vanaf een veel grotere hoogte naar het aardoppervlak dan een polaire satelliet. Daardoor ziet zo'n satelliet een groter deel van het aardoppervlak dan een

polaire satelliet, echter met minder details. Door zijn vaste positie ziet hij ook steeds hetzelfde deel van de aarde. Hierdoor kunnen veel vaker, bijvoorbeeld om het halve uur, foto's van hetzelfde gebied worden gemaakt. De satelliet die dergelijke opnamen van Europa maakt is de Meteosat-2, die in juni 1981 werd gelanceerd.

Stralingsmeters als camera

De eerste weersatellieten waren destijds uitgerust met TV-camera's. Sinds januari 1970 werkt men echter uitsluitend met stralingsmeters. De stralingsmeters van de tegenwoordige polaire satellieten bestaan uit een lichtgevoelige cel en een spiegeltje. Het spiegeltje draait om een as en vormt zo een aftastmechanisme. Per omwenteling van het spiegeltje wordt een 1100 m brede strook van het aardoppervlak, loodrecht op het satellietspoor, (en een deel van de hemelruimte) afgetast. Elke strook levert 2000 beeldelementen op. Recht onder de satelliet is dat goed voor een scheidend vermogen van 800 bij 1100 m; naar de randen van de foto's toe neemt dit af, omdat de sensor steeds schuiner langs het aardoppervlak gaat kijken.

Het aftasten gebeurt in vijf kanalen, met elk een eigen golflengte-interval of "venster". Kanaal 1 en 2 leveren zichtbaar-licht foto's, zij het dat de sensoren niet even gevoelig zijn voor alle golflengtes die wij zien. Een fotograaf zou spreken van een opname met oranje filter in kanaal 1 en met roodfilter in kanaal 2. Deze vensters zijn gekozen om zo min mogelijk hinder te hebben van door de atmosfeer verstrooid licht. Deze verstrooiing is voor blauw licht namelijk veel sterker dan voor oranje of rood licht. Kanaal 4 en 5 registreren warmtestraling (infrarood), terwijl kanaal 3 een mengsel van zichtbaar licht en infrarood opvangt. Ook de infrarood vensters zijn niet willekeurig gekozen. Om diep in de atmosfeer te kijken (tot aan het aardoppervlak) moet de atmosfeer de golflengtes waarmee gewerkt wordt zo goed mogelijk doorlaten. Een groot deel van de warmtestraling wordt echter geabsorbeerd door waterdamp, koolzuur en ozon, die zich in de atmosfeer bevinden. Op deze absorptie berust bijvoorbeeld het "broeikas-effect" van de atmosfeer, waardoor er minder warmte verloren gaat naar de we-

reldruimte dan zonder absorptie het geval zou zijn. De "broeikas" heeft echter enkele gaten; van deze gaten maken de polaire satellieten in kanaal 3, 4 en 5 dankbaar gebruik.

De infraroodopnamen laten in feite temperaturen zien van het aardoppervlak of de bewolking daarboven. De stralingsmeters kunnen temperatuurverschillen van 0.5° nog waarnemen. Warme objecten zoals het aardoppervlak in de zomer, leveren veel warmtestraling en zorgen dus voor veel zwarting op de film; voor koude objecten, bijvoorbeeld hoge bewolking geldt het omgekeerde. De zo ontstane film wordt gebruikt als eindresultaat, dus niet als negatief, zoals bij VIS-foto's (foto's in het zichtbaar licht). Daardoor zijn warme delen zwart op een infrarood(IR) opname en koude delen wit. De IR-foto's tonen zo meer overeenkomst met de VIS-foto's; laatstgenoemde opnamen leveren eveneens een donker aardoppervlak (zee en land) en lichte bewolking. Natuurlijk blijven er verschillen, zoals we verderop zullen zien.

De opname-mogelijkheden gelden voor de huidige generatie polaire satellieten met hun zogenaamde AVHRR-instrumenten (Advanced Very High Resolution Radiometer).

De Meteosat, die op een vaste plaats boven de aarde staat, heeft een iets ander aftaststelsel. De satelliet draait honderd maal per minuut rond zijn eigen as; dit rondtollen wordt benut voor de oostwestbeweging bij het aftasten. De aarde is echter slechts 1/20 deel van de tijd in beeld. De telescoop waarmee de satelliet naar het aardoppervlak kijkt, kan zelf zodanig bewegen dat een noordelijker of een zuidelijker strook wordt afgetast. De telescoop onderscheidt de Meteosat en andere geostationaire satellieten van hun polaire collega's. De telescoop is noodzakelijk door de grote afstand van de satelliet tot het gebied dat hij in beeld moet brengen. De Meteosat heeft een 400 mm spiegeltelescoop met een brandpuntsafstand van 3650 mm aan boord.

De satelliet maakt opnamen van het naar hem toegekeerde deel van de aarde in 3 kanalen. Voor een zichtbaar-licht opname wordt het beeldveld in 5000 strookjes verdeeld. Elk strookje bestaat op zijn beurt weer uit 5000 punten, zodat een foto in totaal 25.000.000 beeldpunten bevat. Elk beeldpunt kan daarbij 64 gradaties aannemen, alles bij elkaar dus een immense gegevensstroom. De infraroodopnamen zijn opgebouwd uit 2500 aftaststroken met elk 2500 beeldpunten en 256 gradaties. Voor zogenaamde waterdampbeelden geldt hetzelfde, maar nu zijn er per beeldpunt weer 64 gradaties mogelijk.



Figuur 1 Opname van de geostationaire weersatelliet Meteosat

De meteorologische diensten kunnen een gegevensstroom, zoals de Meteosat die iedere 30 minuten levert, niet verwerken. Daarom is er in Darmstadt (Duitsland) een ontvangstation dat de informatie opslaat en bewerkt tot eenvoudigere foto's. De foto's worden via de Meteosat, nu als communicatiesatelliet, naar de verschillende weerdiensten verzonden. De Meteosat-foto's kan men ontvangen met een eenvoudige schotelantenne, die op de satelliet is gericht. De ontvangst van gedetailleerde opnamen van polaire satellieten vraagt om een veel grotere antenne, die bovendien de satelliet tijdens zijn overkomst moet volgen. In beide gevallen gaat het om relatief zwakke signalen; een satelliet kan zich nu eenmaal geen sterke, energievervlindende zender veroorloven; alles gaat op zonnekracht.

Opnamen

De opnamen van de weersatellieten stelden de meteorologen voor het eerst in staat om op afstand van boven af naar weersystemen te kijken. De foto's geven informatie over de ligging van depressies en andere weersystemen en tevens inzicht in hun structuur. Een voorbeeld van een bovenaanzicht

van een depressie geeft figuur 2. Zo'n depressie is als het ware een draaikolk met, op het noordelijk halfrond, een draaiingsrichting tegen de wijzers van de klok in. Aan de noordzijde (richting noordpool) van zo'n depressie bevindt zich gewoonlijk koude lucht; aan de zuidzijde (richting evenaar) warme lucht. Door de wervelwerking stroomt aan de westzijde van de depressie koude lucht naar het zuiden. Koude lucht is vaak onstabiel, zodat zich stapelwolken vormen; op de foto's is de koude lucht daardoor te herkennen aan de witte dotjes (stapelwolken, buienwolken) op een donkere ondergrond (opklaringen boven zee of land). Aan de oostkant van de depressie wordt warme, vochtige oceaanlucht naar het noorden gestuwd.

De grens tussen de koude en warme lucht is op de foto scherp en duidelijk te zien. In de warme lucht bevindt zich veel bewolking (wit); opklaringen treffen we er niet aan, behalve wanneer we zuidelijker in de warme lucht kijken. Een uitloper van de warme "tong" kringelt zelfs enkele malen rond het centrum. De hier beschreven kenmerken waren voor het weersatelliettijdperk veel minder in detail bekend.

Aan hogedrukgebieden is vaak minder te zien. Het zijn gebieden waar geen hoge bewolking zit, soms wel wat lage bewolking. Op IR-foto's mogen we daarom geen witte vlekken verwachten, wel grijs (lage bewolking) of zwart (land of zee). Voor een analyse van het weer is de precieze ligging van hogedrukzones van belang. In gebieden boven de oceaan waar weinig gegevens beschikbaar zijn kunnen de satellietfoto's toch vaak hulp bieden.

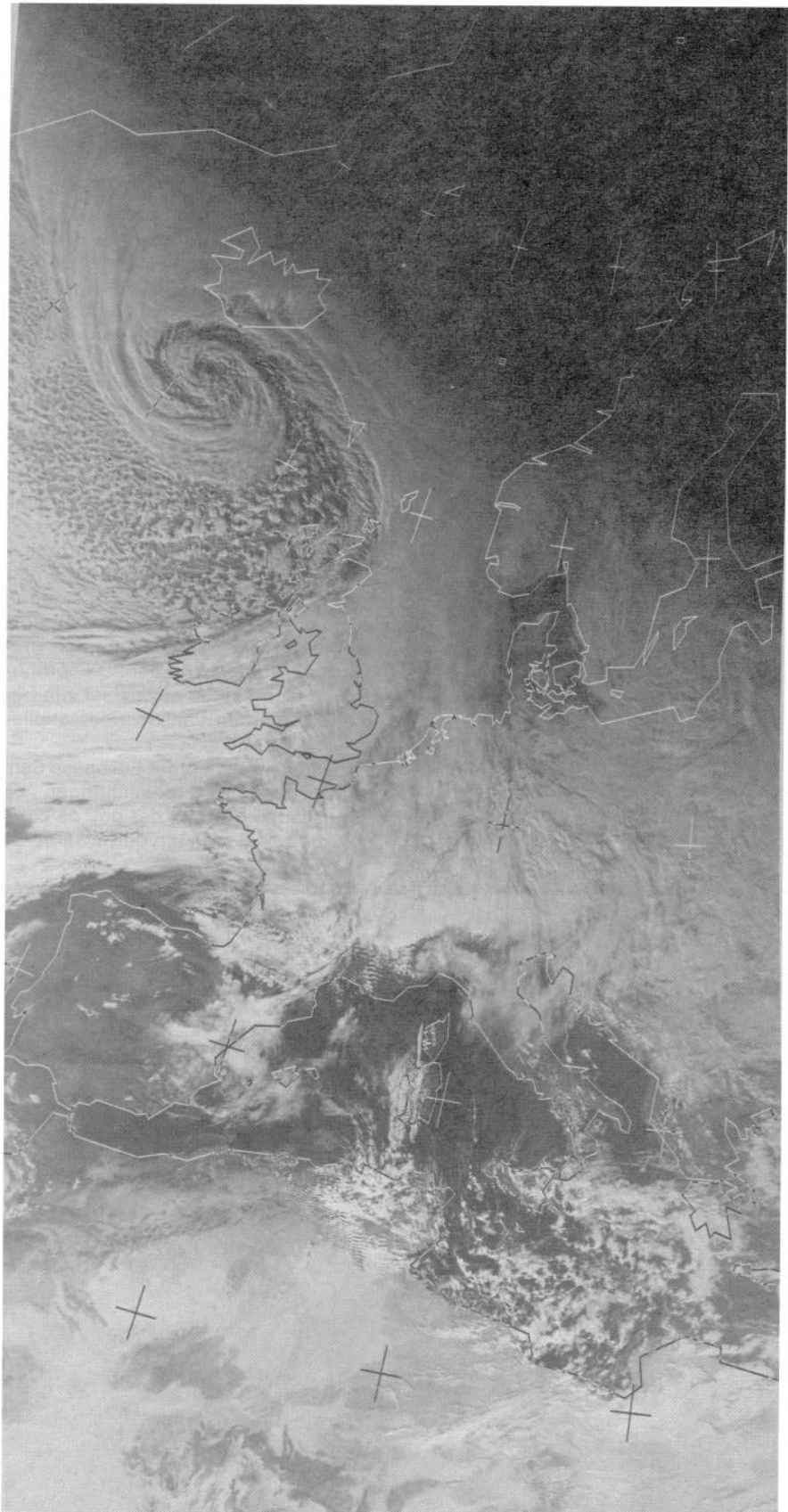
Satellietfoto's werpen niet alleen hun "licht" op grootschalige weersystemen, zoals hoge- en lagedrukgebieden. Vooral bij kleinschaliger systemen zoals buiencomplexen en tot dan toe onbekende wervelpatronen in de bewolking vergroten zij de meteorologische kennis.

Overige taken van weersatellieten

De weersatellieten maken niet alleen opnamen van het aardoppervlak. Reeds eerder werd de rol van de satellieten voor de meteorologische communicatie genoemd. Vooral de geostationaire satellieten zijn daarvoor uitstekend geschikt. Overal in het gebied dat de Meteosatfoto's tonen (volgens figuur 1) kunnen de uitzendingen van de satelliet ontvangen worden. Naast foto's zendt men bijvoorbeeld kaarten met het verwachte weer en waarnemingsgegevens uit.

De weersatellieten vervullen ook een rol bij het verzamelen van weergegevens van automatische stations, drijvende weerballonnen enzovoorts. Zij vragen de gegevens van deze onbemande stations op en verzenden ze later naar grondstations, die voor verdere verzending via het internationale meteorologische communicatienetwerk zorgen. Maar bovenal zijn de weersatellieten meetplatforms, van waaruit de atmosfeer van boven af wordt gepeild. Zo worden onder andere temperatuur en vochtigheid in verschillende lagen van de atmosfeer bepaald door vergelijking van de hoeveelheden ontvangen straling, gemeten door 20 verschillende vensters.

Deze gegevens komen terecht in de weerkaarten van de meteorologen. Bovendien worden zij gebruikt in de grote computermodellen van de atmosfeer, op basis waarvan berekeningen uitgevoerd worden waarop tegenwoordig de verwachtingen voor een of meer dagen vooruit zijn gebaseerd. De satellietwaarnemingen vormen een waardevolle aanvulling op het steeds kleiner wordend net van radiosondes (weerballonnen), dat vooral boven



Figuur 2 Opname van een polaire weersatelliet (NOAA 9)

oceanen en afgelegen streken erg wijdmazig is. Radiosondes leveren echter ook windgegevens. Daarom worden thans de mogelijkheden om ook met weersatellieten windrichtingen en -snelheden te meten uitvoerig onderzocht. Een methode hiervoor is bijvoorbeeld het volgen van wolkenpatronen, die op satellietfoto's te zien zijn.

Verplaatsingsrichting en -snelheid van het patroon worden dan beschouwd als windrichting en windsnelheid. Door de wijzigingen die in de patronen optreden en door de verschillende posities van waaruit naar de patronen gekeken wordt, is deze methode niet altijd zo vanzelfsprekend en eenvoudig als zij op het eerste gezicht lijkt. Bovendien moet de hoogte waarop de patronen voorkomen geschat worden uit de via de infrarood kanalen gemeten temperaturen, wat ook een zekere onnauwkeurigheid met zich meebrengt.

Daarom zoekt men ook naar andere methoden om iets over wind te weten te komen. Voorbeelden zijn technieken, waarmee de ruwheid van het zee-oppervlak wordt bepaald. De gemeten zeeegang wordt gerelateerd aan de bijbehorende wind. Deze ruwheid kan bijvoorbeeld bepaald worden uit de verstrooiing van zonlicht door het zee-oppervlak of met behulp van microgolven. Deze methoden geven echter alleen de wind aan het aardoppervlak. Voor meting van hoogtewinden

denkt men aan het weerkaatste licht van een laserbron in de satelliet of aan de spectra van de moleculen die in de luchtstroming meebewegen. We gaan daar echter niet verder op in.

Operationeel gebruik, nu en in de toekomst

Bij het maken van weersverwachtingen wordt altijd uitgegaan van een groot aantal weerwaarnemingen. Reeds tientallen jaren bestaat er daarom een internationaal netwerk van waarnemingsstations, die onderling gegevens uitwisselen. Met de opkomst van de weersatellieten werd duidelijk dat ook een internationaal satellietwaarnemingsnetwerk van groot belang was voor de meteorologische diensten. Zo'n netwerk bestaat uit vier of vijf geostationaire satellieten en minstens twee polaire satellieten. Op dit moment is zo'n netwerk gerealiseerd (op een Russische geostationaire satelliet na). Met dit netwerk kan de hele aarde van boven af in de gaten worden gehouden, dankzij de opnamen die de satellieten naar de grondstations verzenden. Verder zijn metingen voorhanden van een aantal belangrijke meteorologische grootheden. De computermodellen van de atmosfeer zijn belangrijke klanten van de weersatellieten.

Onderzoekingen op het Europese Centrum voor weersverwachtingen op middellange termijn, dat ook de computerberekeningen uitvoert waarop de

routeringsverwachtingen van het KNMI zijn gebaseerd, toonden aan dat de bruikbaarheid van de verwachte weerkaarten boven de oceanen door het gebruik van satellietwaarnemingen met 1,5 dag toeneemt tot 7 dagen. Toch is er voor deze toepassing van de satellietgegevens behoefte aan een verdere verfijning van de meetinstrumenten en meetmethodes. Vooral de vochtigheidsbepaling is voor gebruik in de weermodellen veel te grof; de nauwkeurigheid zou moeten worden opgevoerd van 60 naar 90 procent. Ook accurate windgegevens en gronddrukken uit satellietgegevens, nu nog toekomstmuziek, zouden de kwaliteit van de verwachte weerkaarten aanzienlijk kunnen verhogen.

De verbetering van wat haalbaar is met behulp van geavanceerde instrumenten en meettechnieken mag echter niet ten koste gaan van de voortzetting van het bestaande operationele satellietnetwerk. Alleen met het instandhouden van dit satellietwaarnemingsstelsel zijn al aanzienlijke bedragen gemoeid, omdat de levensduur van een satelliet globaal op drie jaar wordt gesteld. Zonder tegenslag van mislukte lanceringen of van satellieten die te vroeg de geest geven komt dit neer op twee à drie satellieten per jaar. Zowel de voortzetting van het huidige satellietprogramma als de verbetering en uitbreiding van de metingen hebben voor de diverse meteorologische diensten een hoge prioriteit.