

40 Jaar ontwikkeling in de operationele meteorologie

Deel 1: Waarnemingen

Ruud Ivens (ex-KNMI)

De operationele meteorologie heeft de afgelopen 40 jaar een grote ontwikkeling doorgemaakt. Enerzijds door de toegenomen kennis uit meteorologisch onderzoek, anderzijds door toepassing van een zich steeds verder ontwikkelende technologie, waardoor de nieuwe kennis voor praktisch gebruik beschikbaar kon komen. Denk bij dat laatste vooral aan de exponentiële ontwikkeling in de rekenkracht van computers, waardoor rekenmodellen bijna real-time de toestand van de atmosfeer met grote nauwkeurigheid kunnen beschrijven en voorspellen tot ruim een week vooruit. Ook niet te vergeten: de snelle wereldwijde datacommunicatie en gegevenspresentatie. Achtereenvolgens zal in afzonderlijke afleveringen aandacht worden besteed aan de volgende aspecten van de operationele meteorologie: waarnemingen, datacommunicatie, werkmethoden en de weerkamermeteoroloog. Het wordt geen nauwgezette historische uiteenzetting: de nadruk ligt vooral op verschillen tussen toen en nu, juist om de stormachtige ontwikkeling te benadrukken die zich binnen één meteorologengeneratie heeft voltrokken.

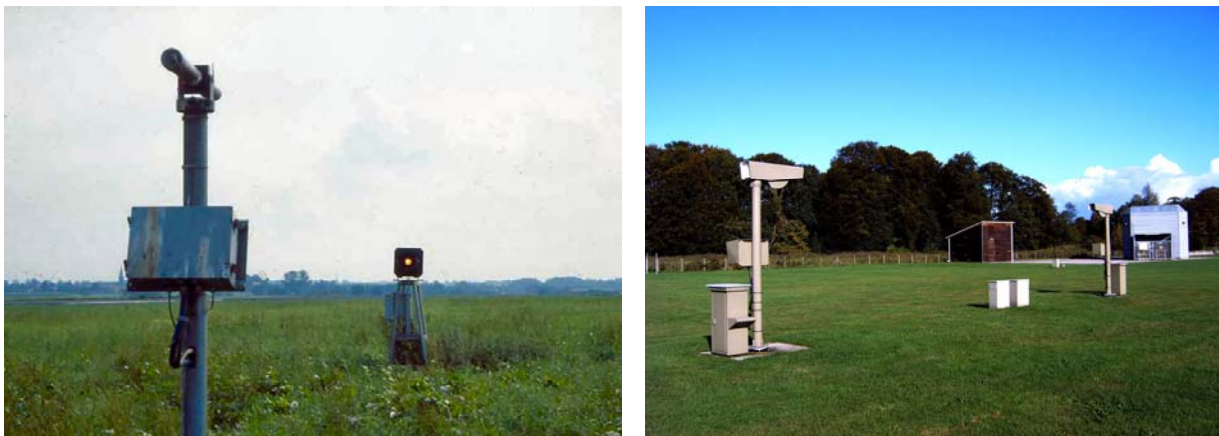
Waarnemingen aan het aardoppervlak

Rond 1965 was het waarnemen van de weersomstandigheden nog voor 99% puur mensenwerk. Voor zover er al gebruik werd gemaakt van instrumenten, dienden die vooral ter ondersteuning; het aflezen en verwerken van de informatie gebeurde nog geheel door de daartoe speciaal opgeleide waarnemer. Temperatuur, luchtvochtigheid, luchtdruk en wind werden toen wel al instrumenteel bepaald en automatisch geregistreerd, maar het verwerken ervan ten behoeve van de berichtgeving was nog mensenwerk. Daarbij behoorde ook het uitvoeren van diverse correcties en het omzetten van de informatie voor specifieke doelgroepen. De luchtvaart, bijvoorbeeld, heeft voor het instellen van de hoogtemeters in de vliegtuigen niets aan de luchtdruk op zeeniveau, als de landingsbaan boven of onder zeeniveau ligt. Voor die gevallen moest de waarnemer uit de aflezing de luchtdruk op het werkelijke hoogteniveau van het vliegveld bepalen. Maar voor de synoptische berichtgeving is juist weer de naar zeeniveau gecorrigeerde luchtdrukwaarde van belang. Een ander voorbeeld is het omzetten van de gemeten "natte-boltemperatuur" in combinatie met de luchttemperatuur naar andere grootheden om de luchtvochtigheid aan te geven: dauwpuntstemperatuur en relatieve vochtigheid. Ook het bepalen van de gemiddelde windrichting- en snelheid was een handmatige actie, evenals het bepalen van de uitschieters daarin.

De "visuele" waarnemingen van "weer", zicht en bewolking

De visuele kenmerken van het weer werden 40 jaar geleden volledig aan het oordeel van de waarnemer overgelaten. Door een stringente opleiding werd weliswaar gestreefd naar een zo groot mogelijke objectiviteit, maar enige subjectiviteit was niet te vermijden. Zo was er een groot verschil tussen waarnemers met tropenervaring en waarnemers, die alleen in onze contreien ervaring hadden opgedaan, in het bepalen van de regenintensiteit. De WMO had daarvoor weliswaar objectieve normen aangegeven, maar bij gebrek aan real-time registraties was het voldoen daaraan in de praktijk nog niet echt mogelijk. In Engeland is destijds onderzoek verricht naar de perceptie van het neerslagtype "regen en sneeuw gemengd" ofwel smeltende sneeuw. Uit dat onderzoek kwam naar voren dat sommige waarnemers tot dit neerslagtype concludeerden als het neerslagelement nog slechts 10% ijs bevatte (nauwelijks nog te zien) en andere waarnemers de grens legden bij 40% ijs.

Voor het vaststellen van het meteorologisch zicht werd gebruik gemaakt van zichtkenmerken in de omgeving waarvan de afstand tot de waarneemlocatie bekend was. Ook hierbij wordt opgemerkt dat individuele verschillen in zichtvermogen tussen de waarnemers geen bijdrage leverden aan de objectiviteit van de waarneming. Bij duisternis was de waarnemer afhankelijk van willekeurige lichtbronnen in de omgeving. Deze hadden natuurlijk geen gestandaardiseerde lichtsterkte, waardoor de waargenomen zichtwaarde richtingsafhankelijkheid kon vertonen. Ten behoeve van het vliegverkeer op luchthavens is het zicht op de landingsbaan belangrijk. Voor het bepalen van het zicht op de landingsbaan werd gebruik gemaakt van de baanverlichting, immers dat is de baanmarkering waarvan ook het vliegverkeer gebruik maakt. Omdat de landingsbaan gemarkeerd wordt door verlichting van een bekende sterkte is deze "Runway Visual Range" objectiever vast te stellen dan het gewone meteorologisch zicht. Wel moest onder dergelijke omstandigheden een waarnemer tussen de vliegbewegingen door de baan op om het aantal zichtbare lampen te tellen en deze waarneming door te geven aan de luchtverkeersleider. Daartoe stond de betreffende waarnemer in permanent radiocontact met de verkeersleiding, natuurlijk ook vanwege zijn persoonlijke veiligheid. Het verhaal gaat dat menige waarnemer heeft moeten rennen voor zijn leven, wanneer een aanstormend vliegtuig niet tijdig door de verkeersleider aan de baanwaarnemer gemeld was. Aan een dergelijke oncomfortabele situatie is vanaf ongeveer 1965 een einde gekomen met de introductie van transmissometers, die op verschillende plaatsen langs de landingsbanen werden opgesteld (figuur 1). Aldus kon de waarnemer de RVR op veilige wijze vanaf zijn normale werkplek vaststellen. De transmissometer is nog steeds een veel gebruikt instrument om het baanzicht op vliegvelden vast te stellen.



Figuur 1. Eerste generatie transmissometer, eind jaren '60 (*links*) en huidige transmissometer (*rechts*).

De wolkenwaarneming rond 1965 was ook een verhaal apart. Kennis van het type bewolking was voor de weerkamermeteoroloog van groot belang voor de weersverwachting voor de korte termijn, zeg tot maximaal 24 uur vooruit. Het wolkentype "Cumulonimbus" was ook specifiek van groot belang voor de berichtgeving aan de luchtvaart. Ook nu nog wordt dit wolkentype speciaal gemeld in de luchtvaartberichtgeving, evenals het voorstadium daarvan, "Towering Cumulus".

Het bepalen van de hoogte van de wolkenbasis was voor de waarnemers vooral een kwestie van veel oefenen tijdens de opleiding en ervaring opdoen, waarbij oudere waarnemers er niet voor terugschrokken de verondersteld minder ervaren collega's terecht te wijzen. Bij duisternis werd ook wel het wolkenlicht ingezet, dat bij niet al te hoge bewolking de wolkenbasis markeerde met een lichtvlek. Door simpele driehoeksmeting kon aldus een goede indicatie worden verkregen van de hoogte van de wolkenbasis. Op vliegvelden werd onder omstandigheden die het vliegverkeer marginaliseerden ook wel gebruik gemaakt van een

loodsballon, 's nachts zelfs voorzien van een batterijlampje. Uitgaande van een bekende stijgtijd van de ballon kon de wolkenhoogte vrij nauwkeurig worden bepaald door de tijd te meten tussen het loslaten van de ballon en het moment van onzichtbaar worden in de bewolking. Veelal boden piloten van landende of opstijgende vliegtuigen ook nog een helpende hand door via de verkeersleiding de hoogte door te geven waarop men grondzicht kreeg of juist verloor.

Juist rond 1965 kreeg de waarnemer op belangrijke posten, zoals vliegvelden, hulp van een instrument: de ceilometer. Dit instrument zond krachtige lichtpulsen uit en ontving ook het door de bewolking teruggestrooide licht. Het instrument scande om de paar seconden de hemel af door regelmatig te bewegen van elevatie 0° naar elevatie 90°. De elevatie waarbij het teruggestrooide signaal een bepaalde drempel overschreed was de basis voor de bepaling van de wolkenhoogte. Het teruggestrooide signaal werd weergegeven op een registratiestrook die door de waarnemer moest worden geïnterpreteerd, immers digitale bewerking was toen nog niet aan de orde.



Figuur 2. Present weather station voor de waarneming van zicht en neerslagsoort.

Automatisering van de "visuele" waarneming

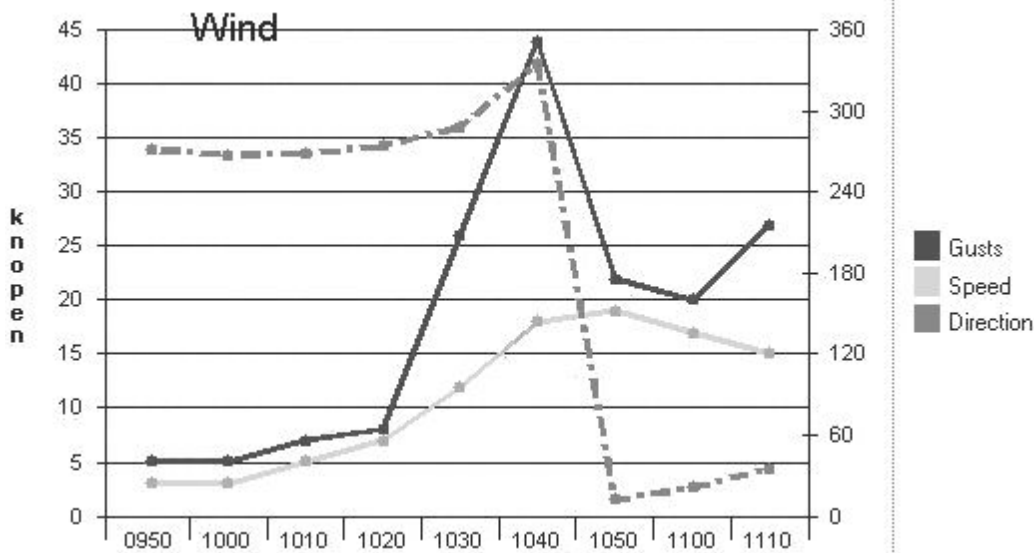
Tegenwoordig is de waarneming van het weer vérgaand geautomatiseerd. In eerste instantie kwamen daar de eenvoudig elektrisch te meten grootheden voor in aanmerking: temperatuur, luchtvochtigheid, luchtdruk, globale straling en wind. In de laatste decade van de vorige eeuw kwam ook de ontwikkeling van "Present Weather Sensoren" (PWS) in een stroomversnelling, hetgeen heeft geleid tot operationeel bruikbare instrumenten voor de bepaling van "het weer" en meteorologisch zicht (figuur 2). Weliswaar heeft een PWS enige beperkingen, zoals het feit dat het instrument een "puntmeting" verricht en het bijvoorbeeld bij mist niet altijd representatief is voor een wat wijdere omgeving. Een andere beperking komt tot uiting in het feit dat de huidige instrumenten nog moeite hebben met het waarnemen van hagel. Deze als nadeel te beschouwen beperkingen worden grotendeels gecompens-

seerd door niet onbelangrijke voordelen, met name de grote mate van objectiviteit en het nóg grotere voordeel van de hoge updatefrequentie van de metingen. In principe is om de 10 seconden een nieuwe meetwaarde beschikbaar. Een dergelijk hoge update-frequentie is nuttig voor het bewaken van het lokale weer op een vliegveld. Voor algemeen meteorologische toepassing is in Nederland echter gekozen voor verversing om de 10 minuten. Dit is wel 6 maal vaker dan in de situatie vóór de automatisering van de synoptische waarnemingen. Werd de waarneming voorheen 1 keer per uur via een telexbulletin gedistribueerd (figuur 3), nu kan de meteoroloog de ontwikkeling per 10 minuten volgen via een beeldscherm (figuur 4).

```

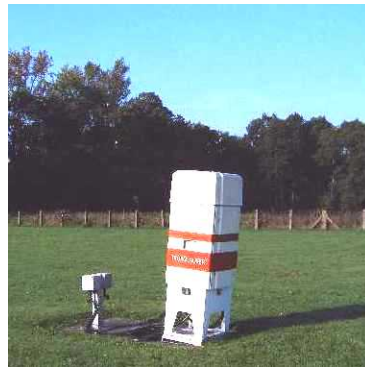
PCZC
smhl 4 endb 221200
synop
06380 72712 70262 94601 27120 01007 703// 82703 87557 55007
06280 83523 56697 86903 4732/ 02228 704// 84709 88515 91135
sleet=
06240 nil=
06344 nil=
06330 nil=
06260 83514 65878 93003 894// 02223 704// 88912 91125 550/8
06325 73313 70258 96805 49472 02112 703// 82916 85070 91135
past hail and sleet=
06328 /3320 91142 91233=
06310 83517 58279 97904 5947/ 02115 703// 83910 88463 550/8
06300 73555 96259 01307 79300 03115 799// 99720 99299 90321
00/00 4111/-
06308 /3535 91148 91240=
06230 73540 62989 92704 69470 01225 794// 86913 91157 91240
hail=
06220 83646 97028 95806 893// 01230 792// 30807 00/00 4100//
06245 80143 97278 92905 893// 03228 703// 30808 00/00 4100//
99720=
06250 80248 30898 90503 893// 02225 91152 91240=
06229 /35// 911// 912//=
06202 /3434 91151 91237=
06240 83525 70269 93503 2947/ 50220 703// 81816 81920 88458
91146 91231 550/P sleet past hail=
06225 80139 56818 94004 894// 03227 91150=
06344 83627 65878 94902 69472 00219 702// 82710 85918 91137
06330 73430 58258 95306 79300 //115 91142=
06260 83514 65878 93003 894// 02223 704// 88912 91125 550/8
06272 83314 57808 89104 6732/ 03217=
    
```

Figuur 3. Bulletin met SYNOP-waarnemingen, éénmaal per uur.



Figuur 4. SYNOP-waarnemingen nu, per 10 minuten; het betreft de windregistratie van het station Stavenisse (Tholen) tijdens het langstrekken van een windhoos boven de Oosterschelde op 23 maart 2004.

Ook de wolkenmeting heeft een vergelijkbare ontwikkeling doorgemaakt. De huidige wolkenmeters maken nog steeds gebruik van de verstrooiing van licht aan de wolken-deeltjes, waarbij tegenwoordig een krachtige en smalle gepulste laserbundel wordt toegepast. Het meetprincipe is wel anders dan bij de oude ceilometers. Er wordt met het huidige instrument geen elevatiescan meer gemaakt, maar de laserbundel heeft een vaste, vrijwel loodrechte, richting (figuur 5). Ook hier is dus sprake van een puntmeting. De hoogte van de bewolking wordt nu afgeleid uit de verstreken tijd tussen het uitgaande en terugkomende signaal. Was bij de oude ceilometers het verticale bereik ongeveer 2 kilometer, bij de huidige instrumenten is meer dan 10 kilometer de norm. De bedekkingsgraad van een bepaalde wolkenlaag wordt berekend uit de tijdsduur dat het instrument in het voorafgaande halfuur op die hoogte bewolking heeft geconstateerd. Deze meetmethode voor de bedekkingsgraad functioneert goed als er voldoende beweging aanwezig is op het wolken-niveau. Is dat niet het geval dan kunnen er bij gebroken bewolking fouten ontstaan.



Figuur 5. Wolkenmeter anno nu; merk op dat het apparaat ongeveer 5 graden uit het lood staat; dit dient er toe dat neerslagelementen de wolkenmeting niet verstoren.

Met deze automatiseringsslag van de wolkenmeting zijn we wel de informatie van het wolkentype kwijtgeraakt (zo wordt Ac cas. niet meer gezien). Toch wordt dit niet als een al te groot verlies beschouwd, omdat de daaruit af te leiden informatie tegenwoordig ook uit veel andere bronnen te vergaren is, zoals uit satellietinfo en kleinschalige rekenmodellen.

Bovenluchtwaarnemingen

Voor waarnemingen van de atmosferische grootheden in de bovenlucht was men in 1965 nog geheel afhankelijk van radiosondes. In die tijd waren dat nog robuuste instrumenten die in buizentechniek waren uitgevoerd. Erg kostbaar, daarom ging elke radiosonde vergezeld van een verzoek aan de vinder om een neergedaalde radiosonde tegen een kleine vergoeding terug te zenden naar het meteorologische instituut. Na eventuele reparatie en herijking kon het instrument opnieuw worden ingezet. Er was ook een grote verscheidenheid aan radiosondes. De meest toegepaste konden worden uitgedrukt in de categorieën: Amerikaans, Engels en Russisch. Met name de gedragingen van de sensoren vertoonden daarin duidelijke verschillen, maar omdat de verschillen zo opvallend en bekend waren kon de weerkamermeteoroloog er best mee uit de voeten. Voor het bepalen van de windrichting en -snelheid op diverse hoogten moet op elk moment tijdens de stijgbeweging de positie van het instrument bekend zijn. De radiosonde werd daarom aanvankelijk met een theodoliet gevolgd en bij bewolking en grotere hoogten met radar. Al in de jaren '60 is wereldwijd overgegaan op radiografische plaatsbepaling. Radiosondes worden nog steeds intensief gebruikt, al dunt het netwerk sinds de intrede van remote sensing technieken wel geleidelijk aan uit. Het zijn door miniaturisering ook "wegwerpartikelen" geworden, bestemd voor eenmalig gebruik.

Naast radiosondewaarnemingen voor de toestand van de bovenlucht, verrichten ook lijnvliegtuigen waarnemingen van temperatuur en wind, natuurlijk ook weer uit een gedeeld belang. Deze waarnemingen, de AIREPS, werden op een vast "raster" verricht, bij het passeren van elke 5° lengtegraad en werden vervolgens, met soms wel uren vertraging via verkeersleidingcentra of de "Operations" van de luchtvaartmaatschappij het meteorologische communicatiecircuit op gestuurd. Ook hierin heeft de automatisering, zij het schoorvoetend, haar intrede gedaan. Een aantal lijnvliegtuigen, doorgaans van de grotere luchtvaartmaatschappijen, is uitgerust met het AMDAR-systeem. Dit systeem verzorgt een continue gegevensstroom naar de grondstations omtrent temperatuur en windsnelheid tijdens de gehele vlucht, ook tijdens het opstijgen en de landing. Daarmee krijgt de meteoroloog extra verticale profielen tot zijn beschikking, die een welkome aanvulling zijn op het bestaande, maar uitdunnende radiosondenetwerk.

Remote sensing

Het gebied van de voor de operationele meteorologie toegepaste remote sensing technieken omvatte in 1965 de neerslagradar, een "primitieve" vorm van satellietmeteorologie en idem onweersdetectie op afstand.

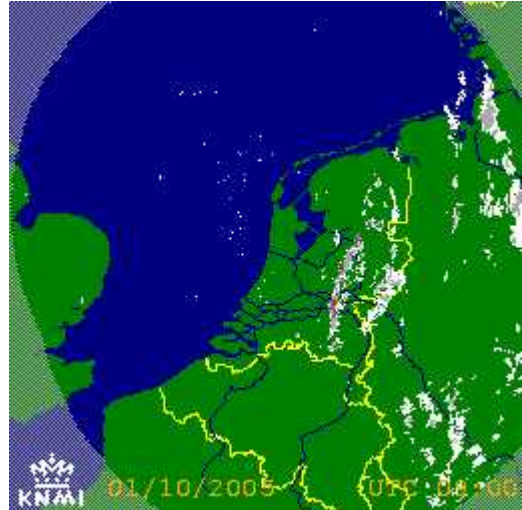
De neerslagradar

De neerslagradar was in 1965 nog geheel handbediend (figuur 6, zie ook voorzijde). De bediening van de neerslagradar was voor de betrokken waarnemer een aparte tak van sport. Je moest niet alleen weten hoe je de apparatuur met al zijn afregelknoppen optimaal moest benutten, maar je moest ook nog over een snelle tekenvaardigheid (en zelfs in voldoende mate over voorstellingsvermogen) beschikken. Elektronische distributie van de radarbeelden was er toen nog niet bij. De gedetecteerde neerslagpatronen werden met analoge techniek gepresenteerd op een beeldbuis. De verschillende neerslagintensiteiten werden bepaald door de ontvangen signalen in vaste stappen te verzwakken. De waarnemer tekende de gepresenteerde patronen over op papier. De aldus vastgelegde informatie werd per fax of gesloten TV-circuit gedistribueerd naar alle nationale belanghebbenden. Het is duidelijk dat deze procedure geen hoge verversingscyclus toestond: een half uur. Bij een grote hoeveelheid buien boven het te bewaken gebied duurde alleen het overtekenen al ongeveer een kwartier. Als de buien zich daarbij ook nog eens snel verplaatsten, was de betrouwbaarheid van de lokalisering twijfelachtig. Neem als voorbeeld een treksnelheid van 60 km/uur. Dat betekent dat een aan het begin getekende bui na een kwartier alweer 15 km verplaatst was.

In de jaren '80 is ook bij de neerslagradars de automatisering ingetreden. De digitalisering van de signalen maakte een snelle distributie van de data mogelijk en presentatie op elke gewenste werkplek, zonder menselijke tussenkomst (figuur 6). Ook het vooraf uitfilteren van "valse" structuren, zoals grondreflecties, en het koppelen van de informatie afkomstig van meerdere radars werd daardoor mogelijk. De tegenwoordige verversingscyclus van de radarinformatie is in Nederland vijf minuten, waardoor het beeld dat de weerkamer-meteoroloog voorgeschoteld krijgt steeds in hoge mate actueel is. Het feit dat het in een "loop" plaatsen van deze elkaar snel opvolgende beelden een film genereert, heeft als belangrijk winstpunt dat snelle ontwikkelingen prachtig kunnen worden gevolgd: zeer nuttig voor de "nowcasting" en waarschuwingen.

Detectie onweersontladingen op afstand

In de jaren '60 bestonden reeds enkele systemen om bliksemontladingen op afstand te detecteren. De werking van deze systemen was gebaseerd op de detectie van de door de elektrische ontladingen gegenereerde radiosignalen. Voor lokaal gebruik bestond er de zogenoemde bliksemteller. Deze gaf aan dat er in de nabijheid - tot maximaal 50 km - van de ontvanger bliksemontladingen plaatsvonden en tevens hoe vaak dat in een bepaald tijdsbestek gebeurde. Dit systeem moest vooral worden gezien als een belangrijke hulp voor de waarnemer: het verhoogde de attentie op onweer in naderende buien. Vooral op vliegvelden of andere plaatsen met veel omgevingslawaai geen overbodige luxe.



Figuur 6. Radardisplay in 1965 (*links*) en in de huidige weerkamer (*rechts*).

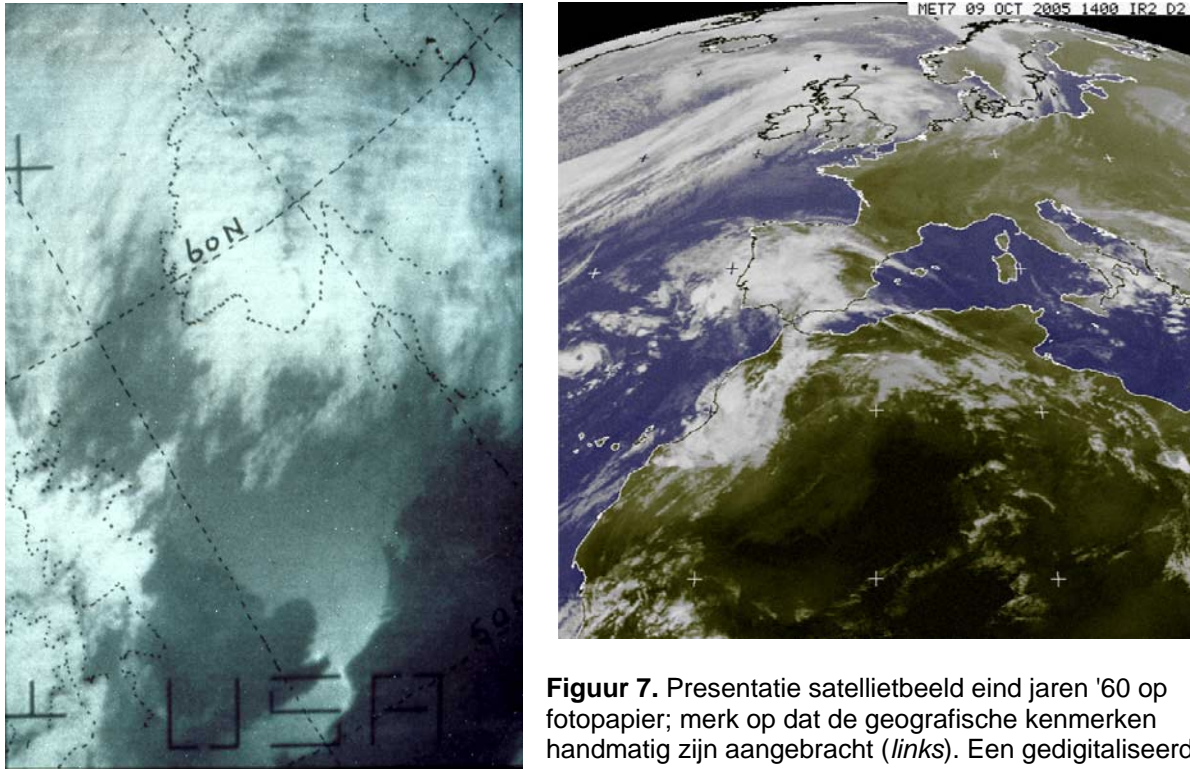
Daarnaast bedreven de Britten een systeem om onweer op grote afstand te detecteren. In Engeland, op Gibraltar, Malta en Cyprus waren peilstations ingericht waarmee niet alleen het aantal ontladingen per tijdseenheid, maar ook de richting van waaruit de radiosignalen arriveerden kon worden bepaald. Door middel van kruispeiling vanuit tenminste twee van de betreffende stations werd de geografische positie van de onweershaarden bepaald. De nauwkeurigheid van de plaatsbepaling bedroeg ongeveer 50 km, doorgaans voldoende voor gebruik op synoptische schaal, zeker in de gebieden met weinig andere waarnemingen. Deze onweerswaarnemingen werden uurlijks internationaal verspreid via de synoptische datanetwerken, zodat ze beschikbaar kwamen voor alle meteorologische diensten: de "sferic-berichten". Die werden dan ook prompt in de weerkaarten geplott.

De afgelopen 15 jaar zijn er technieken ontwikkeld waarmee de positie van bliksemontladingen kan worden bepaald met een nauwkeurigheid van 2 km of beter binnen een gebied van circa 100 km in het ontvangstnetwerk (zie ook *het artikel van Noteboom e.a. elders in deze Meteorologica*). Ook hierbij wordt gebruik gemaakt van netwerken van meerdere ontvangststations voor de radiosignalen van bliksemontladingen. De positie van de ontladingen wordt nu bepaald vanuit de tijdverschillen - orde microseconden - waarmee het signaal van een ontlading op de diverse ontvangststations arriveert. Tevens is het met dit systeem in zekere mate mogelijk om zelfs de aard van de bliksemontlading vast te stellen: horizontaal of verticaal, positief of negatief gericht. In sommige gevallen kan het systeem zelfs het pad van - doorgaans horizontale - ontladingen bepalen, met name als de ontladingen zich over meerdere kilometers uitstrekken. Een voorwaarde voor een betrouwbare werking van het systeem is dat het radiosignaal op tenminste drie stations wordt gedetecteerd. Het spreekt tevens vanzelf dat de klokken van de ontvangstinstallaties tot op de microseconde synchroon moeten lopen. Dit wordt gerealiseerd door gebruik te maken van de GPS-satellieten (Global Positioning System). Het ligt voor de hand om de gegevens van dit bliksemwaarneemsysteem real-time te presenteren samen met de data van de neerslagradar. Aldus heeft de meteoroloog er een zeer nuttig hulpmiddel voor de nowcasting bij gekregen.

Satellietwaarnemingen

In 1965 had men nog slechts de beschikking over polair omlopende weersatellieten, die slechts tweemaal per etmaal min of meer recht over ons heen kwamen: TIROS, NIMBUS, ESSA en de NOAA-reeks. Nog niet erg geschikt voor de nowcasting, maar wel reeds een belangrijk hulpmiddel bij het verbeteren van de weerkaartanalyses. Aanvankelijk gebeurde de verwerking en presentatie van de beelden in analoge techniek op fotopapier. Distributie naar andere weerkamers vond plaats via de fotofax. Alvorens de foto's te distribueren werd er handmatig een geografisch masker op getekend, zodat de gebruikers zich konden oriënteren (figuur 7). Al met al een bewerkelijk procédé. De satellieten beschikten

aanvankelijk maar over twee "vensters": zichtbaar licht (VIS) en infrarood (IR). In de loop der jaren breidde het aantal vensters zich uit, eerst met nabij-infrarood (NIR), dat prachtig scherpe beelden opleverde met meer "diepte". Later kwamen daar een reeks vensters in het infrarood bij, waarvan het waterdampvenster (WV) bij uitstek geschikt bleek om het bovenste deel van de troposfeer in beeld te brengen. Ook werden satellieten later uitgerust met radar, waardoor "door de wolken heen" kon worden gekeken, bijvoorbeeld om golfhoogten op de oceanen te meten, een indicatie voor de windsnelheid ter plaatse aan het aardoppervlak.



Figuur 7. Presentatie satellietbeeld eind jaren '60 op fotopapier; merk op dat de geografische kenmerken handmatig zijn aangebracht (*links*). Een gedigitaliseerd satellietbeeld van METEOSAT op beeldscherm (*rechts*).

Vanaf circa 1975 kwamen de geostationaire satellieten in beeld, o.a. METEOSAT, GOES en GMS, waarmee vergelijkbare beelden als met de polair omlopende satellieten mogelijk werden met een verversingscyclus van een half uur. Een nadeel daarbij was wel dat de beeldresolutie wegens de aanzienlijk grotere afstand tot het aardoppervlak een stuk minder was in vergelijking met die van de omlopende satellieten: op onze breedte circa 5 km tegen ongeveer 1 km.

Ook op het terrein van de satellietmeteorologie leidde de digitale revolutie tot snelle ontwikkelingen. Niet alleen kon de resolutie stap voor stap verbeterd worden, maar ook de informatieverwerking won aanzienlijk aan snelheid. Tevens kon daarmee de informatie uit verschillende vensters worden gecombineerd, hetgeen de gebruikers de mogelijkheid bood tot beter inzicht in de atmosferische toestand. De combinatie van satellietinformatie met traditionele meteorologische data en modelvelden gaf de operationele meteorologie een nieuwe impuls (daarover in het laatste artikel meer). En, natuurlijk, de snelheidswinst in de informatieverwerking en grotere detaillering maakte dat de satellietmeteorologie, naast de neerslagradar, een belangrijke informatiebron werd voor de nowcasting. Tegenwoordig is de verversingscyclus van de METEOSAT's 15 minuten (figuur 7). In de beginsituatie leverden de meteorologische satellieten vooral "plaatjes" op die werden gebruikt als ondersteuning bij de weerkaartanalyses. Tegenwoordig zijn veel satellietdata rechtstreeks voer voor de numerieke modellen.

Radar- en satellietwaarnemingen zijn tot nu toe de meest toegepaste producten van remote sensing voor algemeen meteorologisch gebruik. Weliswaar zijn ook andere remote sensing

technieken ontwikkeld, zoals "wind profilers" en "temperatuur sounders", maar de operationele toepassing van de daarmee te genereren gegevens zijn nog beperkt, mede door de hoge kosten die het opzetten van een gedegen netwerk van deze instrumenten op dit moment nog met zich meebrengt.

Waarnemingen op zee

Het lijkt me overbodig om de lezers van Meteorologica uit te leggen dat belangrijke processen die bepalend zijn voor "ons weer" zich boven wateroppervlakten afspelen. Er is daarom vanaf het begin van de operationele meteorologie anderhalve eeuw terug veel aandacht geweest voor de uitwisseling van waarnemingen van het weer op zee. Wereldwijd worden er waarnemingen verricht door honderden koopvaardij- en marineschepen. Die waarnemingen zijn vergelijkbaar met de synoptische waarnemingen op het land, in de meeste gevallen aangevuld met golf- en zeewatertemperatuurgegevens. Daarnaast was er in 1965 ook nog een vijftiental specifieke weerschepen actief op de oceanen. Deze namen vaste posities in en verrichten naast de normale synoptische waarnemingen ook radiosondewaarnemingen. Alleen al op het noordelijk deel van de Atlantische Oceaan waren destijds 10 weerschepen actief. Ook Nederland droeg hieraan bij en had daartoe twee weerschepen in bedrijf, de Cirrus en de Cumulus. Naast de taak tot het verrichten van weerwaarnemingen speelden de weerschepen op de oceaan ook een belangrijke rol als navigatiebaken voor de transatlantische luchtvaart. De kosten voor de weerschepenoperatie werden dan ook deels gedragen door de luchtvaartbranche.

Het einde van het weerschepentijdperk

Met de komst van weer- en navigatiesatellieten werden de weerschepen gaandeweg minder belangrijk en het netwerk dunde in de periode tussen 1970 en 1990 geleidelijk aan uit tot uiteindelijk de weerschepen uit het waarneembeeld verdwenen.

De radiosondewaarnemingen werden vervangen door metingen vanuit satellieten en de waarnemingen aan het aardoppervlak voor een deel door drijvende boeien met meetinstrumenten voor temperatuur, luchtdruk en wind. Daarnaast zijn wel de waarnemingen door koopvaardij- en marineschepen voor een groot deel in beeld gebleven.

Vaste waarneemstations op zee

Een laatste aspect van de waarnemingen op zee betreft de waarnemingen vanaf vaste platforms op, met name, de Noordzee. Dit netwerk is rond 1980 ingericht en is een gezamenlijke activiteit van de overheden van de Noordzeelanden en oliemaatschappijen. De metingen zijn doorgaans geautomatiseerd en betreffen de temperatuur, luchtvochtigheid, luchtdruk en wind en in een aantal gevallen ook de toestand van de zee (watertemperatuur en golven). Recent is ook een aanvang gemaakt met het automatisch verrichten van zichtweer- en wolkenwaarnemingen met vergelijkbare apparatuur als bij de Nederlandse synoptische stations op het land.

Het platform F3 ten noorden van de Waddeneilanden is als eerste als zodanig uitgerust en er zijn vergevorderde plannen ook een viertal andere platforms op het zuidelijk deel van de Noordzee met instrumenten voor het doen van volledige synoptische waarnemingen uit te rusten.

In de volgende aflevering van Meteorologica komt de ontwikkeling van de datacommunicatie ten behoeve van de operationele meteorologie aan bod.