

ming zuidwestelijk en verdween de winter. Op de 28^e trok een stormdepressie van het noordwesten van Spanje via ons land noordoostwaarts. Het windveld aan de zuidzijde richtte in Duitsland, Spanje en vooral Frankrijk veel schade aan en er vielen meer dan 50 doden. Het zuiden van Limburg kreeg er ook wat van mee.

Maart 2010

Begin maart breidde het hoog op de noordelijke Atlantische Oceaan zijn invloed wederom zuidwaarts uit. Tot en met 11 maart hadden we een noord- tot noordoostelijke stroming. Op de 4 maart liet een depressie die over Duitsland zuidwaarts trok daar een flinke laag sneeuw achter waar ook het noordoosten van Nederland wat van mee kreeg. De volgende dagen werd de lucht in ons land van over het met sneeuw bedekte land aangevoerd. In het oosten bleven daardoor de etmaalgemiddelde temperaturen beneden nul.

Modelverwachtingen

In de seizoensverwachtingen van de diverse grote centra waren er in november enige indicaties die duiden op een koude winter. Hierbij moet worden opgemerkt dat de *skill* van deze verwachtingen voor onze omgeving laag is. Voor de 2m-temperatuur van de ECMWF-

verwachting van november voor DJF is de gemiddelde correlatie over de jaren dat deze verwachting gemaakt wordt met de opgetreden anomalie ongeveer 0,3. In de ECMWF seizoensverwachting van de 2m-temperatuur zien we geen enkele aanwijzing voor een koude winter in West-Europa. Wanneer we echter naar de verwachting van de afwijking van de ensemble-gemiddelde hoogte op 500 hPa kijken zien we de anomalie in het hoogtepatoon duidelijk terug, al is deze niet zo sterk als waargenomen (figuur 8). Ook de kansverdeling (ensemble van de uitvoer van meerdere modellen) van het *International Research Institute for Climate and Society* week weinig af van de normale kansverdeling. De verwachting van UKMO voor de NAO-index was 1,4 met een standaardfout van 1.

Het Ensemble gemiddelde GloSea4 model UKMO laat een patroon van luchtdruk- en temperatuur-anomalie zien dat min of meer overeenkomt met de opgetreden waarden, al zijn de verwachte afwijkingen boven Nederland gering. In de weersverwachtingsmodellen gaf het winterweer aanleiding tot enkele opmerkelijke verschijnselen. In het operationele ECMWF-model vormde zich boven delen van West-Europa een onrealistisch dikke sneeuwlaag. In de loop van februari was deze in het noordwesten van

Nederland aangegroeid tot circa 2 m. De oorzaak hiervan was dat de sneeuw in het model te weinig smolt in combinatie met te weinig bruikbare grond- en satellietwaarnemingen. De dikke sneeuwlaag zorgde ervoor dat de temperatuur in het model aan en bij het oppervlak vaak onrealistisch laag werd. In het Hirlam-model smolt de sneeuw juist veel te snel weg. Door het gebrek aan isolatie van het sneeuwdek bevroor het bodemwater in dit model tot op een diepte van circa 1 m. In het voorjaar zorgde dat ervoor dat de temperatuur aan het oppervlak, vooral in heldere stralingsnachten, veel te laag werd. In beide modellen werden de onrealistische waarden uiteindelijk handmatig verwijderd.

Gebruikte informatie voor zover niet genoemd: artikelen sneeuwrubriek Weerspiegel van dezelfde auteur. Zie ook het seizoensoverzicht op pagina 26.

Met dank aan R. Sluiter en D. Wolters voor de bewerking van de data.

Literatuur

Ulden, A.P. van, 2009: The Construction of a Central Netherlands Temperature, KNMI-WR 2009-03.
AO/NAO: <http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/telepatcalc.shtml>.

Satellieten detecteren aswolken

KEES FLOOR

Bij het detecteren en volgen van vliegverkeerbedreigende vulkanische as is een belangrijke rol weggelegd voor remote sensing vanuit de ruimte. Dankzij de recente uitbarstingen van de Eyjafjallajökull op IJsland in april en mei van dit jaar, kregen we een mooi overzicht van de state-of-the-art.

Sinds er eind jaren zeventig van de vorige eeuw geostationaire weersatellieten in gebruik zijn genomen, zijn de beelden in het zichtbaar licht en het infrarood van die satellieten onder andere gebruikt voor het opsporen van vulkanische as. Deze as vormt namelijk een gevaar voor het vliegverkeer. Vooral na twee bijna-ongelukken door uitgevallen straalmotoren in 1982 (British Airways, Galunggung, Java) en 1989 (KLM, Mt. Redoubt, Alaska) zat de schrik er in de luchtvaartwereld goed in. De satellietinformatie vormde een waardevolle aanvulling op de incidentele waarnemingen van piloten en vulkanologen; de webcam moest nog worden uitgevonden.

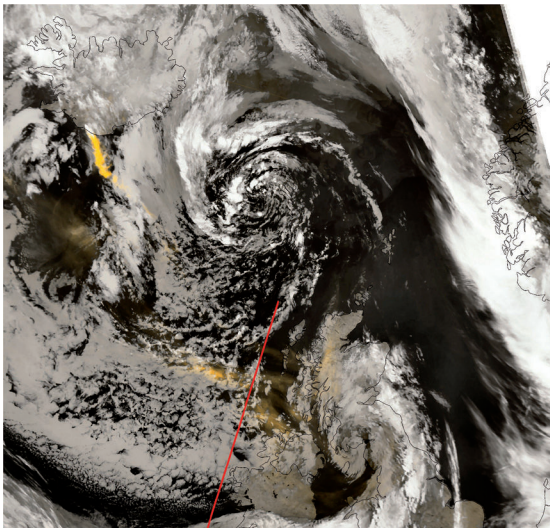
De eerste keren dat het nut van satellietbeelden na grote vulkaanuitbarstingen

kon worden beproefd, was in mei 1980 bij de Mt. St. Helens in de Verenigde Staten en in maart 1982 bij de El Chicón in Mexico. De dikke aspluimen waren direct na de erupties op de satellietbeelden goed te zien. Na verloop van tijd, soms al na enkele uren, gaat een dergelijke pluim over in een meer diffuse aswolk. Zo'n wolk laat zich veel moeilijker lokaliseren in beelden die gebaseerd zijn op stralingsmetingen in slechts één golflengtegebied; ze kunnen gemakkelijk verward worden met sluierbewolking of te weinig afsteken tegen de ondergrond, vooral boven land.

Split-window

Geleidelijk aan werden de polaire en geostationaire weersatellieten voorzien van instrumenten met meer zichtbaar-

licht- en infraroodkanalen. Bij de keuze van de golflengtegebieden speelde de detectie van vulkanische as overigens nog geen rol; steeds ging het om een bijproduct van instrumenten die eigenlijk bedoeld waren voor 'gewone' meteorologische waarnemingen. Toch bleken belanghebbenden bij aswolken er al mee vooruit te kunnen. Bij vergelijking van metingen in verschillende infraroodkanalen vond men namelijk dat de vulkanische as in het 12 μm -infraroodkanaal iets warmer toont dan in het 11 μm -kanaal. Dat komt doordat de as meer warmtestraling verstrooit en absorbeert bij kortere golflengtes. Als het schijnbare temperatuurverschil 1 graad bedraagt of meer, is dat een aanwijzing voor vulkanische as; wolken van water en ijs tonen dit gedrag namelijk niet. Op deze zoge-

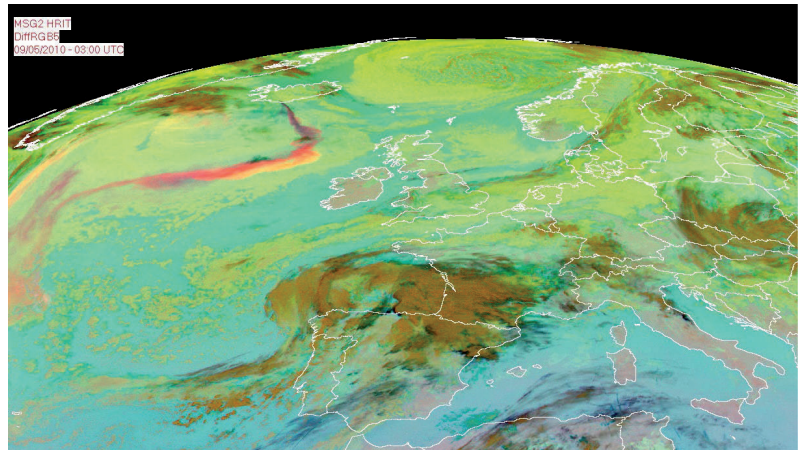


Figuur 2. Infraroodbeeld van IJsland en de Britse Eilanden. Nederland bevindt zich geheel rechtsonder. Bij het construeren van het satellietbeeld zijn gegevens uit verscheidene infraroodbanden gebruikt. Vulkanische as is oranje. **Figuur 7** geeft een dwarsdoorsnede langs de rode lijn boven de Oceaan ten westen van Ierland. Datum: 16 mei 2010. Instrument: MODIS. Satelliet: Aqua (bron: NASA).

heten split-windowmethode gebaseerde satellietproducten kwamen beschikbaar als hulpmiddel voor het detecteren van vulkanische as. Ze werden bijvoorbeeld gebruikt om de verspreiding in kaart brengen van de as die vrijkwam bij de uitbarsting van Mt. Spurr in Alaska in september 1992.

Meer infraroodbanden

De split-windowmethode vereiste echter veel handwerk van dure meteorologen en ontwikkelaars en vertoonde te veel beperkingen om bruikbaar te kunnen zijn voor bijvoorbeeld geautomatiseerde detectie. Zo kan een aswolk geheel schuil gaan achter bewolking, te ijl zijn of te kleinschalig om bij de beschikbare resolutie te kunnen worden opgemerkt.



Figuur 3. Vulkanische as boven de Atlantische Oceaan. Bij het construeren van het satellietbeeld zijn gegevens uit verscheidene infraroodbanden gebruikt. Vulkanische as is oranje of zalmrose. Datum 9 mei 2010. Instrument: SEVIRI. Satelliet: METEOSAT-9 (bron: EUMETSAT 2010).

Als gevolg daarvan werden met deze aanpak in sommige gevallen aswolken gemist terwijl in andere situaties sprake was van een vals alarm.

Rond de eeuwwisseling maakte men een begin met het verbeteren van de split-windowmethode door infraroodinformatie toe te voegen uit andere golflengtegebieden die gevoelig zijn voor vulkanische as of andere bestanddelen van aswolken, zoals zwaveldioxide en sulfaten. Daartoe werden stralingsmetingen gebruikt van het 3,9 μm -kanaal van de GOES de NOAA-AVHRR en de METEOSAT-9 en van de 8,7 μm -band van MODIS en METEOSAT-9. Doordat uitsluitend met infrarood werd gewerkt, kon de asdetectie zowel overdag als 's nachts doorgaan.

'Gewone' satellietbeelden worden allang niet meer goed genoeg bevonden om de karakteristieken van aswolken vast te leggen. De informatie uit de infraroodbanden van de MODIS op de

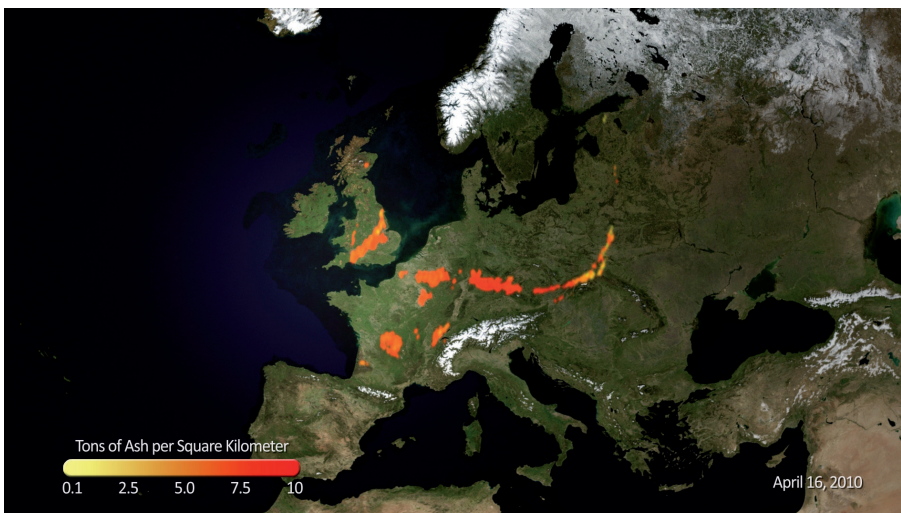
Terra en de Aqua, de AIRS op de Aqua en de METEOSAT-9 wordt daarom ook gebruikt voor het aanmaken van specifieke producten, zoals de asconcentraties, de aanwezigheid van zwaveldioxide (SO_2), de grootte van de asdeeltjes en de hoogte daarvan. Op methoden om de hoogte van een aswolk of SO_2 -concentraties te bepalen komen we verderop terug.

Aerosolen en SO_2

In het voorgaande kwam het gebruik van metingen in het zichtbaar licht en het infrarood aan de orde. Sommige satellieten voeren tegenwoordig ook instrumenten mee die de verstrooiing meten in het zichtbaar licht en het ultraviolet. Voorbeelden zijn de Nederlands-Finse OMI op de Amerikaanse satelliet Aura, de GOME-2 op de Europese MetOp-A en de TANSO-CAI op de Japanse satelliet GOSAT of IBUKI. Uit de meetgegevens wordt informatie afgeleid over onder andere de hoeveelheid aerosolen in de atmosfeer en de hoeveelheid SO_2 . Doordat vulkanen naast as ook gassen uitstoten, waaronder SO_2 , kunnen de metingen daarvan gebruikt worden voor het lokaliseren van een aswolk. Voorzichtigheid blijft geboden; de SO_2 zit namelijk vaak hoger dan de asdeeltjes, zodat de verplaatsing bij sterke windscherping uiteen kan lopen en er verschillen gaan optreden tussen de posities van de as en van de SO_2 .

Hoogte aswolk

De satellietbeelden die tot nog toe werden besproken, zijn bedoeld om te laten zien waar aspluimen en aswolken zich bevinden. Naast de locatie van de as, is ook de al eerder genoemde hoogte ervan belangrijk: misschien is het in sommige gevallen mogelijk over de as heen te vliegen of eronderdoor te gaan. Er blijken op satellieten ook instrumenten meegevoerd te worden die gegevens leveren waaruit



Figuur 4. Concentraties vulkanische as boven Europa op 16 april, twee dagen na de uitbarsting van de vulkaan Eyjafjallajökull op IJsland. De concentraties werden bepaald uit stralingsmetingen in verscheidene golflengtegebieden door de SEVIRI op de Europese geostationaire satelliet METEOSAT-9 (bron: NOAA Environmental Visualization Laboratory).

de hoogte is te bepalen. Zo bekijkt de *Multi-angle Imaging SpectroRadiometer* (MISR) op de Terra de aarde in vier verschillende golflengtegebieden onder zeven verschillende gezichtshoeken. Daarmee kunnen stereoscopische beelden worden gemaakt, waaruit onder andere hoogtes kunnen worden afgeleid. Een geheel andere benadering wordt gebruikt door de Frans-Amerikaanse CALIPSO (*Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations*) satelliet. Op dit satellietplatform is onder andere een LIDAR, de *Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization* (CALIOP), geplaatst, die korte pulsen laserlicht naar de aarde zendt en vervolgens meet hoeveel daarvan weer terugkomt bij de satelliet. De sterkte van het teruggekaatste signaal geeft informatie over aanwezige lagen met bewolking, vulkanische as, rook, stof en andere aerosolen. Uit de tijd die de lichtpuls nodig heeft om de afstand naar de aarde en terug af te leggen, kan de hoogte van de lagen worden bepaald. Op die manier kan een verticale doorsnede van de dampkring worden gemaakt, waarop eventuele aswolken zichtbaar zijn.

Eyjafjallajökull (1): VIS-beelden

De uitbarstingen van de Eyjafjallajökull op IJsland in april en mei van dit jaar brachten de vulkanische as en de methoden om aswolken te detecteren weer volledig in de belangstelling. Bij de erupties kwam mede door de wisselwerking van het hete magma en het koude ijs veel vulkanische as in de lucht terecht. Doordat de as eerst naar Europa dreef en in een later stadium de trans-Atlantische vliegroutes ging blokkeren, ondervond het vliegverkeer nooit eerder zo veel

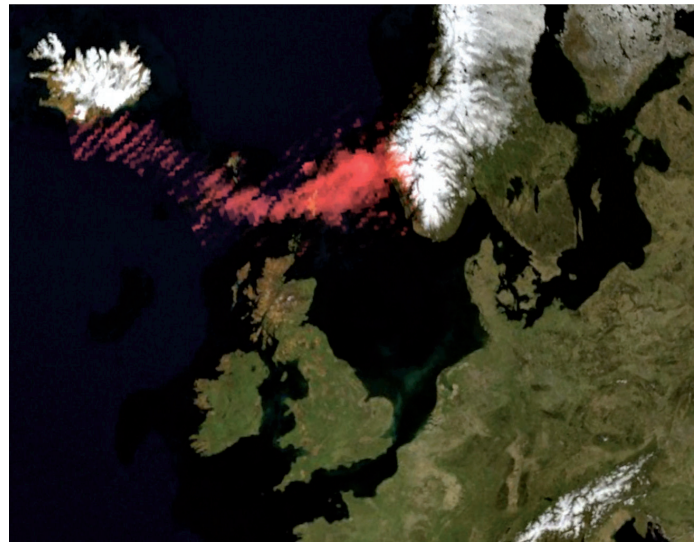
overlast van vulkanische as. Maar ook nooit eerder werd er zo veel materiaal verzameld voor wetenschappelijk onderzoek. Weerkundige centra, meteorologische onderzoeksinstituten en luchtverkeersorganisaties stonden op scherp en verzamelden wat ze aan informatie binnen konden krijgen. Tegelijkertijd maakten ze van de gelegenheid gebruik om te tonen wat ze aan informatie, producten en kennis beschikbaar hadden om de samenleving als geheel en de luchtvaartwereld in het bijzonder van dienst te zijn.

Het meest tot de verbeelding sprekend zijn mijns inziens nog altijd de zichtbaarheidsbeelden, bij voorkeur in natuurlijke kleuren zoals bijvoorbeeld op routinebasis beschikbaar van de MODIS op de Amerikaanse satellieten Terra en Aqua. Zo geeft figuur 1 (zie omslag voorzijde) het MODIS-beeld van 11 mei 2010. Op die dag waren er enkele luchthavens in Spanje en op de Canarische Eilanden dicht vanwege vulkanische as. De uitbarsting is nog in volle gang en aan de vulkaan ontspringt een strakke pluim. De as in de pluim wordt met stevige noordenwinden naar het zuiden gevoerd, de Atlantische Oceaan op. De as is minstens 860 kilometer lang zichtbaar. Goed is te zien dat de aswolk diffuser wordt;

aan de onderkant van het beeld zijn de begrenzingen van de wolk nog maar moeilijk te bepalen. De figuur toont ook de meerwaarde van kleur; door de bruine tint is de aswolk veel makkelijker te onderscheiden dan wanneer er stralingsmetingen uit slechts één zichtbaarlichtkanaal zouden zijn gebruikt.

Eyjafjallajökull (2): IR-beelden

Ook bij de constructie van de infrarood-



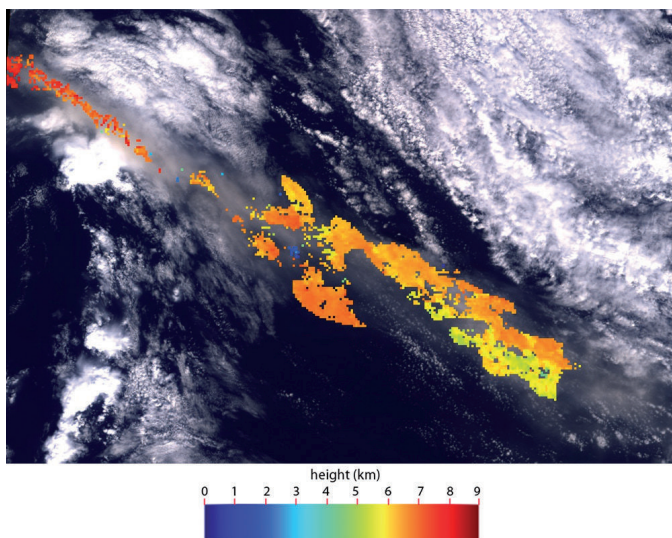
Figuur 5. SO₂-concentraties van 15 april 2010 verraden de aanwezigheid van vulkanische as, afkomstig van de vulkaan Eyjafjallajökull op IJsland. Instrument: OMI. Satelliet: Aura (bron: NOAA Environmental Visualization Laboratory).

beelden die werden vrijgegeven, werden meerdere kanalen gebruikt. Een voorbeeld geeft het satellietbeeld van figuur 2. De aspluim trekt over de Britse Eilanden. In de figuur bevindt IJsland zich linksboven; rechtsonder is nog net gedeelte van Nederland te zien. Het beeld is nog vrij sober en de presentatie van de meetgegevens lijkt sterk op de 'klassieke' eenkanaalsinfraroodbeelden. Alleen de oranje pluim en aswolken laten zien dat de informatie waarop het MODIS-beeld is gebaseerd, afkomstig moet zijn uit verscheidene banden. De ingetogenheid van de Amerikanen steekt schril af tegen de voorkeur voor een uitbundige kleurstelling die de Europeanen aan de dag blijken te leggen. Zo geeft figuur 3 een voorbeeld van een op verscheidene infraroodkanalen gebaseerd METEOSAT-beeld. De afbeelding geeft de situatie op 9 mei 03.00 UTC; de aspluim en de aswolken zijn overwegend oranje of zalmroze.

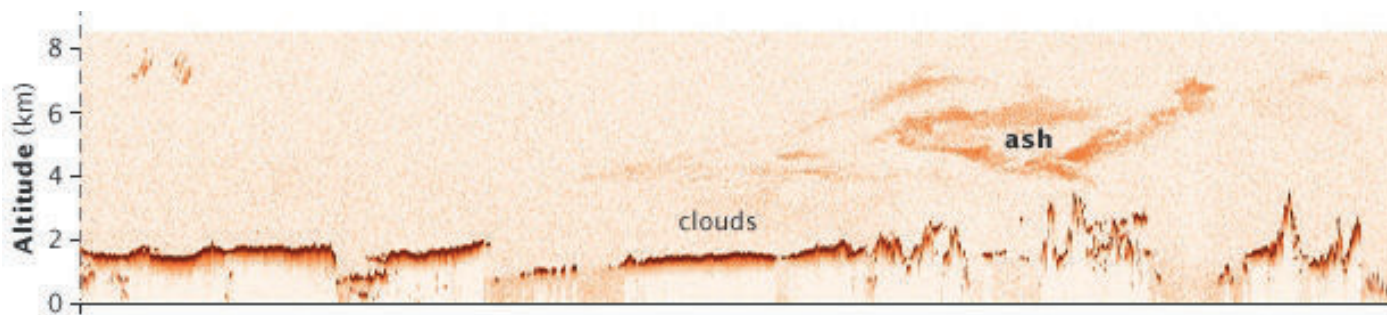
Figuur 4 is eveneens een afgeleide van stralingsmetingen in verscheidene infraroodkanalen. Met algoritmes werden daaruit de asconcentraties bepaald. De afbeelding geeft de situatie van 16 april 2010, de dag dat zich voor het eerst vliegverkeerverstorende vulkanische as boven Nederland bevond. De fraaie presentatie door het NOAA Environmental Visualization Laboratory suggereert vermoedelijk een grotere precisie dan wetenschappelijk onderbouwd kan worden, maar blijft mooi.

Eyjafjallajökull (3): meer beelden

Medewerkers van dezelfde organisatie verzorgden ook de presentatie van de OMI- SO₂-metingen van een dag eerder (figuur 5). De aswolk stond toen op het



Figuur 6. Hoogte van de vulkanische as op 16 mei 2010, bepaald uit meetgegevens van de MISR op de Amerikaanse satelliet Terra (bron: NASA/GSFC/LaRC/JPL, MISR Team).



Figuur 7. Vertikaal profiel van de atmosfeer boven de Atlantische Oceaan langs de in figuur 2 aangegeven rode lijn ten westen van Ierland. Datum: 16 mei 2010. Instrument: CALIOP. Satelliet: CALIPSO (bron: NASA/CNES).

punt de Noordzee op te trekken en was onderweg naar Nederland en België.

Figuur 6 geeft een voorbeeld van een hoogtepresentatie. Het beeld is gebaseerd op satellietmetingen van de MIRS op 16 mei, de dag dat er voor de tweede maal luchthavens in Nederland dicht gingen. Als ondergrond dient een satellietbeeld in natuurlijke kleuren; de sensor kijkt recht naar beneden. Op plaatsen waar vulkanische as is geconstateerd waarvan de hoogte bepaald kan worden, zijn de natuurlijke kleuren vervangen door

regenboogkleuren. De nauwkeurigheid bedraagt ongeveer 0,5 kilometer. De kleurencode voor de hoogte loopt van 0 (blauw) tot 9 kilometer (donkerrood). De aspluim reikt dicht bij de vulkaan tot een hoogte van ruim 8 kilometer. Verderop, op 250 kilometer stroomafwaarts, bedraagt de hoogte nog bijna 5 kilometer.

Eyjafjallajökull (4): vertikaal profiel

De satellietbeelden van de figuren 1 tot en met 6 tonen de aswolk van de Eyjafjallajökull van boven af gezien in

vogelvlucht. Figuur 7 is afwijkend; we zien hier een verticale doorsnede door de atmosfeer, gebaseerd op LIDAR-metingen van de Calipso. Volgens dit dwarsprofiel van 16 mei 2010 zit er een aswolk op 4 tot 6 kilometer hoogte; de bewolking hangt een stuk lager op een hoogte van ongeveer 2 kilometer. De positie van de doorsnede is in figuur 2 aangegeven met een rode lijn, die over de Atlantische Oceaan vlak ten westen van Ierland in noordoostelijke richting loopt.

In memoriam Adrie Jacobs

HENK DE BRUIN

Op 14 april 2010 overleed Adrie Jacobs na een langdurig ziektebed. Als onderzoeker en docent heeft hij een belangrijke bijdrage geleverd aan de landbouw- en micrometeorologie. Zijn carrière valt samen met de tijd waarin de meteorologie in Wageningen aan een bloeiperiode begon. In dit In Memoriam schetsen we in het kort de carrière van Adrie. Het is daardoor ook een kort historisch overzicht van de ontwikkelingen in de meteorologie in Wageningen.

Opleiding

Adrianus Franciscus Gerardus Jacobs werd geboren in 1943 te Roermond. Na de ULO, ging hij naar de UTS, en vervolgens in Eindhoven naar de HTS, waar hij het diploma Elektrotechniek haalde. Na militaire dienst begon hij in 1967 aan zijn academische studie aan de Technische Hogeschool Eindhoven. Hier studeerde hij in 1971 af. Adrie's 'leerweg' toont zijn doorzettingsvermogen aan. Adrie haalde ook de onderwijsbevoegdheid in wis- en natuurkunde. Zijn afstudeervak deed hij bij Prof. Vossers, die in 1979 een commissie zou voorzitten met als opdracht de positie van meteorologie en fysische oceanografie in Nederland te onderzoeken.

Bij de Heidemaatschappij

In 1971 trad Adrie in dienst bij de afdeling Speurwerk van de Heidemaatschappij, geleid door Bert Wartena. Eens per week was er werkoverleg op de vakgroep warmtetransport van Prof. D.A. de Vries van de TH Eindhoven. Ook was er geregeld overleg met de afdeling Fysische Meteorologie van het KNMI. In deze entourage werkte Adrie aan verschillende problemen, zoals warmte-uitwisseling tussen elektriciteitskabels en de bodem en turbulente uitwisselingsprocessen aan het aardoppervlak. Als eerste in Nederland werd een ultrasone anemometer (hierna sonic genoemd) gedurende enkele jaren getest. Hierbij werd de sonic automatisch op de wind gericht, werd de voelbare warmtestroom gemeten en werd aandacht besteed aan de sluiting van de energiebalans. Tegenwoordig worden sonics wereldwijd gebruikt.

Naar Wageningen

In 1979 verhuisde Adrie naar de Landbouwhogeschool Wageningen waar hij werd aangesteld bij de vakgroep Natuur- en Weerkunde, waar Bert Wartena net was benoemd tot hoogleraar. Naast onderzoek kreeg Adrie een (zwarte) onderwijstaak. Bijna uit het niets werd



in korte tijd een volledige opleiding meteorologie uit de grond gestampd. Eind jaren tachtig bood Wageningen een zeer breed onderwijspakket in de meteorologie aan met verschillende zelfstandige afstudeerrichtingen. Intussen veranderde de leeropdracht van Bert Wartena van Landbouwmeteorologie in Meteorologie, werd de Landbouwhogeschool de Landbouwniversiteit Wageningen en nog later Wageningen University en werd de vakgroep Meteorologie afgesplitst van Natuur- en Weerkunde. De emoties en de pijn die dit laatste teweegbracht laat ik hier buiten beschouwing. De aanbevelingen van de commissie Vossers leidden tot uitbreiding van het meteorologische onderzoek en onderwijs onder andere in Wageningen. In samenwerking met het KNMI kwam er een weerkamer die na