



Mistdetectie met satellietbeelden

Peter Baas

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Intern rapport; IR 2003-02

De Bilt, 2003

PO Box 201
3730 AE De Bilt
Wilhelminalaan 10
De Bilt
The Netherlands
Telephone +31(0)30-220 69 11
Telefax +31(0)30-221 04 07

Auteur: Peter Baas

De reeks *Intern rapport* is in juli 2000 gestart en geeft bij afsluiting de vorderingen rond een project of instrument weer. De inhoud is primair bestemd voor KNMI'ers, maar de publicaties zijn verder openbaar. Lezers van buiten het instituut dienen er echter wel rekening mee te houden dat het gebruikte jargon niet in alle gevallen voor buitenstaanders duidelijk zal zijn.

Eerder gepubliceerde titels in de reeks *Intern Rapport*:

- 2000-01 Inventarisatie nowcasting-technieken voor gevaarlijk weer : eindrapport
G.T. Geertsema, A. Maas, H.R.A. Wessels, H. Benschop, B. Blaauboer en C.J. Kok
- 2000-02 COST-76 : aims, achievements and future
W.A. Monna
- 2000-03 Verslag van een studiereis naar de National Weather Service van de USA, juni 2000
A.W. Donker
- 2000-04 Definitiestudie vervanging IBDS : eindrapport
Sylvia Barlag, Hans Roozetrans, Richard Rothe, Jan Bijma, Jan Jans en Frans Debie
- 2000-05 Rapportage voorstudie herinrichting Cabauw
Projectgroep Voorstudie Herinrichting Cabauw
- 2001-01 Neerslagonderzoek
Foeke Kuik
- 2001-02 Estimation of the maximum velocity of convective wind gusts
Iwan Holleman
- 2001-03 Synoptisch Waarneemnet Nederland 2000 (SWaNet NL 2000)
J.P. van der Meulen
- 2001-04 Eindrapport AutoTrend "Automatische generatie TREND 'S"
Albert Jacobs
- 2002-01 Sensitivity of the MAECHAM4 model to imposed ozone distributions
Anne Grete Straume, Elisa Manzini and Peter Siegmund
- 2002-02 Kwaliteitscriteria AVW
H.R.A. Wessels
- 2002-03 SAFIR beeldproduct voor real-time gebruik
Iwan Holleman
- 2003-01 LITE4ADM : on the use of LITE data for the Atmospheric Dynamics Mission Aeolus
G.J. Marseille, A. Stoffelen en A. van Lammeren
- 2003-02 Mistdetectie met satellietbeelden
Peter Baas

Mistdetectie met satellietbeelden

Peter Baas
Juli 2003

Voorwoord

Het rapport dat voor u ligt, is het resultaat van onderzoek dat ik gedurende mijn zes maanden durende stage op het KNMI heb verricht. Het leuke van het onderwerp 'mistdetectie met satellietbeelden', is dat er een aantal takken van sport bijeenkomen: het heeft te maken met satellietssystemen, er komt stralingsfysica bij kijken en natuurlijk de meteorologie achter het verschijnsel mist.

Op deze plaats wil ik mijn beide begeleiders Hans Roozkrans en Siebren de Haan bedanken. Hans was er voor de inhoudelijke kanten van satellietbeelden en mistdetectie, Siebren weet alles van programmeren in C en Unix en heeft me wat dat betreft zeer wel gecoached op de momenten dat ik het even niet meer wist. Heren, dank voor jullie enthousiaste begeleiding.

Juni 2003

Peter Baas

Samenvatting

Satellietbeelden kunnen een duidelijk inzicht geven in de verspreiding van bewolking en mist in de atmosfeer. Als het bekend is hoever een mistveld zich over het land uitstrekt kan er gericht gewaarschuwd worden voor slecht zicht. Met name 's nachts is mistdetectie met satellietbeelden niet eenvoudig. Omdat dan de zichtbaar licht kanalen niet beschikbaar zijn, is men aangewezen op infra-rood beelden. Doordat de temperatuur van mist vaak weinig afwijkt van de temperatuur van het omringende land, is het vaak lastig om mistvelden in het satellietbeeld te herkennen.

Door gebruik te maken van enkele specifieke stralingseigenschappen van mist kunnen ook in de nacht mistvelden beter zichtbaar worden gemaakt op satellietbeelden. Mistdruppeltjes hebben in vergelijking met de meeste andere wolkendruppels een kleine straal (zo'n 4 μm). Deze afmeting komt overeen met de golflengte van kanaal 3 van de NOAA-satelliet. In dit specifieke golflengtegebied is de emissiecoëfficiënt van mist, in tegenstelling tot in kanaal 4, beduidend lager dan 1. Voor andere oppervlakken is de emissiecoëfficiënt in beide kanalen ongeveer gelijk aan 1. Op een verschilbeeld kanaal 4 – kanaal 3 zullen mistvelden als gevolg hiervan als gebieden met positieve waarden naar voren komen. Deze waarde kan oplopen tot zo'n 6°C.

Analyse van een tiental case-studies laat zien dat deze methode 'werkt': mistvelden steken in dit verschilbeeld duidelijk af tegen de omgeving. Hiermee is niet alles gezegd. Ook andere lage bewolking, met name stratus, genereert positieve waarden in het verschilbeeld. Verder blijkt dat dunne stralingsmist niet met deze methode gedetecteerd kan worden. Voor detectie op deze manier moet de mistlaag een zekere verticale optische dikte bereikt hebben. Hoe dikker de mist optisch is, des te groter de positieve waarden in het verschilbeeld. Er blijkt geen relatie te zijn tussen het horizontale zicht en de grootte van het verschil tussen de twee kanalen. Pogingen in de literatuur die een dergelijk verband proberen aan te tonen, gebruiken vaak satellietbeelden van ideale mistsituaties. In dit onderzoek is gekozen om ook een aantal niet-ideale situaties te onderzoeken om zo een oordeel te kunnen vellen over de bruikbaarheid van deze methode in de operationele praktijk.

Overdag is mistdetectie een stuk gemakkelijker. De zichtbaar licht beelden geven hiertoe voldoende informatie. Ook de hierboven genoemde kanaal 4 – kanaal 3 methode kan overdag toegepast worden. Alleen gelden nu andere verbanden. De golflengte van kanaal 3 (3.8 μm) ligt namelijk dicht in de buurt van het zichtbaar licht. Hoewel de zon bij deze golflengte nog maar weinig straling uitzendt, wordt het infra-rode signaal van dit kanaal overdag toch nog verstoord door gereflecteerd zonlicht. Dit heeft tot gevolg dat de 'stralingstemperaturen' enorm toenemen. In het verschilbeeld komen lage en hoge bewolking dan ook naar voren als gebieden met sterk negatieve waarden van rond de -20°C. Enkele dagbeelden zijn geanalyseerd met behulp van MSG-beelden.

In de schemering gelden geen eenduidige regels: het 3.8 μm kanaal verliest langzaam zijn infra-rode karakter en wordt als de zon hoger aan de hemel stijgt steeds meer beïnvloed door gereflecteerde zonnestraling. Vanaf een zonshoogte van 7° blijft het signaal constant.

Al met al toont het onderzoek aan dat mistdetectie met satellietbeelden ook bij nacht succesvol kan zijn, hoewel naast satellietbeelden altijd nog aanvullende informatie nodig is voor een juiste interpretatie.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
Inhoudsopgave	4
1. Inleiding	5
2. Theorie	7
2.1 <i>Mist</i>	7
2.1.1 Stralingsmist	7
2.1.2 Advectiemist	8
2.2 <i>Stralingstheorie</i>	8
2.2.1 Elektromagnetische straling	8
2.2.2 Zwarte stralers	9
2.2.3 Niet-zwarte stralers	9
2.2.4 Straling in de atmosfeer	10
2.3 <i>Satellietsystemen</i>	11
2.3.1 TIROS-N / NOAA	11
2.3.2 Meteosat	12
2.3.3 MSG	13
3. Mistdetectie in de literatuur	15
3.1 <i>Detectietechnieken</i>	15
3.1.1 Threshold-methoden	15
3.1.2 Neurale Netwerken	15
3.2 <i>Mistdetectie</i>	16
3.2.1 Enkele stralingseigenschappen van mist	16
3.2.2 Mistdetectie in Engeland - jaren 80	18
3.2.3 Mistdetectie in de Alpen en Noordrijn-Westfalen – jaren 90	20
3.2.4 Mistdetectie in Nederland	23
3.2.5 Dissipatie	23
3.2.6 Conclusies	23
3.3 <i>Wolkenclassificatie</i>	24
3.3.1 APOLLO	24
3.3.2 Enkele andere wolkendetectiestudies	26
4. Beschrijving case-studies	27
4.1 <i>Onderzoeksmiddelen</i>	27
4.1.1 De satellietbeelden	27
4.1.2 Hulpprogrammaatjes	27
4.1.3 Overige hulpmiddelen	28
4.2 <i>Case-studies</i>	28
4.2.1 Selectie en onderzoeksmethode	28
4.2.2 Analyse afzonderlijke case-studies	29
5. Overig onderzoek	43
5.1 <i>Mogelijke presentatie K4-K3 beelden</i>	43
5.2 <i>K4-K3 methode overdag met MSG-beelden</i>	44
5.3 <i>Schemeringssituatie</i>	46
6. Conclusies	49
6.1 <i>Deelconclusies</i>	49
6.1.1 Satelliet	49
6.1.2 NOAA K4-K3 methode (nacht)	49
6.1.3 NOAA K4-K3 methode (overdag en schemering)	50
6.1.4 Ruimtelijke variatie in K4	50
6.2 <i>Hoofdconclusie</i>	51
Literatuurlijst	53
Bijlage – Case-studie satellietbeelden	55

1. Inleiding

Volgens de klimaatatlas 1971-2000 komt er in Nederland op 60 tot 70 dagen per jaar mist voor. Het is algemeen bekend dat dichte mist gevaarlijke situaties oplevert voor verkeer aan de grond en in de lucht. Mede omdat mist zo'n vaak voorkomend verschijnsel is in onze streken, is een goede mistverwachting nodig zodat de meteoroloog op tijd en gericht kan waarschuwen voor slecht zicht.

Voor het maken van mistverwachtingen wordt (onder andere) gebruik gemaakt van numerieke modellen en satellietbeelden. Met het numerieke model worden prognoses gemaakt van de ontwikkeling van het vochtgehalte nabij het aardoppervlak, satellietbeelden worden gebruikt om in de gaten te houden waar zich daadwerkelijk mistvelden vormen en hoe de ruimtelijke verspreiding ervan is. Omdat mist vaak een lokaal karakter heeft en waarnemingen op stations puntwaarnemingen zijn, is het moeilijk om met deze gegevens een goed beeld te krijgen van de plaatsen waar mistvelden voorkomen. Mits redelijk betrouwbaar kunnen satellietproducten hier van grote toegevoegde waarde zijn.

Dit onderzoek houdt zich bezig met de detectie van mistvelden met behulp van satellietdata. De meeste aandacht zal uitgaan naar de nachtsituatie, aangezien daar de meeste moeilijkheden liggen. Door middel van een tiental case-studies wordt onderzocht wat satellietbeelden wel en niet kunnen onthullen als het gaat om mistdetectie. Dit vormt het belangrijkste gedeelte van het rapport. Aan de case-studies gaat een uitgebreid literatuuronderzoek vooraf. Dit is opgenomen om op een rijtje te zetten wat voor onderzoek er op dit gebied al verricht is en om eventueel verder onderzoek te stimuleren. Het rapport begint met enige theorie over mist, stralingsfysica en satellietssystemen. Aan het einde van het rapport zijn nog enkele specifieke situaties opgenomen. Er wordt onder andere wat geëxperimenteerd met MSG beelden.

2. Theorie

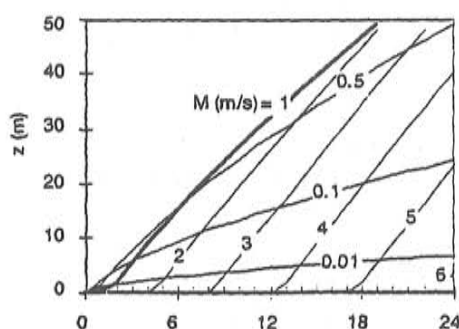
2.1 Mist

Mist is een beperking van het horizontale zicht aan de grond door de aanwezigheid van kleine waterdruppeltjes in de atmosfeer. Volgens de definitie is sprake van mist als het zicht kleiner is dan 1000 meter. Een andere definitie stelt dat mist niets anders is dan 'een wolk aan de grond'. Het onderscheid tussen mist en lage bewolking is echter tamelijk kunstmatig. Door variaties in terreinhoogte en in de wolkenbasis kunnen beide verschijnselen vloeiend in elkaar over gaan. Mede hierdoor is mist voor weersverwachtingen en onderzoek een lastig verschijnsel.

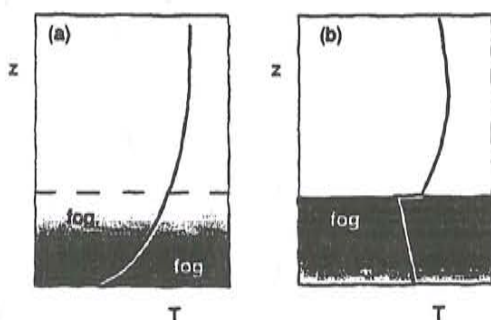
2.1.1 Stralingsmist

Door afkoeling van de lucht nabij het oppervlak neemt de relatieve vochtigheid van de lucht toe: de hoeveelheid waterdamp blijft gelijk, terwijl de maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht kan bevatten door de afkoeling afneemt. Als de dauwpunttemperatuur bereikt wordt, treedt verzadiging op. Bij nog verdere afkoeling zal het overschot aan waterdamp condenseren in de vorm van dauw- en mistdruppeltjes.

Bij stralingsmist vindt de afkoeling plaats door stralingsverlies. Het aardoppervlak verliest zo'n 50 W/m^2 meer warmte door uitstraling dan dat het aan straling uit de atmosfeer terug ontvangt. Het tekort wordt aangevuld vanuit de bodem en vanuit de lucht. Doordat er warmte aan de lucht wordt onttrokken, koelt deze af en stijgt de relatieve vochtigheid. De afkoeling vindt dus van onderaf plaats. Hierdoor ontstaat een stabiel temperatuurprofiel: de temperatuur neemt met de hoogte toe. Dit heeft tot gevolg dat de verticale uitwisseling vermindert. Vaak is dit te merken aan het afnemen van de wind in de avond. Erg belangrijk voor de mate van afkoeling en dus ook voor de kans op mist is de windsnelheid. Als er veel wind staat zal de atmosfeer tot op honderden meters afkoelen, maar nergens tot aan het dauwpunt. De afkoeling aan de grond is niet voldoende om verzadiging te bereiken en er zal dus geen mist ontstaan. Ook windstilte is echter niet gunstig voor mist. Weliswaar vindt nu voldoende afkoeling plaats, maar de atmosfeer is zo stabiel dat de waterdamp die als dauw de lucht verlaat niet of nauwelijks van boven weer aangevuld wordt. Een windsnelheid in het interval van 1 – 3 m/s is voor mistvorming het gunstigst.



Figuur 2.1 : Een voorbeeld van de ontwikkeling van een mistlaag bij verschillende windsnelheden. In winderige nachten ontstaat de mist later, maar de mistlaag groeit snel in de vertikaal (Stull, 1995).



Figuur 2.2 : (a) Stratiforme mist is dichter en kouder aan de grond. (b) Goed gemengde mist is dichter en kouder aan de top als gevolg van stralingsafkoeling. (Stull, 1995)

Stralingsmist begint dus vaak als een dunne laag, die aan de grond de hoogste dichtheid heeft. De mistlaag is hooguit enkele tientallen meters dik. Bij een mistlaag dunner dan 1.5 meter wordt er gesproken van grondmist. Als de afkoeling verder gaat wordt de mist hoger en dichter. Aanvankelijk is de invloed van de mistdruppeltjes op de stralingshuishouding nihil. Als de mist te dicht wordt in de vertikaal, zal de zone van netto stralingsverlies zich verplaatsen van het oppervlak naar de top van de mistlaag. In de mist komt de verticale warmteuitwisseling tot stilstand en de temperatuuropbouw in de mist wordt neutraal. Als gevolg hiervan ontstaat aan de top van de mistlaag een krachtige inversie. In de homogeen gemengde

mistlaag neemt de temperatuur met de hoogte af met de nat-adiabatische gradiënt. Hieraan gerelateerd, neemt de waterhoeveelheid juist licht toe met de hoogte. Grondmist heeft een geringe optische dikte zodat de zonnestralen het aardoppervlak kunnen verwarmen. Een snelle opwarming van de mistlaag, met verdamping van de mistdruppeltjes en oplossen van de mist is het gevolg. Als er sprake is van een optisch dikke, goed gemengde mistlaag, kan de zonnestraling niet tot het oppervlak doordringen. Bij dichte mist wordt een groot deel van de zonnestraling direct weerkaatst naar de atmosfeer (albedo ≈ 0.6), het resterende deel wordt door de mist zelf opgenomen. Terwijl de stralingsafkoeling alleen plaatsvindt aan de top van de mistlaag, vindt de opwarming door de zon plaats in een veel groter deel van de mistlaag. Doordat de top van de laag afkoelt en er lager in de laag opwarming plaatsvindt, wordt de mistlaag instabiel. Vanuit de toplaag zinken bellen koude mist naar beneden: de afkoeling aan de top en de verwarming eronder worden over de hele laag verdeeld. De mist blijft goed gemengd, hoewel er sprake kan zijn van een netto opwarming gemiddeld over de laag. Deze opwarming kan er voor zorgen dat het onderste deel van de mistlaag verdampt. De waarnemer ziet dit als het opgetild worden van de mist. Als de zonnearmte gedurende de dag niet genoeg is om alle mist op te lossen kan door stralingsafkoeling de onderkant van de mistlaag aan het eind van de dag weer met de grond in contact komen.

2.1.2 Advectiemist

Als een mistveld van elders aangevoerd wordt, spreekt men van advectiemist. Deze mist kan op verschillende manieren ontstaan zijn. Het kan gaan om een oud stralingsmistveld, maar het kan ook zo zijn dat de mist ontstaan is doordat warme vochtige lucht over een koud wateroppervlak gestroomd heeft en door afkoeling verzadigd geraakt is. Na vertrek uit het brongebied kunnen de oorspronkelijke kenmerken van het mistveld vervagen.

2.2 Stralingstheorie

Remote sensing berust op het ontvangen en uitzenden van straling. Alle informatie die een satelliet opvangt, bestaat uit elektromagnetische straling. Voor een goed begrip van satellietwaarnemingen is enig inzicht in de stralingstheorie vereist.

2.2.1 Elektromagnetische golven

Elektromagnetische straling is een van de belangrijkste processen voor het energietransport in de atmosfeer. Deze straling is te beschouwen als golven die zich door de ruimte voortplanten. Net als andere golven zijn deze stralingsgolven te karakteriseren door een golflengte, een frequentie en een intensiteit. Als maat voor de intensiteit wordt de hoeveelheid energie die per tijdseenheid een oppervlak van één vierkante meter passeert genomen [eenheid: W/m^2].

De golflengte van elektromagnetische straling kan enorm variëren: van $3 \times 10^{-9}m$ (gamma straling) via zichtbaar licht ($0.4 - 0.6 \times 10^{-6}m$) tot 3×10^6m voor ultra lange radiogolven (Harris, 1987). Omdat elektromagnetische golven de lichtsnelheid ($3 \times 10^8m/s$) als vaste voortplantingssnelheid hebben is de frequentie omgekeerd evenredig met de golflengte van de straling. Dit volgt uit de basisvergelijking voor het omrekenen van golflengten in frequenties (vergelijking 2.1). Hierin staat λ voor de golflengte, c voor de lichtsnelheid en ν voor de frequentie.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (2.1)$$

Naast dat het een golfkarakter bezit, heeft elektromagnetische straling ook een deeltjeskarakter. De straling is op te vatten als een stroom van fotonen. Dit zijn deeltjes zonder massa met een variërende energie-inhoud, die zich voortbewegen met de lichtsnelheid.

Het geheel van mogelijke golflengtes vormt het elektromagnetisch spectrum. In de richting van de kleinere golflengten wordt het deeltjeskarakter belangrijker, in de richting van de

grotere golflengten overheerst het golfkarakter (Saraber, 2000). Hoe kleiner de golflengte hoe meer energie een foton bezit. Zeer energierijke fotonen kunnen op moleculair niveau allerlei reacties teweeg brengen. Hierdoor is straling met een kleine golflengte bijvoorbeeld schadelijk voor het menselijk lichaam. Voor remote sensing toepassingen in de meteorologie wordt voornamelijk gebruik gemaakt van zichtbare en infra-rode straling. De golflengte wordt uitgedrukt in micrometers (μm).

2.2.2 Zwarte stralers

Alle materie zendt elektromagnetische straling uit. Verschillende materialen met gelijke temperatuur, zenden echter niet dezelfde hoeveelheid straling uit. Dit heeft geleid tot het definiëren van een perfecte straler (zwarte straler). Dit is een lichaam dat bij elke temperatuur, bij elke golflengte een maximale hoeveelheid straling uitzendt. Verder geldt dat een zwart lichaam alle straling die erop valt absorbeert.

In 1900 slaagde Planck er langs theoretische weg in, de straling die een zwart lichaam van een bepaalde temperatuur uitzendt af te leiden. Bij een hogere temperatuur wordt meer energie uitgestraald met een gemiddeld kleinere golflengte. De golflengte waarbij de maximale hoeveelheid energie wordt uitgestraald is eenvoudig te berekenen via de verschuivingswet van Wien (vergelijking 2.2).

$$\lambda_{\max} = \frac{2897}{T} \quad (2.2)$$

Hierin staat λ_{\max} [μm] voor de golflengte met maximale emissie en T [K] voor de temperatuur. Door gebruik te maken van de wet van Wien is het bijvoorbeeld mogelijk om de temperatuur van een ver verwijderd object te bepalen door het spectrum van het object te meten en vervolgens de golflengte van maximale emissie te bepalen. Hoe kleiner die golflengte, des te hoger de temperatuur van het object (Harris, 1987).

De totale hoeveelheid uitgezonden straling van een zwarte straler is de oppervlakte onder de Planck-kromme. Voor een zwart lichaam met temperatuur T wordt de totale emittantie gegeven door de wet van Stefan-Boltzmann:

$$E(T) = \sigma T^4 \quad (2.3)$$

$E(T)$ staat voor de hoeveelheid straling, σ voor de constante van Stefan-Boltzmann. Deze laatste bedraagt $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$.

2.2.3 Niet-zwarte stralers

De meeste objecten gedragen zich niet als een zwarte straler. Om de wet van Planck toch goed te kunnen gebruiken is de emissie-coëfficiënt (ϵ) 'uitgevonden'. Deze ligt tussen 0 en 1 en geeft aan in hoeverre een bepaald object een zwart lichaam benadert. Er geldt:

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{\text{werkelijk _uitgezonden_ straling _bij_ } \lambda}{\text{'zwarte' _straling_ _bij_ } \lambda} \quad (2.4)$$

Meestal is ϵ afhankelijk van de golflengte. Is dit niet het geval dan wordt gesproken van een 'grijze straler'. Hiervoor geldt dus dat ϵ constant is, maar ongelijk aan 1.

De emissie-coëfficiënt is nauw gerelateerd aan de absorbtie-coëfficiënt (α). De wet van Kirchhoff stelt dat een voorwerp evengoed straling absorbeert, als dat het straling uitzendt bij een bepaalde golflengte, zodat:

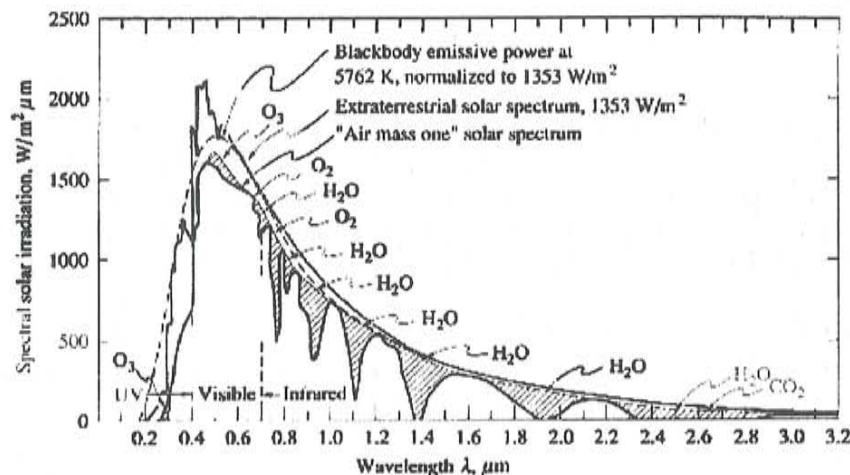
$$\alpha_\lambda = \epsilon_\lambda$$

(2.5)

Sneeuw is een goed voorbeeld van materie met een niet-constante ϵ . In het zichtbaar-licht gedeelte van het spectrum wordt maar heel weinig straling geabsorbeerd. Bijna alle opvallende straling wordt gereflecteerd. De wet van Kirchhoff stelt dat dan ook de emissie-coëfficiënt klein is. In het infra-rood is sneeuw vrijwel een zwarte straler: alle opvallende straling wordt geabsorbeerd (geen reflectie) en de emissie verloopt volgens de wet van Planck ($\epsilon \approx 1$).

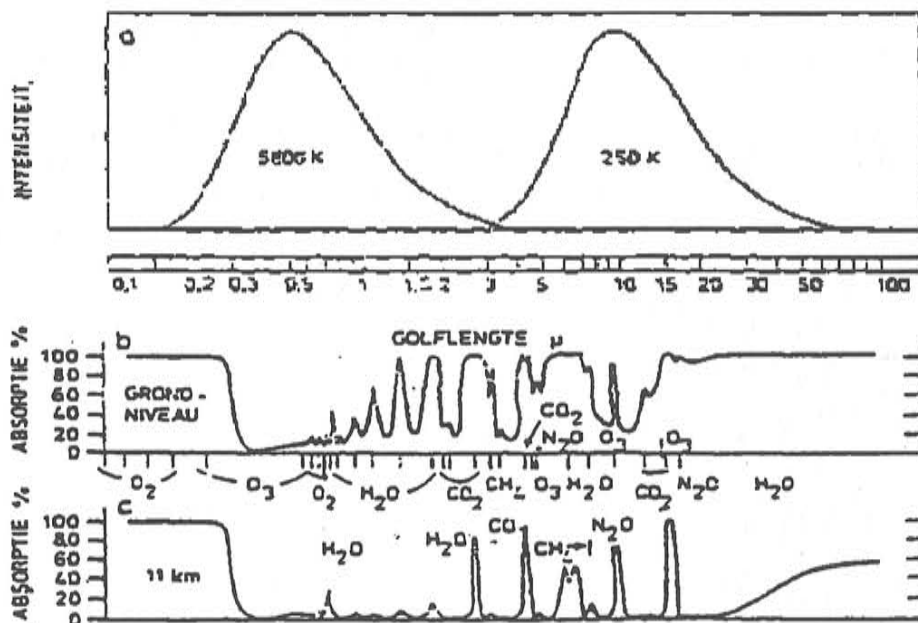
Uit het signaal van satellietsensoren die in het infra-rood meten kan de temperatuur van voorwerpen bepaald worden. Als een voorwerp een lage emissie-coëfficiënt heeft, ligt de temperatuur die volgt uit het satellietbeeld lager dan de werkelijke temperatuur van het voorwerp. Deze schijnbare temperatuur wordt de helderheidstemperatuur genoemd. Het is de temperatuur die het voorwerp zou hebben als het een perfecte zwarte straler zou zijn. Om uit satellietbeelden werkelijke temperaturen te kunnen bepalen is het dus nodig de emissie-coëfficiënten van de waargenomen objecten te kennen.

2.2.4 Straling in de atmosfeer



Figuur 2.3 : Spectrum van de zonnestraling aan de top van de atmosfeer en aan het oppervlak (Saraber, 2000)

Er is een groot verschil tussen de inkomende zonnestraling aan de rand van de atmosfeer en zonnestraling aan het aardoppervlak (figuur 2.3). Een groot deel van de straling die de atmosfeer binnendringt wordt geabsorbeerd door luchtmoleculen en aerosolen. Verder vindt reflectie en verstrooiing plaats. Belangrijke absorbeerdere van zonnestraling zijn ozon (UV-licht), zuurstof, waterdamp en koolstofdioxide. Kleine golflengtegebiedjes waarin de transmissiviteit (doorlatendheid) van de atmosfeer hoog is, worden atmosferische vensters genoemd. Meestal meten satellietsensoren in een van de atmosferische vensters. Omdat in deze vensters de atmosfeer transparant is voor straling, kan bij deze golflengten het aardoppervlak goed worden waargenomen. De processen van absorbtie, verstrooiing en reflectie resulteren in een zeer onregelmatig zonnenspectrum aan het aardoppervlak. De absorbtiebanden van de atmosfeer aan de top en aan het oppervlak zijn weergegeven in figuur 2.4b en 2.4c.



Figuur 2.4 : Straling in de atmosfeer.
 a) Stralingsdomeinen zon en aarde. b) Absorptie in de atmosfeer op grondniveau en
 c) op 11 km hoogte (Saraber, 2000)

In de praktijk zijn er twee 'soorten' straling te onderscheiden. Kortgolvlige straling van de zon en langgolvlige straling van de aarde en de atmosfeer. Uit de wet van Wien volgt dat de zon (oppervlakte temperatuur 6000K) de meeste energie uitzendt bij een golflengte van $2897 / 6000 = 0.48\mu\text{m}$. Deze golflengte ligt in het zichtbaar licht gedeelte van het spectrum. Als voor het aarde / atmosfeer systeem een temperatuur van 280K genomen wordt, volgt uit de wet van Wien dat de maximale stralingsintensiteit bij een golflengte van $10.3\mu\text{m}$ ligt (infra-rood). De stralingsspectra van de zon en het aarde/atmosfeer systeem blijken nagenoeg geen overlap te hebben. Dit wordt geïllustreerd in figuur 2.4a. Een gevolg hiervan is dat kortgolvlige en langgolvlige straling los van elkaar beschouwd kunnen worden.

2.3 Satellietssystemen

Objecten kunnen opvallende straling reflecteren, maar zenden zelf ook straling uit. De gereflecteerde en uitgezonden straling kan worden opgevangen met satellieten en geeft informatie over de objecten. De meeste satellieten bevatten een aantal sensoren die gevoelig zijn in verschillende golflengtebanden.

Sinds de jaren-'60 heeft er op satellietgebied een stormachtige ontwikkeling plaatsgevonden. Het aantal kanalen is vermeerderd, de resoluties vergroot en steeds meer landen lanceerden hun eigen satellietstelsel. In deze paragraaf zal globaal de ontwikkeling van de laatste decennia besproken worden. De satellietstelsels die voor meteorologisch Nederland het meest interessant zijn staan centraal.

2.3.1 TIROS-N / NOAA

In 1957 werd in Rusland de eerste satelliet gelanceerd: de Spoetnik. De Amerikanen volgden in 1960 met de eerste weersatelliet. De TIROS (Television and Infrared Observation Satellite) beschikte over een televisiecamera (zichtbaar licht) en een infra-rood camera. De beelden kunnen slechts door een beperkt aantal speciale grondstations ontvangen worden. Voor de lancering van de satellieten werd gebruik gemaakt van de techniek van Duitse V2-raketten.

In 1966 wordt een nieuw systeem ontwikkeld waarmee de TIROS-beelden over de hele wereld ontvangen kunnen worden. Met de lancering van de TIROS-8 wordt het APT-systeem (Automatic Picture Transmission) in gebruik genomen.

De TIROS werd opgevolgd door de NIMBUS, die beschikte over geavanceerdere apparatuur en een betere energievoorziening. Verder werd de NIMBUS, in tegenstelling tot de TIROS, in een polaire baan gebracht. Elk deel van de aarde kon zo door de satelliet in beeld gebracht worden.

Op 13 oktober 1978 werd de eerste satelliet in de TIROS-N serie gelanceerd. De N staat voor next generation. Deze satellieten worden ook wel aangeduid als NOAA satellieten, naar de Amerikaanse weerdienst. De eerste TIROS-N staat ook bekend als de NOAA-5. Met de TIROS-N serie werd ook de radiometer AVHRR geïntroduceerd (Advanced Very High Resolution Radiometer). De grote verbetering van de AVHRR ten opzichte van vorige systemen, was de gelijktijdige meting in vijf nauwe spectrale banden.

Sinds 1978 zijn verschillende versies van de AVHRR in gebruik geweest. Een overzicht van de beschikbare kanalen is gegeven in tabel 1.

Kanaal	Golflengte (μm)	Belangrijkste toepassing
1	0.58 - 0.68	Wolkendetectie overdag / oppervlakte waarneming
2	0.725 - 1.10	Onderscheiden water en land / smelten van sneeuw
3A	1.58 - 1.64	Onderscheiden sneeuw en ijs
3 (3B)	3.55 - 3.93	SST / wolkendetectie 's nachts / mist
4	10.30 - 11.30	SST / wolkendetectie dag en nacht
5	11.50 - 12.50	Zie kanaal 4

Tabel 1 : Overzicht van de AVHRR-kanalen op de NOAA-16 satelliet.

Door de AVHRR radiometer kunnen maar vijf signalen tegelijk naar de aarde worden gezonden. Na toevoeging van kanaal 3A is dit kanaal samen met het oorspronkelijke kanaal 3 (3B) een wisselkanaal geworden: overdag wordt kanaal 3A doorgestraald, 's nachts 3B.

De NOAA satellieten bevinden zich in een polaire baan op een hoogte van 850 km boven de aarde. De omlooptijd is 1:40 uur. Omdat er twee satellieten tegelijk operationeel zijn, komt er op elke plaats op aarde vier maal per dag een NOAA satelliet over. Nabij de polen is de temporele resolutie hoger.

De ruimtelijk resolutie van de AVHRR scanner bedraagt 1.1 km in het *sub-satellitepoint*. Aan de randen van het beeld kan de resolutie afnemen tot zo'n 3 km als gevolg van de toenemende kijkhoek. Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van AVHRR-beelden.

2.3.2 Meteosat

In 1975 werd de eerste GOES gelanceerd (Geostationary Operational Environmental Satellite). Dit was de eerste geostationaire satelliet. Geostationaire satellieten staan boven de evenaar op een hoogte van zo'n 36000 km, zodat hun omlooptijd gelijk is aan de omlooptijd van de aarde. Als gevolg hiervan staan ze steeds op hetzelfde gedeelte van de aarde gericht.

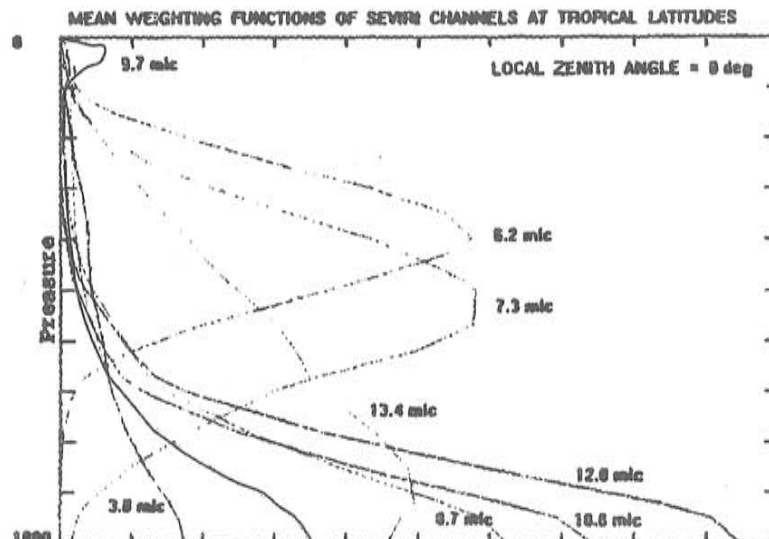
Europa volgde in november 1977 met de lancering van de eerste Meteosat. De door Eumetsat geëxploiteerde satelliet is gepositioneerd boven het snijpunt van de evenaar en de nulmeridiaan. Momenteel (begin 2003) is de Meteosat-7 operationeel. Bij een kijkhoek van groter dan 55° is een kwantitatieve analyse van de beelden niet meer mogelijk door afnemende beeldkwaliteit. Kwalitatieve analyse is nog mogelijk tot een kijkhoek van 70°.

De Meteosat neemt de aarde waar in drie kanalen. Een zichtbaar licht kanaal (0.5 - 0.9 μm), een infra-rood kanaal (10.5 - 12.5 μm) en een kanaal dat gevoelig is voor waterdamp (5.7 - 7.1 μm). Het grote voordeel van de Meteosat ten opzichte van de NOAA-satellieten is de resolutie in de tijd. Elk half uur is er namelijk een nieuw Meteosatbeeld beschikbaar, tegen slechts vier NOAA beelden per etmaal. Wat betreft spectrale informatie scoort de NOAA echter beter: nauwere spectrale banden en meer kanalen bieden hier meer mogelijkheden voor onderzoek naar wolken.

2.3.3 MSG

Sinds de ontwikkeling van de Meteosat in de jaren-'70 is er niet veel veranderd aan het ontwerp van de Meteosat-satelliet. Met de lancering van de MSG (Meteosat Second Generation) in 2002 wordt de langzaam opgelopen achterstand echter ruimschoots goedge maakt. De MSG zal de aarde waarnemen in 11 spectrale banden met een resolutie van 3 km in het nadir, aangevuld met een hoge resolutie (1 km) zichtbaar licht kanaal. In de omgeving van Nederland bedraagt de resolutie 5 km. Elk kwartier zal er een nieuw beeld beschikbaar zijn. Is het met de NOAA-satellieten vanwege de slecht temporele resolutie niet eenvoudig om processen in de tijd te volgen, met de MSG wordt dit een *piece-of-cake*.

De kanalen van de MSG zijn samengesteld op basis van ervaring die met eerdere satellietssystemen opgedaan is (Woick, 1999). Zo zijn de zes NOAA kanalen met enige variatie terug te vinden bij de MSG. Ook het waterdampkanaal van de 'oude' Meteosat ontbreekt niet. Bij de MSG is het brede waterdampkanaal van de Meteosat gesplitst in twee smalle kanalen, die absorptiepieken op verschillende hoogten hebben. Verder zijn kanalen toegevoegd voor de detectie van ozon en koolstofdioxide.



Figuur 2.6 : De MSG-kanalen zijn gevoelig op verschillende hoogten in de atmosfeer (Schmetz et al, 1996).

Figuur 2.6 geeft een beeld van de verticale gevoeligheid van de acht infra rode kanalen van de MSG. Hierbij springen de volgende dingen in het oog. De twee waterdampkanalen zijn gevoelig in het midden van de atmosfeer. Het 6.2 μm kanaal 'meet' op een hoger niveau dan het 7.3 μm kanaal. Het kanaal dat stratosferische ozon detecteert, is ook gevoelig nabij het aardoppervlak. Om ozon-concentraties uit de 9.7 μm -beelden te halen is een multi-spectrale techniek nodig. De overige kanalen zijn slechts gevoelig nabij het aardoppervlak: ze detecteren in atmosferische vensters.

3. Mistdetectie in de literatuur

Dit hoofdstuk vormt een literatuurstudie over mistdetectie met satellietbeelden. Nadat ingegaan is op een tweetal detectietechnieken, zullen een aantal onderzoeken besproken worden. De resultaten hiervan verbreden de kennis over het onderwerp, geven inzicht in wat de mogelijkheden voor eigen onderzoek zijn en kunnen als aanknopingspunt dienen voor verder onderzoek. Aan het eind van het hoofdstuk wordt kort ingegaan op wolkendetectieschema's in het algemeen. Vaak is er bij deze studies speciale aandacht voor mist en/of lage bewolking.

3.1 Detectietechnieken

3.1.1 Threshold-methoden

Een van de methoden waarmee informatie uit satellietbeelden gehaald kan worden maakt gebruik van drempelwaarden. Een infra-rood kanaal geeft bijvoorbeeld voor elk pixel een helderheidstemperatuur. Wolken op enige hoogte hebben een veel lagere temperatuur dan het aardoppervlak. Als de minimale oppervlaktetemperatuur bekend is, kan je stellen dat elk pixel dat een lagere temperatuur heeft bewolkt moet zijn.

Een andere threshold-techniek maakt gebruik van verschillen tussen kanalen. Deze methode kan toegepast worden als een object (bijvoorbeeld mist) door golflengteafhankelijkheid van stralingseigenschappen in twee kanalen een verschillend beeld laat zien. Een voordeel van deze verschilmethode is, dat invloeden van de atmosfeer voor een groot deel onderdrukt worden (Bendix en Bachmann, 1991a).

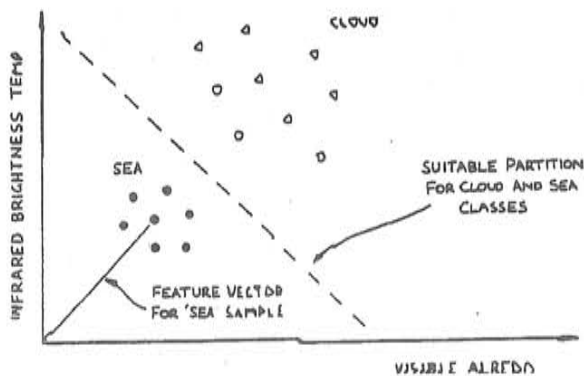
De tot nu toe genoemde grenswaarden worden spectrale kenmerken genoemd; ze beschouwen een op zichzelf staand pixel en beoordelen of het al dan niet aan bepaalde eisen voldoet. Textuurkenmerken maken gebruik van meer pixels tegelijk. Ze beoordelen de horizontale variatie in het satelliet signaal. Op deze manier kan bijvoorbeeld onderscheid worden gemaakt tussen een egale mistlaag en een stratocumulusveld. Een voorbeeld van een textuurtest is een test die de standaarddeviatie bepaald tussen een pixel en zijn acht buurpixels. Is deze laag, dan is er waarschijnlijk sprake van egale bewolking. Ook randen van wolken kunnen op deze manier goed in kaart gebracht worden.

Threshold technieken kunnen in twee groepen verdeeld worden: lokaal en globaal (Di Girolamo, 1999). Lokale technieken verdelen het satellietbeeld in een aantal sub-beelden, om vervolgens voor elk sub-beeld een grenswaarde vast te stellen. Globale technieken maken gebruik voor één grenswaarde voor het gehele beeld.

Het vaststellen van de grenswaarde kan gebeuren via histogram-analyse. Door voor elk pixel de signaalwaarde uit te zetten, verschijnen idealiter pieken die staan voor zee, land en wolken. Als grenswaarde is de vallei tussen twee pieken te nemen. Als gevolg van ruis, ongelijke distributie van land en zee en verschillende wolkentypen en ondergronden is het afleiden van grenswaarden op deze manier niet eenvoudig. Vaak zijn verfijndere technieken nodig. Deze technieken maken gebruik van de vorm van het histogram of werken met optimalisatie van een criteriumfunctie. In Di Girolamo (1999), worden 15 selectieprocedures voor het vaststellen van grenswaarden met elkaar vergeleken.

3.1.2 Neurale Netwerken

Een andere methode om satellietbeelden te analyseren maakt gebruik van neurale netwerken. De werking van deze netwerken is gebaseerd op hersencellen. Elk neuron krijgt informatie van een groot aantal andere neuronen. De gewogen som van deze informatie wordt vergeleken met een interne grenswaarde en als deze overschreden wordt onderneemt het neuron actie (Debie et al, 1994). Het model is in staat te leren: de grenswaarden en de gewichtsfactoren kunnen veranderen, zodat het model beter presteert. Een uitgebreid overzicht van technieken om op deze manier wolken te detecteren is te vinden in Pankiewicz (1995).



Figuur 3.1 : Een voorbeeld van een 2-lassen feature space. De scheidinglijn kan gebruikt worden om een nieuw pixel te classificeren als zee danwel wolk (Pankiewicz, 1995).

De input van het model wordt feature vector genoemd. Beschouw een n-dimensionale feature vector. Deze is samengesteld uit n features of kenmerken. De afzonderlijke kenmerken kunnen beschouwd worden als assen in een n-dimensionale feature space, waarin elke feature vector een unieke positie heeft. Als in de feature space clusters van feature vectors voorkomen, kunnen die benoemd worden als klassen (Pankiewicz, 1995).

Een en ander is verduidelijkt in figuur 3.1. Hier is een feature space afgebeeld, opgebouwd uit de kenmerken 'visible albedo' en

'infrared brightness temp.' Elke feature vector, waarvan er een is getekend, heeft een punt in het plotje tot gevolg. Er zijn twee clusters te herkennen, die in dit geval gescheiden kunnen worden door een rechte lijn.

Hoe meer kenmerken een systeem gebruikt, hoe meer klassen onderscheiden kunnen worden. Er moet echter opgepast worden voor overbodige kenmerken. Kenmerken zijn overbodig als ze over elke klassen bijna dezelfde informatie leveren als een van de andere kenmerken: het model is over-geparameteriseerd. Selectie van het optimale set kenmerken gebeurt door feature selection. Zo worden in Bankert (1994) in eerste instanties 204 kenmerken gebruikt. Na feature selection blijven er nog 15 van over.

Het indelen van de feature space in klassen (bijvoorbeeld lage, middelbare en hoge bewolking) gebeurt met behulp van een trainingset. In Debie (1994) wordt het trainingset door een aantal meteorologen samengesteld op basis van een gebied van 200 x 300 pixels. Met de hand delen zij het satellietbeeld in naar wolkensoort. Met deze klassificatie wordt het neurale netwerk 'getraind'. Na de training blijkt het netwerk niet onder te doen voor een meteoroloog. Het 'leren' komt neer op het goed afstemmen van de verschillende gewichtsfactoren en grenswaarden volgens een bepaald criterium van minimale fout (Astillero et al, 2001).

3.2 Mistdetectie

In de literatuur is een groot aantal artikelen over detectie van mist met satellietdata verschenen. In veel onderzoeken wordt gebruik gemaakt van afwijkende stralingseigenschappen van mist in het golflengtegebied rond 4µm. Voordat een overzicht zal worden gegeven van wat er op het gebied van mistdetectie gepubliceerd is, zal daarom worden ingegaan op enkele karakteristieke stralingseigenschappen van mist.

3.2.1 Enkele stralingseigenschappen van mist

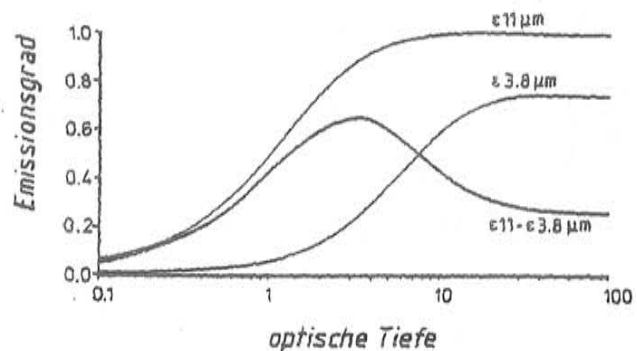
Kanalen in het zichtbaar licht detecteren gereflecteerde zonnestraling, kanalen in het infrarood straling die door objecten zelf geëmitteerd is. De reflectie van mist is in principe gelijk aan die van andere wolken. In het zichtbaar licht beeld steken de mist en de wolken beiden fel af tegen het aard- of zeeoppervlak. Deze vertonen een veel lagere reflectie. Verder is mist te herkennen aan de veel 'gladdere' structuur dan andere wolken.

De temperatuur van de mistlaag ligt vaak dichtbij die van het oppervlak, maar is een stuk hoger dan die van middelbare en hoge bewolking. In een infra-rood beeld steekt mist dus nauwelijks af tegen het oppervlak, terwijl hogere bewolking dit wel doet. Door een simpele

vergelijking van deze twee beelden is mist vaak al behoorlijk te detecteren. Deze methode kan geautomatiseerd worden door grenswaarden in te stellen voor zowel de reflectiviteit als de helderheidstemperatuur.

Een groot probleem bij deze methode is dat 's nachts de zichtbaar licht kanalen geen informatie leveren. Voor de nachtsituatie moet dus een andere methode worden gebruikt. Hiervoor wordt de variatie van de emissie-coëfficiënt van mist in het infra-rood gebruikt (o.a. Eyre, 1984). Deze variatie wordt veroorzaakt door de specifieke druppelgrootte van mist. Bij een toenemende druppelgrootte neemt de emissiviteit van een wolk toe (Hunt, 1973). Deze golflengteafhankelijkheid van de emissiviteit wordt geïllustreerd in figuur 3.2. Pas bij golflengten groter dan $4\mu\text{m}$ hebben wolken in toenemende mate de neiging zich als zwarte stralers te gedragen (Bendix en Bachmann, 1991a).

Omdat mistdruppeltjes kleiner zijn dan andere wolkendruppels en ijskristallen, is de emissie-coëfficiënt van mist bij een golflengte van $3.8\mu\text{m}$ significant kleiner dan van de andere wolken. Theoretische berekeningen hebben aangetoond dat voor mist en lage stratus de emissie-coëfficiënt in de buurt van het interval 0.8-0.9 ligt (Hunt, 1973).



Figuur 3.2 : Emissiecoëfficiënten voor de AVHRR kanalen 4 en 3 als functie van de optische diepte. De figuur is geldig voor mist en lage stratus ($r = 4\mu\text{m}$) (Bendix & Bachmann, 1991).

Als gevolg van de golflengteafhankelijkheid van de emissiviteit ontstaat er een verschil in helderheidstemperatuur tussen kanaal 4 ($11\mu\text{m}$) en kanaal 3 ($3.8\mu\text{m}$) van de NOAA satelliet. Door de lagere emissie-coëfficiënt van mist in kanaal 3 zal de helderheidstemperatuur lager liggen dan de werkelijke temperatuur. In het golflengtegebied van kanaal 4 benadert mist een zwarte straler, zodat de helderheidstemperatuur hier weinig afwijkt van de werkelijke temperatuur. Een positieve waarde van kanaal 4 – kanaal 3 wijst dus op de aanwezigheid van mist. Dit principe staat aan de basis van veel studies over mistdetectie in de nachtsituatie. Het verschil in atmosferische absorptie tussen de twee kanalen is dermate klein, dat het verschil in helderheidstemperatuur als gevolg van het emissiviteitsverschil hier niet belangrijk door beïnvloed wordt (Eyre, 1984). Soms komt het voor dat in de nacht kleine gebieden een sterk negatief verschil in helderheidstemperatuur laten zien. Dit komt doordat een relatief heet object (bijvoorbeeld een gasvlam) een gedeelte van een pixel bedekt (Turner, 1986).

Overdag bij zonlicht kan deze methode niet worden toegepast. Dit komt door storende invloeden van zonnestraling. Hoewel de hoeveelheid gereflecteerde zonnestraling sterk afneemt bij toenemende golflengte, is er bij $3.8\mu\text{m}$ nog genoeg zonlicht over om het signaal van kanaal 3 te verstoren. Overdag geeft kanaal 3 dus een samengesteld signaal van gereflecteerde zonnestraling en geëmitteerde warmtestraling. De hoeveelheid gereflecteerde zonnestraling is afhankelijk van de zonshoogte en kan oplopen tot $2/3$ van het totale signaal (Bendix en Bachmann, 1991a). Overdag zal kanaal 3 hierdoor, in tegenstelling tot in de nachtsituatie, meer straling opvangen dan kanaal 4.

Toch lijkt ook overdag mistdetectie met een verschilbeeld van kanaal 4 en kanaal 3 mogelijk. Mist heeft een hogere reflectie-coëfficiënt dan het omringende oppervlak. In het geval van mist zal de hoeveelheid gereflecteerd zonlicht die de satelliet bereikt beduidend groter zijn dan wanneer er geen sprake is van mist. Dit resulteert in een verhoogde stralingstemperatuur

in kanaal 3. Voor optisch dikke mist zal dit temperatuurvervalsende effect het grootst zijn, omdat de reflectie-coëfficiënt toeneemt bij een optisch dikker wordende mistlaag (Bendix en Bachmann, 1991a).

3.2.2 Mistdetectie in Engeland – jaren 80

Een van de eerste uitvoerige publicaties op het gebied van mistdetectie verscheen in 1984 (Eyre, 1984). Enkele onderzoekers van het MetOffice (Bracknell, UK) gebruikten de variatie van de emissie-coëfficiënt van mist in het near-infra-rood. Doel is het verkrijgen van een goede beschrijving van de horizontale verspreiding van mist gedurende de nacht om met behulp hiervan betere verwachtingen te kunnen maken. Omdat mist vaak een lokaal karakter heeft en waarnemingen op stations puntwaarnemingen zijn, is het moeilijk om met deze gegevens een goed beeld te krijgen van de plaatsen waar mistvelden voorkomen. Mits redelijk betrouwbaar kunnen satellietproducten hier van grote toegevoegde waarde zijn.

Om te komen tot een overzichtelijk kaartje van de uit te voeren case-study wordt door Eyre et al het volgende proces doorlopen. Na de omrekening van de ruwe satellietdata naar stralingstemperaturen wordt het verschil in helderheidstemperatuur tussen de NOAA kanalen 4 en 3 berekend. Op basis van enkele bestudeerde mistsituaties worden de pixels empirisch in een van de volgende klassen ingedeeld:

- 0 : $\Delta T < 0.5K$,
- 1 : $0.5 < \Delta T < 1.5$
- 2 : $1.5 < \Delta T < 2.5$
- 3 : $2.5 < \Delta T$

De helderheidstemperaturen uit kanaal vier worden ook in een aantal klassen ingedeeld. Nadat de twee indelingen van een kleurverloop zijn voorzien, kan er een false-colour kaartje van het studiegebied worden gemaakt. Hierin verschijnen mist en lage stratus als donkergrijs en hogere bewolking als wit. Land en zee steken hier goed tegen af in respectievelijk groen- en violettinten.

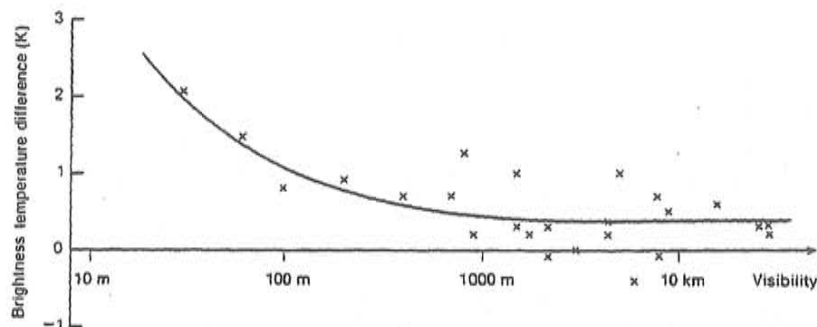
Eyre et al richtten zich in deze studie op Engeland en Wales. In de kaartjes zijn mistgebieden inderdaad te herkennen als donkergrijze gebieden. Het plaatje laat op sommige plaatsen een gedetailleerde structuur zien, die onmogelijk uit grondwaarnemingen kan worden afgeleid. Wel worden in deze studie grondwaarnemingen gebruikt ter validatie van het satellietproduct. De mistgebieden die uit de analyse van de waarnemingen volgen, komen ook in het satellietplaatje als mistig naar voren. In Wales, waar zich in valleien stralingsmist heeft gevormd, zijn echter geen observaties ter verificatie beschikbaar. Een probleem bij de verificatie is dat er vrijwel altijd sprake is van een tijdsverschil tussen de passage van de satelliet en het waarnemingstijdstip op de grond.

Met deze techniek blijft het lastig om onderscheid te maken tussen mist en lage stratus. Bij beiden is het verschil tussen kanaal 4 en kanaal 3 's nachts positief. Eyre et al (1984) suggereren om met behulp van grondwaarnemingen vast te stellen of de wolkenbasis zich al dan niet op de grond bevindt om vervolgens met satellietdata de horizontale verspreiding van de mist of de stratus te bepalen.

De grootte van het verschil in helderheidstemperatuur tussen de NOAA kanalen 3 en 4 wordt met name bepaald door de optische dikte van de mist of de lage stratus. Omdat de optische dikte niet geheel los staat van het horizontale zicht is het interessant om de relatie tussen het zicht en de satellietdata te onderzoeken. Hierbij moet worden opgemerkt dat een satelliet in de vertikaal waarneemt. Dit is geen sterke aanwijzing voor een eenduidig verband tussen satellietdata en horizontaal zicht. In een aantal vervolgstudies op het artikel van Eyre et al is deze relatie onderzocht (Turner, 1986; Dybbroe, 1993).

Turner et al, eveneens verbonden aan het MetOffice te Brachnell, stellen zich ten doel het verband tussen het verschil in stralingstemperatuur tussen de twee AVHRR kanalen en zichtwaarnemingen in meer detail te onderzoeken (Turner, 1986). Zij maken gebruik van dezelfde methode als Eyre et al.

Na bestudering van analysekaarten wordt een case-study geselecteerd. Omdat de ruimtelijke resolutie een van de grote voordelen van satellietwaarnemingen is, wordt gekozen voor een situatie met verspreid voorkomende mistbanken in plaats van een situatie met grote aaneengesloten mistgebieden. Het resulterende mistkaartje laat inderdaad een groot aantal verspreide mistvelden zien. Orografische effecten komen duidelijk naar voren. Beschikbare waarnemingen van grondstations komen overeen met het satellietbeeld.

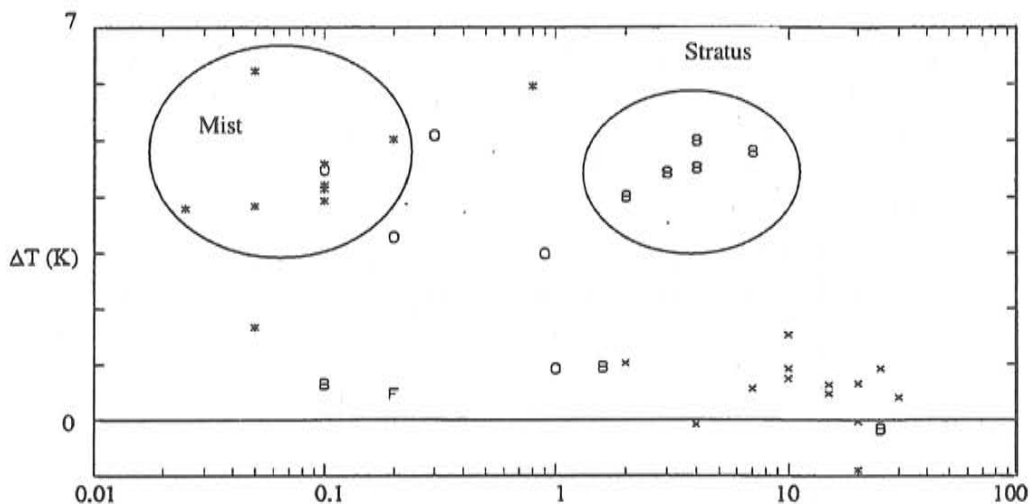


Figuur 3.3 : Grafiek waarin voor een aantal synoptische station het verschil in helderheidstemperatuur tussen de NOAA kanalen 4 en 3 is uitgezet tegen zichtwaarnemingen (Turner et al, 1986).

In figuur 3.3 zijn enkele resultaten uit Turner, 1986 afgebeeld. Het verschil in helderheidstemperatuur is uitgezet tegen het gemeten zicht voor elk beschikbaar station. Omdat er in de posities van de stations een onzekerheid van twee pixels zit, is in figuur 3.3 voor elk station de mediaan van de negen dichtstbijzijnde pixels genomen. De figuur laat een zwak verband zien tussen verschillen in helderheidstemperatuur en horizontaal zicht. Als het zicht afneemt, neemt het verschil langzaam toe. Het is niet mogelijk een grenswaarde voor ΔT te bepalen, waarboven het zicht minder dan 1000 meter wordt. Een verschil van 1K zou gebruikt kunnen worden om onderscheid te maken tussen meer of minder dan 150 meter zicht (Turner, 1986). In het onderzoek van hoofdstuk 4 zal worden nagegaan of er werkelijk een verband is tussen ΔT en het horizontale zicht.

Het feit dat ook bij goed zicht het verschil in helderheidstemperatuur positief blijft (0.4K), wijst erop dat de emissiviteit van land / zee enigszins verschilt in de golflengtegebieden van kanaal 3 en 4. Bij gelijke emissie-coëfficiënt zouden juist licht negatieve verschillen verwacht worden, omdat pixels die objecten met verschillende temperatuur bevatten warmer lijken bij $3.7\mu\text{m}$ dan bij $11\mu\text{m}$ (Turner, 1986).

Een studie van de Deense meteorologische dienst komt tot de conclusie dat het algoritme van Eyre betrouwbaar is als het gaat om detectie van mist en lage stratus, maar dat het niet in staat is onderscheid te maken tussen deze twee wolkensoorten (Dybbroe, 1993). Deze conclusie is deels gebaseerd op figuur 3.4: het resultaat van een onderzoek waarbij informatie van een aantal plaatsen in Europa gebruikt is. Uit de figuur blijkt dat voor de mistsituaties de meeste punten inderdaad liggen in de linkerbovenhoek: de plaats met aanzienlijke verschillen in helderheidstemperatuur en zichten van minder dan een kilometer. De gevallen waarin sprake is van lage stratus vertonen echter ook een aanzienlijk verschil in helderheidstemperatuur tussen de kanalen 3 en 4 van de AVHRR-radiometer. Zonder extra informatie is dus met dit algoritme bij een gegeven verschil in helderheidstemperatuur niet te zeggen of er sprake is van mist of lage stratus.



Figuur 3.4 : Verschil in helderheidstemperatuur tegen gerapporteerd zicht. '' staat voor mist, '8' voor stratus en 'x' voor onbewolkt en geen mist. Overige symbolen zijn tussenvormen. (Dybbroe, 1993.)*

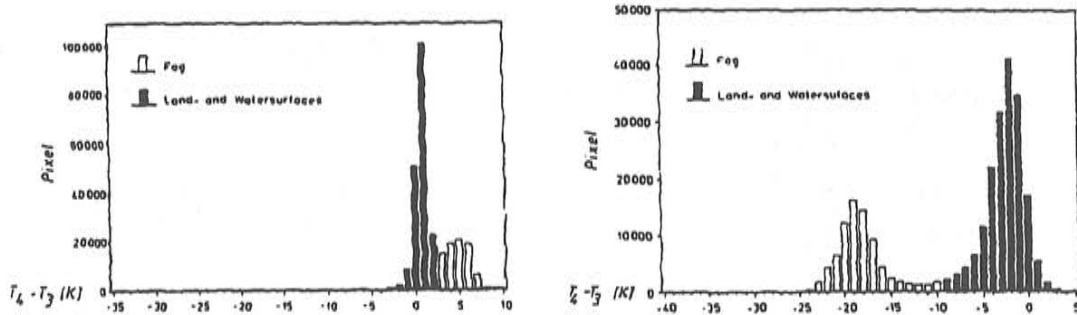
3.2.3 Mistdetectie in de Alpen en Noordrijn-Westfalen – jaren 90

Veelschrijver als het gaat over mistdetectie is de Duitser J. Bendix. In 1991 publiceerde hij samen met Bachmann twee artikelen over dit onderwerp (Bendix en Bachmann, 1991a; Bendix en Bachmann, 1991b). Voor mistdetectie bij nacht wordt voor een groot deel de methode van Eyre gevolgd. Speciale aandacht wordt gegeven aan de schemerings situatie en aan mistdetectie overdag. Als studiegebied fungeren de grote dalen in de Alpen (Po-vlakte, Zwitsers laagland en de Rijnvallei).

Mistdetectie bij nacht met behulp van het verschil in helderheidstemperatuur tussen de kanalen 3 en 4 van de NOAA satelliet, is uitgebreid aan de orde geweest in de vorige paragraaf. Hier zal voornamelijk worden ingegaan op Bendix' methode voor mistdetectie overdag. Ook hiervoor wordt gebruik gemaakt van een verschil in signaal tussen $11\mu\text{m}$ en $3.8\mu\text{m}$. Overdag is het kanaal dat waarneemt bij $3.8\mu\text{m}$ bij de NOAA-16 vervangen door een kanaal dat bij $1.6\mu\text{m}$ meet (zie hoofdstuk 2.3.1). Toch is het de moeite waard om deze methode nader te bestuderen. De MSG, die in de zomer van 2003 operationeel moet worden, beschikt namelijk wel over een kanaal bij $3.8\mu\text{m}$. Wellicht kan de aan oude NOAA beelden ontleende techniek een nuttige toepassing vinden op de MSG.

Doordat mistwolken bij $3.8\mu\text{m}$ een aanzienlijke hoeveelheid zonlicht reflecteren, zal de helderheidstemperatuur overdag hoger zijn dan bij $11\mu\text{m}$. Voor optisch dikke mist kan dit verschil oplopen tot bijna 40K (Bendix en Bachmann, 1991a). In een verschilbeeld waarin $T_{3.8}$ van T_{11} is afgetrokken, zullen mistvelden als donkere plekken naar voren komen.

Het verschilbeeld van de NOAA kanalen 4 en 3 vormt dus zowel 's nachts als overdag de basis van de detectiemethode van Bendix. De analyse van deze beelden vindt plaats met behulp van frequentiediagrammen. Door voor elke waarde van $T_4 - T_3$ het aantal pixels uit te zetten, ontstaan (hopelijk) pieken die karakteristiek zijn voor mist, land en andere oppervlakken. Op basis van deze histogrammen zijn grenswaarden af te leiden voor het gewenste kenmerk. In figuur 3.5 zijn twee typische frequentiediagrammen afgebeeld voor 's nachts (a) en overdag (b). Inderdaad is in beide diagrammen een duidelijk mistpiek te herkennen. Deels op basis van Eyre et al neemt Bendix voor de grenswaarde in de nachtsituatie 2.5K. Overdag wordt -12K als grenswaarde genomen (Bendix en Bachmann, 1991b).



Figuur 3.5 : Twee typische frequentiediagrammen voor de nacht- (links) en de dagsituatie (rechts) (Bendix & Bachmann, 1991b).

Met deze methode blijkt het in sommige gevallen mogelijk scheiding te maken tussen mistvelden van verschillende oorsprong (Bendix en Bachmann, 1991a). In het frequentiediagram verschijnen de afzonderlijke mistgebieden als twee gescheiden maxima. In Bendix en Bachmann (1991a) wordt een voorbeeld getoond van stralingsmist en frontale mist. Bij de frontale mist is het verschil in helderheidstemperatuur geringer: in de case-study ligt de piekwaarde bij de frontale mist bij -11K , bij stralingsmist ligt deze bij -26K . Dit verschil komt omdat de temperatuur van de frontale mist hoger is dan van de stralingsmist. Hierdoor bestaat de mist uit grotere druppeltjes, waardoor er bij $3.8\mu\text{m}$ minder zonnestraling gereflecteerd wordt. Dit voorbeeld maakt duidelijk dat verschil in mistsoort van invloed kan zijn op de classificatie.

Als de zon 's ochtends ('s avonds) opkomt (ondergaat), gaat kanaal 3 langzaam over van een infra-rood (zichtbaar licht) kanaal naar een zichtbaar licht (infra-rood) kanaal. Deze geleidelijke overgang zorgt voor problemen bij de mistdetectie. In een mistsituatie geldt dat bij zonshoogten onder de 0.5° het signaal van kanaal 3 ($3.8\mu\text{m}$) lager ligt dan dat van kanaal 4 ($11\mu\text{m}$). Bij zonshoogten tussen 0.5° en 1.5° compenseert de beginnende reflectie het door emissiviteitsverschillen ontstane verschil in helderheidstemperatuur. In dit geval geldt dat $T_4 - T_3 \approx 0$, zodat scheiding tussen land en mist niet mogelijk is. Bij zonshoogten hoger dan 1.5° domineert het reflectie-effect en laat het verschil tussen T_{11} en $T_{3.8}$ negatieve waarden zien (Bendix en Bachmann, 1991b). Tot zonshoogten van 11° neemt het reflectie-aandeel snel toe. Bij hogere zonnstanden mag het constant veronderstelt worden en kan de grenswaarde van -12K eenvoudig gehandhaafd worden (Bendix en Bachmann, 1991b).

Bij zonshoogten onder de 11° passen Bendix en Bachmann een correctieformule toe op het signaal van kanaal 3. Hierdoor wordt het signaal genormaliseerd voor zonshoogten van 11° en hoger. De formules in Bendix en Bachmann, 1991a en Bendix en Bachmann, 1991b zijn echter niet aan elkaar gelijk. Bovendien is niet geheel duidelijk wat elke factor precies voorstelt. Zie verder de bewuste artikelen.

In een aantal andere artikelen heeft Bendix de koppeling van satellietgegevens met het horizontale zicht bestudeerd. In een artikel uit 1995 (Bendix, 1995b) stelt Bendix zich ten doel met behulp van satellietgegevens een algoritme te ontwikkelen dat onderscheid kan maken tussen mist en lage stratus. Kwantitatief gezegd: tussen een horizontaal zicht van meer of minder dan 1000 meter.

Nadat met behulp van het verschil tussen kanaal 4 en 3 een binair mist-mask is aangebracht, wordt op basis van AVHRR kanaal 1 eerst de optische dikte van de mistlaag in het zichtbaar licht berekend (Bendix, 1995b). Het aanbrengen van het mask gebeurt omdat de zichtberekeningen alleen zin hebben voor mistpixels. De optische dikte (dimensieloos) is een maat voor stralingsuitdoving. Bij een optische dikte van 1 geldt dat slechts 37% van de straling het medium passeert. Er geldt (Velds, 1992):

$$E_\lambda = E_{\lambda,0} e^{-\delta} \quad (3.1)$$

Hierin staat δ voor de optische dikte en $E_{\lambda,0}$ voor het oorspronkelijk stralingssignaal en E_{λ} voor het opgevangen signaal. De zon is niet meer zichtbaar door de wolken als deze een optische dikte van 10 bereiken (Stephens, 1978).

Als de geometrische dikte (Δz) van de mistlaag bekend is, kan de optische dikte als volgt omgerekend worden naar extinctie (Stephens, 1977 in Bendix 1995b; Hunt, 1973).

$$\beta_{ext} = \frac{\delta}{\Delta z} \quad [m^{-1}] \quad (3.2)$$

De relatie tussen de extinctie en het horizontaal zicht wordt gegeven door de wet van Koschmieder:

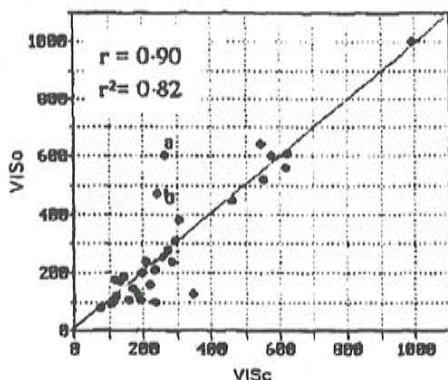
$$VIS = \frac{1}{\beta_{ext}} \ln\left(\frac{1}{\varepsilon}\right) = \frac{2.996}{\beta_{ext}} \quad (3.3)$$

Hierin staat ε voor een contrast-drempelwaarde. Voor deze waarde is 0.05 (5%) genomen: een waarde die veel gebruikt wordt voor de calibratie van transmissometers (Bendix, 1995b).

Sleutels tot een waarde voor het horizontale zicht zijn dus de optische en de geometrische dikte van de mistlaag. Het is bekend dat mistlagen aan de bovenkant in het algemeen begrensd wordt door een temperatuurinversie. De hoogte hiervan is af te leiden uit ballonoplatingen. Het verschil tussen de hoogte van de inversie en de hoogte van de waarnemingsplaats ten opzichte van zeeniveau geeft de geometrische dikte van de mistlaag (Bendix, 1993; Bendix, 1995b).

Bepaling van de optische dikte is slechts mogelijk bij golflengten kleiner dan $0.75\mu m$ (Stephens, 1977 in Bendix, 1995b). Alleen AVHRR-kanaal 1 ($0.58-0.68\mu m$) is hiervoor dus geschikt. De optische dikte van mist is direct gerelateerd aan het albedo van de mistlaag. Hoe het albedo bepaald wordt uit kanaal 1 wordt uitgebreid beschreven in Bendix (1995a). Het albedo blijkt vooral afhankelijk van de optische dikte en de effectieve druppelgrootte van de mistlaag.

Voor de bepaling van de optische dikte en de effectieve druppelgrootte maakt Bendix (2001) gebruik van een door Nakajima & Nakajima (1995) ontwikkelde methode. Elke combinatie van signalen van de AVHRR-kanalen 1 en 3 legt bepaalde waarden voor de optische dikte en de effectieve druppelgrootte vast. Om de reflectie van kanaal 3 vast te stellen, dient het gemeten signaal gecorrigeerd te worden voor de thermische straling van de aarde en de atmosfeer. Hierbij wordt onder andere gebruik gemaakt van AVHRR-kanaal 4 (Nakajima & Nakajima, 1995).



Figuur 3.6 : Relatie tussen gemeten en berekende zicht (Bendix, 1995a).

Ter validatie van de onderzoeken uit 1995 wordt gebruik gemaakt van een 19-tal transmissometers, die opgesteld staan op het Autobahntraject Aachen-Keulen (Bendix, 1995a). De resultaten van Bendix bieden perspectief. In Bendix (1995a) komt de standaarddeviatie tussen het geobserveerde en het berekende zicht uit op 56 meter. In het onderzoek beschreven in Bendix, 1995b, is de standaarddeviatie 53m. In figuur 3.6 zijn de resultaten van Bendix, 1995a afgebeeld.

3.2.4 Mistdetectie in Nederland

Als het gaat over mistdetectie zijn er in de literatuur weinig publicaties te vinden die specifiek gericht zijn op Nederland. In 1988 verscheen een BCRS-rapport van het KNMI waarin een aantal praktische toepassingen van NOAA-beelden onderzocht worden (Roozekrans en Prangma, 1988). BCRS staat voor BeleidsCommissie Remote Sensing.

In dit rapport wordt een case-study over mistdetectie beschreven. Er wordt gebruik gemaakt van de methode van Eyre (zie hoofdstuk 3.2.1). Elk pixel, waarvan T4-T3 groter is dan 1K, wordt als mistig beschouwd. Deze grenswaarde ligt dus lager dan in het onderzoek van Eyre (1984). Hierin wordt 2.5K als grenswaarde gehanteerd.

De resultaten van de case-study bieden perspectief. Het verschilbeeld is zonder twijfel beter in staat mist te detecteren dan een beeld van kanaal 4 alleen. In een vergelijking met 19 synopische stations, blijkt dat voor slechts drie stations de zichtwaarnemingen niet overeenkomen met de berekeningen.

Een histogramanalyse laat zien, dat bij temperatuurverschillen tot 1K er weinig te zeggen is over het zicht. Worden de verschillen groter, dan neemt het zicht drastisch af. Zoals in hoofdstuk 3.2.1 beschreven, wordt een soortgelijke conclusie getrokken door Turner (1986).

3.2.5 Dissipatie

Het komt vaak voor dat in de loop van de nacht een laag stralingsmist ontstaat, die als de zon opkomt langzaam oplost onder invloed van de zonnestraling. Door de opwarming wordt de mistlaag dunner en krimpt vanaf de randen ineen. Het al dan niet aanwezig zijn van wolken is van belang voor de snelheid waarmee de mist oplost. Er blijkt een relatie te zijn tussen het albedo van de mist en de tijd die nodig is om de laag op te lossen (Anthis & Cracknell, 1999). Hiervoor wordt gebruik gemaakt van het zichtbaar licht kanaal van de Meteosat. Hoe lager het albedo van de mist, des te sneller de laag op kan lossen.

Anthis & Cracknell (1999) onderzochten deze relatie voor een mistsituatie in Griekenland. Om atmosfereffecten grotendeels uit te sluiten wordt het verschil genomen tussen het signaal boven land en boven mist. Uit de resultaten blijkt dat er tot twee uur voor het oplossen van de mist een lineair verband is tussen het mist-albedo en de tijd die het nog kost om de mist op te lossen.

Een ander onderzoek op dit gebied verscheen in 1997 (Reudenbach & Bendix, 1997). De methode die zij gebruiken gaat ervan uit dat de mist opgelost is, als alle waterdruppeltjes verdampt zijn. Hiervoor wordt eerst een soort kritische temperatuur berekend. De tijd die voor het oplossen nodig is hangt af van hoelang het duurt voordat de temperatuur in de mistlaag even groot geworden is als de kritische temperatuur (Petkovsek, 1972 in Reudenbach & Bendix, 1997).

3.2.6 Conclusies

Voor het detecteren van mist wordt in veel onderzoeken gebruik gemaakt van de afwijkende stralingseigenschappen van mist bij 3.8 μ m. Een verschilbeeld van de NOAA-kanaal 4 en 3 ($T_{11\mu m} - T_{3.8\mu m}$) blijkt in de nacht een goed inzicht te geven in de ruimtelijke verspreiding van een mistlaag. In een aantal onderzoeken worden nog aanvullende testen toegevoegd, maar het is de vraag in hoeverre deze toegevoegde waarde hebben.

Bij mistdetectie overdag zijn ook de zichtbaar licht kanalen beschikbaar. Dit maakt de detectie een stuk gemakkelijker. De meeste onderzoeken zijn dan ook gericht op mistdetectie bij nacht. Overdag kan door gereflecteerd zonlicht geen gebruik gemaakt worden van de specifieke emissie-eigenschappen van mist bij 3.8 μ m. Toch lijkt mistdetectie met NOAA kanaal 3 overdag mogelijk, zoals beschreven in hoofdstuk 3.2.3.

De schemering is veruit het lastigste tijdstip voor mistdetectie. De zichtbaar licht kanalen geven een verward beeld van wolken en schaduwen en het 3.8 μ m-kanaal schuift langzaam op van een IR-kanaal in de richting van een zichtbaar licht kanaal. Een correctiefunctie kan hier uitkomst bieden.

De relatie tussen de grootte van $T_{11\mu\text{m}} - T_{3.8\mu\text{m}}$ en het horizontale zicht blijkt niet eenvoudig. Een aantal onderzoeken doen een poging om een verband te vinden. De resultaten spreken elkaar behoorlijk tegen. De een concludeert dat er helemaal geen verband is, een ander vindt bij grotere verschillen kleiner wordende zichtwaarden. In hoofdstuk 4 zal in het eigen onderzoek naar dit verband gekeken worden.

Overdag lijkt het horizontaal zicht berekend kunnen worden uit het albedo van de mistlaag. In verschillende onderzoeken zijn hier hoopgevende resultaten mee geboekt. Het vaststellen van een nauwkeurig albedo is echter behoorlijk ingewikkeld.

3.3 Wolkenclassificatie

Al snel nadat de eerste weersatellieten hun beelden naar de aarde zonden, verschenen er artikelen over wolkenclassificatie in de literatuur. Omdat het in deze studie niet gaat om wolkendetectie in het algemeen maar over mist (en lage stratus), zullen de verschillende onderzoeken slechts behandeld worden voor zover ze gericht zijn op mist en lage stratus. Om toch een beeld te geven van een wolkendetectieschema als geheel zal het APOLLO algoritme, wat voor veel andere onderzoeken als basis dient, wel in z'n geheel besproken worden.

Gebruikers van satellietdata zien wolken of als obstakel of als onderzoeksobject. Hieruit volgt dat een goede wolkendetectie om minstens twee redenen belangrijk is. Ten eerste is het voor waarneming van het aardoppervlak noodzakelijk om bewolkte pixels uit te filteren. Ongeacht de soort bewolking. Wolken die ongedetecteerd blijven, geven een onzuiver beeld van de gemeten parameter (bijvoorbeeld zeewatertemperatuur of vegetatie-index). Ten tweede kunnen parameters als wolken-top temperatuur en optische dikte niet nauwkeurig gemeten worden als er een gat in de bewolking zit. Uit het satellietbeeld moet dus vastgesteld kunnen worden of de betreffend pixel al dan niet geheel bewolkt is. Zo niet, dan kan het niet gebruikt worden voor bepaling van bijvoorbeeld de wolken-top temperatuur (Kriebel, 1999).

3.3.1 APOLLO

Het APOLLO (AVHRR Processing Over Land cLOUD and Ocean) detectieschema staat aan de basis van veel latere onderzoeken naar wolkenclassificatie. Saunders & Kriebel (1988) beschrijven een algoritme dat wolkenvrije en geheel met wolken bedekte pixels detecteert. Het is het eerste algoritme waarbij alle vijf AVHRR-kanalen gebruikt worden.

Voor de detectie van wolkenvrije pixels wordt elk pixel aan een vijftal tests onderworpen. Als deze alle vijf negatief zijn, wordt het bewuste pixel als wolkenvrij beschouwd. Omdat de zichtbaar licht kanalen 's nachts niet beschikbaar zijn, hebben de dag- en nachtsituatie hun eigen algoritme.

Voor de nachtsituatie wordt gebruik gemaakt van de AVHRR-kanalen 3, 4 en 5. Hier volgt een overzicht van de opeenvolgende testen zoals beschreven in Saunders & Kriebel (1988) (nachtsituatie).

1. Infra-rood threshold test.

Er wordt gebruik gemaakt van het $12\mu\text{m}$ -kanaal (#5). Als de gemeten helderheidstemperatuur lager is dan een zekere grenswaarde, wordt het bewuste pixel als (gedeeltelijk) bewolkt beschouwd. Het bepalen van een geschikte grenswaarde boven land is lastig. Dit komt door de grote dagelijkse gang van de temperatuur van het aardoppervlak. Bij het bepalen van een grenswaarde zou een gemeten of verwachte oppervlaktetemperatuur gebruikt kunnen worden. Er wordt gebruik gemaakt van de verwachte *skin temperature* van een meso-schaalmodel. Boven zee zijn er minder moeilijkheden, omdat de zeewatertemperatuur gedurende het jaar en de dag slechts langzaam verandert. Bovendien is de temperatuur van het zeewater goed bekend. De grenswaarde is dus niet constant, maar moet voortdurend aangepast worden aan de temperatuur van het aardoppervlak.

2. Local uniformity test

Deze test wordt toegepast op een 3x3 pixel array van 11 μ m-helderheidstemperaturen. Op deze manier kunnen ruimtelijke temperatuurvariaties gedetecteerd worden. De temperatuurvariaties van bewolkte pixels zijn groter dan voor onbewolkte pixels. Boven zee wordt bij een standaarddeviatie groter dan 0.2K het pixel als (gedeeltelijk) bewolkt beschouwd. Boven land is deze test overdag onmogelijk, omdat de variaties in temperatuur te groot zijn. 's Nachts is de test wel mogelijk boven land: als grenswaarde voor de standaarddeviatie wordt dan 1K genomen.

3. Mist / lage stratus test

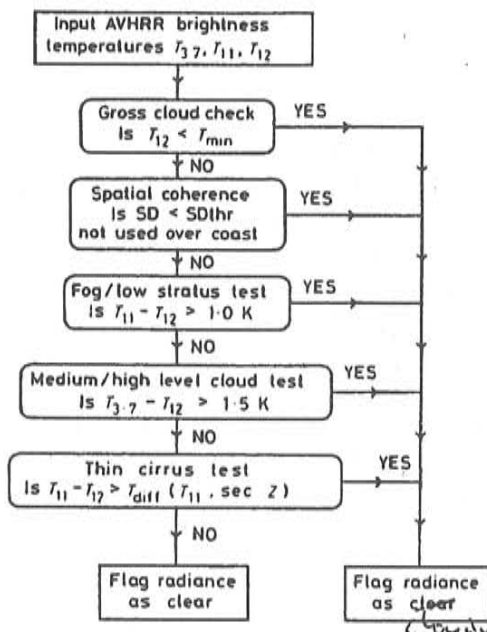
Pixels waarvoor geldt dat $T_{11} - T_{3.7} > 1K$ worden als (gedeeltelijk) bewolkt beschouwd. Deze test is uitvoerig beschreven in hoofdstuk 3.2.

4. Middelbare en hoge wolken test

Als $T_{3.7} - T_{12} > 1.5K$ wordt het pixel als (gedeeltelijk) bewolkt beschouwd. Op deze manier worden gedeeltelijk bewolkte pixels, semi-transparante wolken en de meeste middelbare en hoge wolken gedetecteerd.

5. Dunne cirrus test

De laatste test maakt gebruik van het temperatuurverschil bij 11 en bij 12 μ m. Door emissiviteitsverschillen bij deze golflengten wordt op deze manier dunne cirrus gedetecteerd. Bij een verschil van 1 á 2K tussen beide kanalen wordt aangenomen dat er sprake is van (gedeeltelijke) bewolking. De precieze grootte van de drempelwaarde is afhankelijk van de temperatuur.



Figuur 3.7 : Het algoritme dat in het APOLLO-schema gebruikt wordt ter detectie van pixels met bewolking (nachtsituatie) (Saunders & Kriebel, 1988).

stratus gebieden blijven bij de andere testen ongedetecteerd. In het onderzochte geval blijken echter een aantal als mist gedetecteerde pixels te bestaan uit een 7/8 stratocumulusveld dat zich op 1000 meter hoogte bevindt.

In Kriebel et al (1997) worden een aantal verbeteringen voor het algoritme voorgesteld. De detectie van wolken boven een kale / aride bodem en in de buurt van thermische fronten op zee blijkt problematisch. Deze gebieden worden door APOLLO vaak onterecht voor wolken aangezien. Door een aantal testen anders toe te passen en enkele testen uit te breiden wordt geprobeerd de detectie ook hier betrouwbaar te maken.

3.3.2 Enkele andere wolkendetectiestudies

- Putsay et al (2001) / Kerény (1995)

Doel is het detecteren van mist bij nacht. Net als in het APOLLO-schema wordt voor het onderscheiden van mist / lage stratus gebruik gemaakt van het verschil in helderheidstemperatuur van kanaal 3 en 4 (NOAA). Als grenswaarde wordt 1.5K gehanteerd. Om de mistdetectie zo zuiver mogelijk te houden, worden pixels die voldoen aan het 'misticriterium' maar waarvoor geldt dat T4-T5 groter is dan een bepaalde grenswaarde verworpen. Deze grenswaarde wordt overschreden bij gebroken of semi-transparante bewolking. In het APOLLO-schema wordt deze test gebruikt om dunne cirrus te detecteren (zie vorige paragraaf).

Het resultaat is een cloud mask waarin onderscheid is gemaakt naar wolkensoort. Validatie van de pixels die mist detecteren vindt plaats met synops-gegevens. In 82% van de gevallen wordt de aanwezigheid van mist of lage stratus door de waarnemingen bevestigd. Tevens wordt gebruik gemaakt van radarmetingen.

Ook Kerény (1995) borduurt voort op het APOLLO-schema. Speciale aandacht wordt besteed aan het detecteren van sneeuw. (Sinds 1999 zijn de mogelijkheden voor sneeuwdetectie erg verbeterd door het toevoegen van een 1.6 μ m-kanaal aan de AVHRR.) Verder worden er andere grenswaarden gebruikt dan bij APOLLO.

- Hyvärinen (2001)

Met behulp van een statistische methode worden pixels in een aantal wolkenklassen ingedeeld. Dit onderzoek maakt gebruik van een neurale netwerk.

Een van de klassen is 'water clouds'. Nadat de pixels in de hoofdklassen zijn ingedeeld, wordt er met behulp van extra gegevens geprobeerd het de classificatie te verfijnen. Eerst worden zichtwaarnemingen van waarnemingsstations in een grid gezet. Pixels op basis hiervan een zicht van minder dan 1000 meter hebben en in de klasse 'water clouds' zitten, worden uiteindelijk als mist geklassificeerd.

- Derrien & Le Gléau (1999)

Bij de detectie wordt gebruik gemaakt van spectrale kenmerken (kanaalwaarden en verschillen tussen kanalen) en textuur kenmerken (horizontale variatie van het signaal). Bij het indelen naar wolkenhoogte wordt gebruik gemaakt van de verticale temperatuurverwachtingen van numerieke weermodellen. Door deze te vergelijken met de 11 μ m-temperatuur kan een schatting gemaakt worden van de hoogte van de wolk.

- Papin et al (1999)

In dit onderzoek wordt een manier beschreven om bij nacht met behulp van het IR-kanaal van de Meteosat lage bewolking te detecteren. Eerst wordt met een eenvoudige thresholdtest de meeste middelbare en hoge bewolking uitgefilterd. Hierna wordt de lage bewolking gedetecteerd met behulp van een tweetal kenmerken: een temperatuurwaarde en een bewegingswaarde. Hiervoor worden opeenvolgende satellietbeelden gebruikt.

- D'Entremont (1986)

Dit artikel is gericht op de detectie van lage en middelbare bewolking. Er wordt gebruik gemaakt van de AVHRR-kanalen 3,4 en 5. Er wordt diep ingegaan op de stralings eigenschappen van wolken in de golflengtegebieden van de gebruikte kanalen.

4. Beschrijving case-studies

4.1 Onderzoeksmiddelen

4.1.1 De satellietbeelden

Het onderzoek is verricht met beelden van de NOAA-15 en -16 satelliet. Bij elke omloop van de NOAA satelliet worden de beelden doorgestraald naar het grondstation in De Bilt. Na ontvangst en calibratie, wordt een uitsnede van de beelden opgeslagen in het Massa Opslag Systeem (MOS) van het KNMI.

Nadat de beelden opgehaald zijn uit het MOS, volgt verdere bewerking. De beelden worden onder andere omgezet in het juiste digitale formaat, in een geschikte geometrische projectie gezet (polair stereografisch) en genavigeerd. Dit laatste betekent dat het satellietbeeld op de juiste plaats in het coördinatenstelsel gelegd wordt. Dit is nodig omdat automatische berekeningen een kleine fout maken als gevolg van onzekerheid in de precieze baangegevens van de satelliet. Het navigeren gebeurt handmatig en op basis van kustlijnfittig.

De opgeslagen beelden omvatten de gehele Noordzee met aanliggende kusten. Geheel Nederland valt binnen het beeld. De noordwestpunt van het beeld ligt op 60°NB en 3°WL, het zuidoostpunt op 50°NB en 9°OL, de resolutie bedraagt 1km. Het beeld meet 848 pixels in de breedte en 1100 pixels in de lengte. Het onderzoek naar de case studies is uitgevoerd met een vaste uitsnede van dit gebied. Deze uitsnede omvat Nederland en de directe omgeving.

4.1.2 Hulpprogrammaatjes

Om de NOAA beelden goed te kunnen analyseren zijn enkele eenvoudige hulpprogramma's geschreven in C. De volgende tooltjes zijn gebruikt.

- *NOAA2ppm*: Dit programma zet de correct geprojecteerde en genavigeerde beelden om in een ppm-formaat. Hierin zijn de beelden opgeslagen in grijstinten. Elk pixel heeft een waarde in de range van 0 tot en met 255. Deze getalswaarde wordt opgeslagen als een ascii-teken. Elk pixel neemt dus 1 byte aan geheugen in beslag. Het ppm-formaat kenmerkt zich verder door een specifieke header, die er hier verder niet toe doet.
- *4min3h*: Dit programma leest twee ppm-files in en trekt de twee files op pixelbasis van elkaar af. Zo ontstaat bijvoorbeeld een verschilbeeld van kanaal 4 en 3 van de NOAA satelliet.
- *Histoppm*: Dit programma produceert een frequentieverdeling van een ppm-file, die als invoer dient. Zo'n frequentiediagram kan behulpzaam zijn bij het bepalen van grenswaarden tussen bijvoorbeeld bewolking of land.
- *Overlay*: Dit programma legt een file met de posities van synoptische stations over een satellietbeeld heen. Hiervoor moet eerst een ppm-file met enkel stations worden gemaakt: als er geen station is heeft het pixel de waarde 0, is er wel een station dan heeft het pixel de waarde 255. De file met stationsinfo (Geodata.ppm) wordt gemaakt door een file te vullen met nullen en enen, met als input een txt-file met stationscoördinaten. Dit gebeurt in het programma 'posfile'. Doel van dit programma is een betere orientatie op het satellietbeeld.
- *Scatter*: Dit programma is bedoeld om een scatterplot te maken van een verschilbeeld tussen kanaal 4 en 3 en een enkel kanaal 4 beeld. Verschillende kenmerken vormen in dit scatterplot verschillende clusters. Het scatterplot biedt dus de mogelijkheid om een verschilbeeld met een 'normaal' beeld met elkaar te vergelijken.
- *Uniform*: Dit programma berekent de ruimtelijke variatie in een beeld. Oppervlakken met een egale structuur kunnen zo gescheiden worden van oppervlakken die veel variatie vertonen. Het programma berekent de standaarddeviatie van een 3x3 venstertje van pixels. Het is een lopend venster: twee opeenvolgende vensters overlappen elkaar dus voor 2/3. Omdat mistvelden zeer weinig ruimtelijke variatie vertonen kan dit programmaatje een hulpmiddel zijn bij het detecteren van mist.
- *Zicht*: Dit programma is bedoeld om voor specifieke stations een concrete waarde te verkrijgen van een satellietbeeld. In dit onderzoek gaat het om de waarde van het

verschilbeeld tussen kanaal 4 en 3 van de NOAA satelliet. Omdat de positie van de stations niet exact is, wordt niet zomaar de waarde genomen van het pixel dat op de plaats van het station lijkt te liggen, maar de mediaan van de 9 pixels, die er het dichtste bij liggen. Zo wordt voorkomen dat kleine fouten in positie een rol spelen. De mediaan is gekozen boven het gemiddelde om zo de invloed van foute waarden (uitschieters) te minimaliseren. Een vergelijking van de output van dit programma met zichtwaarnemingen is een goed middel om de relatie tussen het helderheidstemperatuurverschil tussen kanaal 4 en 3 en de zichtwaarden te onderzoeken.

4.1.3 Overige hulpmiddelen

Naast de in hoofdstuk 4.1.2 genoemde C-programmaatjes zijn de volgende hulpmiddelen bij de analyse gebruikt.

- Zichtwaarnemingen van synoptische stations in Nederland, België, Duitsland en Engeland. De waarnemingen zijn gebruikt ter validatie
- Gegevens van radiosondeoplatingen. Uit de temps is veel informatie te halen over vocht aan de grond, inversies en wolkenlagen.
- Analyses van de gronddruk en het 500hPa drukvlak. Deze zijn gebruikt als basis voor een beknopte beschrijving van de synoptische situatie van elke case.
- Gratis NOAA beelden (lage resolutie) van Dundee. Deze beelden zijn met name gebruikt voor een 'quick look' en om de ontwikkeling van mistvelden in de tijd globaal te kunnen volgen.

4.2 Case-studies

4.2.1 Selectie en onderzoeksmethode

In het vorige hoofdstuk is een beschrijving gegeven van wat er in de literatuur te vinden is over mistdetectie met satellieten. In dit hoofdstuk zal onderzocht worden wat er nu eigenlijk in de praktijk mogelijk is als het over dit onderwerp gaat. In de vele geciteerde onderzoeken, worden bij elkaar een groot aantal mistsituaties op verschillende plaatsen in Europa onderzocht. Om een uitspraak te kunnen doen over de geldigheid van verschillende algorithmen zijn in dit onderzoek een tiental mistsituaties onderzocht. De meeste aandacht zal uitgaan naar de methode die werkt met het verschil in helderheidstemperatuur tussen de NOAA kanalen 4 en 3. Vanuit de literatuur lijkt dit de meest vruchtbare methode. Ook zullen de prestaties van een test naar de ruimtelijke variatie van de temperatuur in het kanaal 4 beeld (NOAA) geanalyseerd worden.

De opzet van dit onderzoek is anders dan van de meeste onderzoeken zoals die gepubliceerd zijn in de literatuur. In het merendeel van de bestudeerde artikelen worden een of twee ideale mistsituaties geanalyseerd. In dit onderzoek wordt geprobeerd door het onderzoeken van meerdere situaties een algemeen beeld te geven van de betrouwbaarheid van bepaalde algorithmen. Doel is om een product af te leveren wat door de operationele meteoroloog te gebruiken is in de weerkamer. Hiertoe zijn naast ideale situaties ook lastige situaties opgenomen, om zo een beter beeld te krijgen van hoe de algorithmen onder verschillende omstandigheden presteren.

Juist in de periode van het onderzoek (met name in de maand maart 2003) deden zich in Nederland een groot aantal geschikte situaties voor. Het is niet nodig geweest om diep in de archieven terug te gaan; er kon gewerkt worden met actuele data.

Elke case-study begint met een korte schets van de heersende synoptische situatie. Vervolgens zal aan de hand van satellietbeelden, de in hoofdstuk 4.1 beschreven hulpmiddelen en synoptische waarnemingen de individuele mistsituatie geanalyseerd worden, waarna per situatie een of meer conclusies zullen worden getrokken. In hoofdstuk 6 zullen de conclusies van de afzonderlijke situaties samengevoegd en gerangschikt worden.

In de *bijlage* is voor elke case-study een drietal beelden opgenomen: een verschilbeeld kanaal 4 – kanaal 3, een onbewerkt kanaal 4 beeld en een plaatje van de ruimtelijke variatie in het kanaal 4 beeld.

4.2.2 Analyse afzonderlijke case-studies

- 11 februari 2003

Synoptische situatie

Boven Europa is de westcirculatie geblokkeerd door de aanwezigheid van een omvangrijk hogedrukgebied. Nederland bevindt zich aan de westflank van dit hoog. Een vanaf de Atlantische Oceaan inkomend oclusiefrent nadert de blokkade. In de loop van de nacht wordt de lucht boven Nederland vochtiger en ontstaat op veel plaatsen rond 5:00 UTC stralingsmist. Wellicht heeft het nabijgekomen front voor enige vochtadvectie gezorgd. De grootschalige stralingsmist ontstond pas later in de nacht, met name in West Nederland. Vroeger in de nacht lag er een gebied met lage bewolking en mist nabij de grens met België. Overdag was de zonne-energie niet toereikend om de mistlaag op te lossen. Wel was in de loop van de dag te zien dat de mistplak enigszins inkromp door opwarming en menging aan de randen.

Analyse

Het tijdstip van de NOAA-passage waarvan beelden gebruikt zijn is 2:17 UTC. Om 2:00 rapporteren de station Gilze Rijen en Eindhoven respectievelijk zichten van 300 - 400 (VV = 3) en 0 - 100 meter (VV = 0). De zichten van de overige Nederlandse stations liggen tussen de 2 en de 3 kilometer.

Op het kanaal 4 beeld (K4), is duidelijk te zien dat er in een gebied ten oosten van Zeeland lage bewolking of mist aanwezig is. De nauwelijks van het oppervlak afwijkende temperatuur en de 'gladde' structuur van de laag wijzen daarop. Dit laatste is ook duidelijk te zien op het kaartje waar de ruimtelijke variaties in temperatuur zijn weergegeven.

In het verschilbeeld van kanaal 4 – kanaal 3 (K4-K3) springt het gebied boven Brabant er het duidelijkst uit. Het verschil in helderheidstemperatuur tussen de twee kanalen (?T4-3) bedraagt zo'n 4°C. In het noordoosten van het beeld bevindt zich een stratusveld. Ook hier ligt ?T4-3 rond de 4°C. In Noord Holland zijn ook duidelijk positieve waarden van ?T4-3 te zien. Deze liggen echter wel een stuk lager: in de orde van 1 á 2°C.

Het lijkt er dus op dat het K4-K3 beeld een bruikbaar hulpmiddel kan zijn bij de detectie van mist bij nacht. Uit deze situatie blijkt echter ook dat het niet eenvoudig is om op basis van dit beeld onderscheid te maken tussen mist en (lage) stratus. Ook het gebied in Noord-Holland noteert bijvoorbeeld positieve waarden van ?T4-3, terwijl de stations in dit gebied zichten van rond de 3 kilometer rapporteren.

Conclusie

→ Het K4-K3 beeld lijkt 's nachts een belangrijk hulpmiddel voor de detectie van lage stratus en mist.

→ Het onderscheiden van mist en stratus is een probleem bij de K4-K3 methode.

- 12 februari 2003

Synoptische situatie

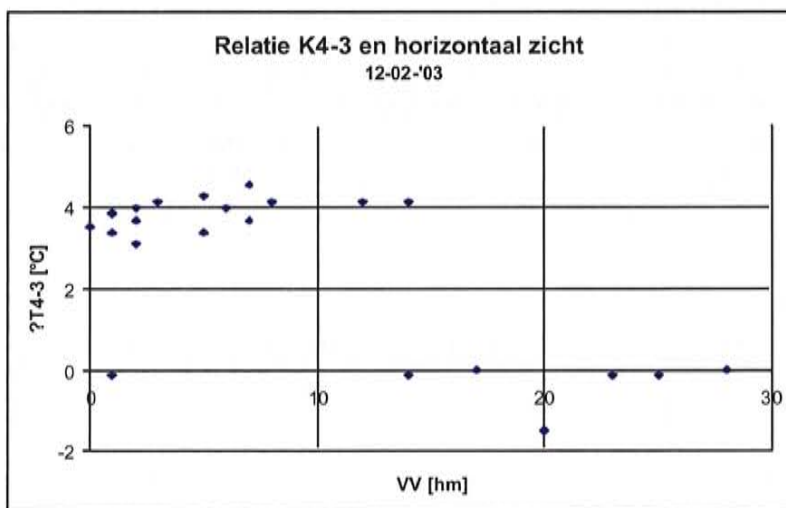
Door de aanwezigheid van een persistent hogedrukgebied boven Europa is de westcirculatie in onze omgeving geblokkeerd. Het oclusiefrent boven Engeland en Schotland is tot stilstand gekomen en lost langzaam op. Het mistveld dat zich 11 februari overdag gehandhaafd heeft, breidt zich in de loop van de nacht weer uit. Overdag, de 12^e, lost de mist langzaam op en gaat over in lage stratus. De zwakke zuidelijke stroming krimpt in de loop van de dag naar oostelijke richtingen, waardoor aan het eind van de middag het in het hele land vanuit het oosten opgeklaard is.

Analyse

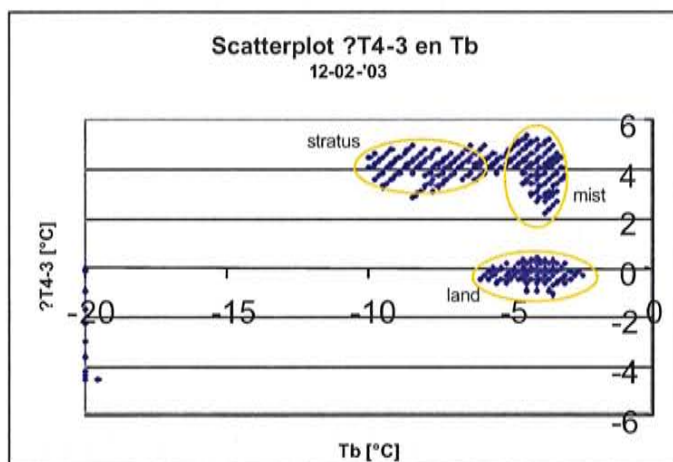
Gebruikt zijn beelden van de NOAA passage van 2:05 UTC. Ter validatie zijn synopsgegevens van 2:00 UTC gebruikt. Op het NOAA K4 beeld is het mistgebied boven West Nederland te herkennen als een egaal grijs gebied waarin geen topografische kenmerken zoals kustlijnen en rivieren in zijn te vinden. De begrenzing van het mistveld is boven land moeilijk vast te stellen, omdat de stralingstemperaturen van de mist en het landoppervlak aan elkaar gelijk zijn. Nadere analyse van het beeld geeft aan dat deze temperatuur -4°C bedraagt. Het wat koudere gebied in het zuidwesten heeft een temperatuur van -7°C .

In het NOAA K4-K3 beeld steekt het mistgebied boven West Nederland zeer duidelijk af tegen het omringende onbewolkte landoppervlak. Boven onbewolkt land ligt het verschil in helderheidstemperatuur ($?T4-3$) tussen de -0.2 en de 0.2°C , in het mistgebied bedraagt dit verschil 4°C . Toch is met het NOAA K4-K3 beeld niet eenduidig te zeggen of er al dan niet mist voorkomt. Ook het gebied in het zuidwesten van het beeld geeft een $?T4-3$ van 4°C , terwijl een groot deel van de stations in dit gebied geen mist rapporteert.

Om te zien of er een relatie bestaat tussen de zichtwaarden onder de 1000 meter en de grootte van $?T4-3$, is in figuur 4.1 voor een aantal Nederlandse stations $?T4-3$ uitgezet tegen het waargenomen zicht. Het gebied met stratus (boven Duitsland), dat gelijke waarden van $?T4-3$ heeft als het Nederlandse mistgebied, wordt dus niet bij deze analyse betrokken. Figuur 4.1 maakt duidelijk dat op enkele uitschieters na, stations met zichtwaarden onder de 1000 meter



Figuur 4.1 : Voor een aantal synoptische stations is de grootte van $?T4-3$ uitgezet tegen het horizontaal zicht.



Figuur 4.2 : Een vergelijking tussen het K4-3 beeld en het K4 beeld door middel van een scatterdiagram. Hierdoor kan meer informatie zichtbaar worden gemaakt.

inderdaad hoge waarde van $?T4-3$ te hebben. Dit was visueel ook al geconstateerd. De uitschieters worden deels veroorzaakt door het tijdsverschil tussen de satellietopname en de waarnemingen. Een station als Eelde zat bijvoorbeeld ten tijde van de waarneming nog niet in de mist ($VV=14$), en bij de satellietpassage net wel. De waarnemingen van 2:00 UTC worden trouwens gevormd door de gemiddelde zichtwaarde van de tien minuten ervoor. De 2:05 UTC van de satellietopname betekent dat op dit tijdstip de

satelliet in De Bilt boven de horizon verscheen. Hierna duurt het nog zo'n zeven minuten voordat het gebied rond Nederland daadwerkelijk gescand wordt.

Bij de stations die mist rapporteren is er niets wat erop wijst dat dichtere mist gepaard gaat met hogere waarden van τ_{T4-3} . Een K4-K3 beeld kan dus niet gebruikt worden om voor een bepaalde plaats een zichtwaarde af te leiden.

Door middel van histogramanalyse zijn het K4 en het K4-K3 beeld verder met elkaar vergeleken. Figuur 4.2 is een scatterplot waarin per pixel de stralingstemperatuur in kanaal 4 en de τ_{T4-3} tegen elkaar zijn uitgezet. Alleen combinaties die meer dan 200 keer voorkomen zijn in de figuur opgenomen. In de scatterplot zijn duidelijk drie clusters te herkennen: het onbewolkte land, het mistgebied en de stratus in het zuidoosten van het beeld. De punten met een helderheidstemperatuur van -20°C en negatieve τ_{T4-3} staan voor de hoge bewolking van het front op de Noordzee

De ruimtelijke variatietest laat hetzelfde beeld zien als de K4-K3 methode: de gebieden met een lage standaarddeviatie over een 3×3 box komen vrijwel overeen met de gebieden met positieve τ_{T4-3} . Als grenswaarde zou in deze situatie een standaarddeviatie van 0.2°C genomen kunnen worden. In mist en stratus velden is de variatie kleiner, boven onbewolkt land en bij andere bewolking is de ruimtelijke variatie groter. Ook met behulp van deze test worden de mistgebieden en de stratusvelden niet onderscheiden.

Opvallend zijn de positieve waarden van τ_{T4-3} in het Maasdal ter hoogte van Charleroi. Op het K4-beeld is op deze plaats niets bijzonders te zien. Uit de topografie blijkt dat zich op deze plaats een depressie in het landschap bevindt. In de loop van de nacht heeft de koudste lucht zich op het laagste punt verzameld. In deze lucht is vervolgens een laag stralingsmist ontstaan. De hoogteverschillen in het landschap bedragen rond de 150 meter. Dit is tevens een indicatie voor de dikte van de mistlaag ter plekke. De ruimtelijke schaal van dit mistveld is te klein om door de variatietest meegenomen te kunnen worden.

Conclusies

- Op een kanaal 4 beeld is de begrenzing van een nachtelijk mistveld vaak moeilijk vast te stellen.
- Op een K4-K3 beeld is de begrenzing van een mistveld zeer nauwkeurig te zien.
- Stratus en mist zijn in het K4-K3 beeld te onderscheiden met behulp van het K4 beeld als de stratuslaag zich tot enige hoogte uitstrekt. In dit geval heeft de stratus een lagere stralingstemperatuur dan de mist.
- Er lijkt geen relatie te zijn tussen de grootte van het verschil in helderheidstemperatuur en het zicht.
- Een beeld van de ruimtelijke variatie in een K4 beeld geeft beduidend meer informatie over mist dan een onbewerkt kanaal 4 beeld.
- Ruimtelijke variatie test geeft geen houvast om mist van stratus te onderscheiden.

- 7 maart 2003

Synoptische situatie

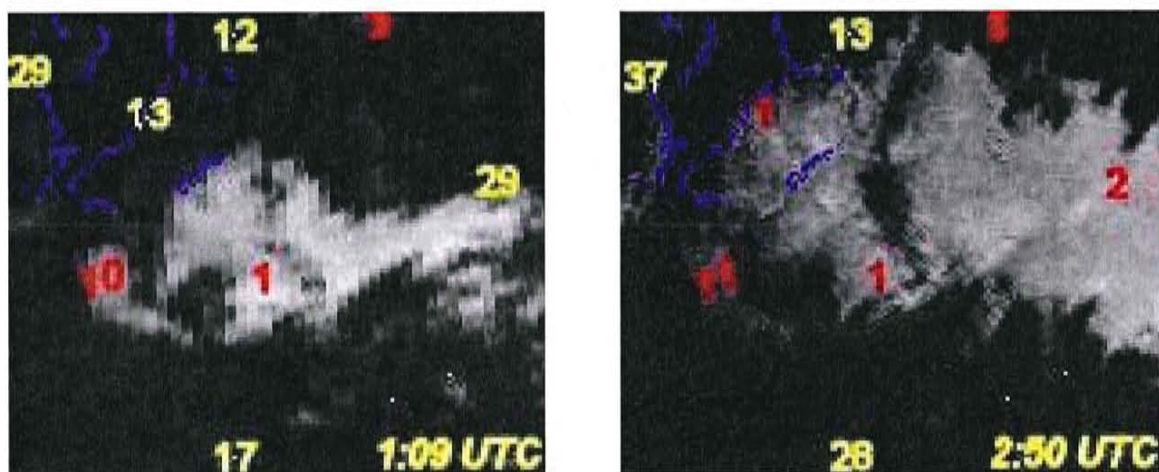
In de loop van 6 maart passeerde een koufront, waarna het vanuit het westen langzaam opklaarde. De koude lucht achter het front is relatief vochtig. Na de frontpassage passeert in de nacht een hoogterug. Door de zwakke luchtdrukgradiënt staat er weinig wind en kan in de nacht door stralingsafkoeling verspreid door het land mist ontstaan. Rond 3:00 UTC bereikt

hoge bewolking het zuidwesten van het land. Deze bewolking hoort bij een zwakke storing die in de loop van de dag Nederland passeert.

Analyse

Opvallend is dat in het K4-K3 beeld van 2:50 UTC een aantal orografische elementen te herkennen is. Voor deze situatie is naast het 'standaardplaatje' in de bijlagen figuur 4.3 opgenomen. Hierin is van twee opeenvolgende NOAA passages een uitsnede afgebeeld van het betreffende gebied.

Tegen de westflank van de Utrechtse Heuvelrug ligt een band met positieve waarden van τ_{T4-3} . In deze band liggen de stations De Bilt en Soesterberg, die om 3:00 UTC beide zichten van tussen de 100 en 200 meter rapporteren. De Utrechtse Heuvelrug zelf lijkt mistvrij te zijn. Wat verder naar het oosten steekt ook het hoogste deel van de Veluwe met zijn karakteristieke vorm boven de mist uit. Een vergelijking van het K4-K3 beeld met een hoogtekartaart maakt duidelijk dat dit ruwweg geldt voor het gebied wat hoger ligt dan 50 meter boven NAP.



Figuur 4.3 : Door twee opeenvolgende NOAA K4-K3 beelden te vergelijken kan de ontwikkeling van mistvelden gevolgd worden. De orografie van de Utrechtse Heuvelrug en de kam van de Veluwe springen in het oog.

Op de beelden van de vorige omloop van de satelliet (1:09 UTC) zijn de genoemde gebieden ook al herkenbaar. Door de oostelijke baan van de satelliet is door de toegenomen kijkhoek de resolutie kleiner dan bij de volgende passage. Ook op dit beeld van 1:09 UTC contrasteren de Heuvelrug en de Veluwe met het omringende gebied. Duidelijk is wel dat het mistveld zich in de tussenliggende twee uur heeft uitgebreid. Flevoland is in de mist gekomen (VV Lelystad 13 \rightarrow 1) en het mistveld ten oosten van de Veluwe is groter geworden (VV Twente 29 \rightarrow 2). Om 8:00 UTC ligt op het zuidwesten na het hele land in de mist. De waarden van τ_{T4-3} in de genoemde gebieden zijn niet erg groot. Ten westen van de Heuvelrug bedraagt het verschil 1°C. In het mistgebied rond de Veluwe en in de Flevopolder ligt het verschil tussen de 2 en de 3°C. Ondanks de kleine verschillen tussen de kanalen rapporteren de stations die in het gebied liggen allemaal dichte mist.

Grote waarden van τ_{T4-3} zijn te vinden in de Noord-Duitse laagvlakte. De verschillen lopen hier op tot 4°C. Toch komt er in dit gebied niet op grote schaal mist voor. De grootte van het verschillensignaal K4-K3 is blijkbaar niet eenduidig te interpreteren in termen van horizontaal zicht aan de grond. Onlogisch is dit niet: de satellietsensor meet immers zoiets als de verticale optische dikte, terwijl voor het zicht de horizontale dichtheid van de mist aan het oppervlak bepalend is.

De stralingstemperaturen van kanaal 4 helpen ook niet om onderscheid te maken tussen de mist in het midden van Nederland en de stratus in Nedersaksen. Zowel de mist als de stratus zijn warmer dan het onbewolkte land. Dit komt omdat in de mistgebieden de stralingsafkoeling veel kleiner is. Het verschil bedraagt ongeveer een graad, de mist is nog enkele tienden van een graad warmer dan de stratus.

Conclusies

→ Met de K4-K3 methode is de ontwikkeling van een mistveld te volgen door gebruikt te maken van opeenvolgende satellietbeelden. Dit biedt goede perspectieven voor toepassing op MSG-beelden (ieder kwartier een beeld).

→ Mistvorming wordt beïnvloed door de topografie. Op het NOAA K4-K3 beeld kunnen in sommige mistsituaties kleinschalige orografische kenmerken in het landschap herkend worden. Het K4-K3 beeld is zeer gedetailleerd. Met MSG beelden zal het detail minder zijn (pixelgrootte zo'n 5 km).

- 19 maart 2003

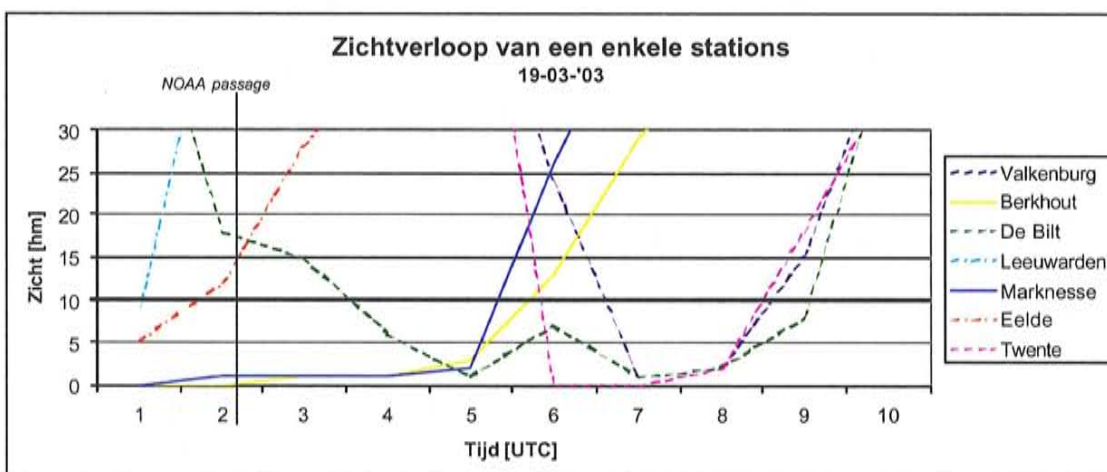
Synoptische situatie

Nederland ligt in een hogedrukgebied, waarvan de kern zich boven de Britse oostkust bevindt. Een zwakke noordoostelijke stroming voert koele lucht aan. Vanuit het noorden wordt een laag stratus geadvecteerd, die aan de voorzijde aan tot het oppervlak komt. Na zonsopkomst lost de mist overal vrij snel op. De noordelijke helft van het land zal nog de hele dag te maken hebben met stratus.

Analyse

Het K4 beeld van 2:16 UTC laat een grote plak lage bewolking zien die het noorden van het land bedekt. Uit de waarnemingen blijkt dat de zuidelijkste 80 kilometer van het stratusveld uit mist bestaat. Gedurende de nacht verplaatst dit hele gebied zich van noord naar zuid over het land. Dit proces is te volgen in figuur 4.4.

Voor het onderzoek zijn data van de NOAA passage van 2:16 UTC gebruikt. Figuur 4.4 laat zien dat op dit moment Leeuwarden en Eelde alweer uit de mist zijn, dat Berkhout en Marknesse om 2 UTC nog in de mist zitten, maar al voor het einde van de nacht er weer uit zijn, terwijl in Valkenburg, De Bilt en Twente pas later in de nacht met mist te maken zullen krijgen. Stations ten zuiden van de grote rivieren blijven de hele nacht mistvrij.



Figuur 4.4 : Het zichtverloop van enige stations is uitgezet tegen de tijd. Hoe zuidelijker de stations liggen, des te later passeert de band met mist.

Volgens de waarnemingen loopt om 2 UTC de noordgrens van het mistgebied ongeveer langs de lijn De Kooy – Eelde. De zuidgrens loopt bij de lijn IJmuiden – Zwolle. Op het K4 beeld is niets te zien van de band met mist. De mist vormt een geheel met de stratus ten noorden ervan: er zijn geen verschillen in temperatuur tussen de mist en de stratus. Het landoppervlak heeft een iets lagere temperatuur (meer stralingsafkoeling) dan het mist / stratus gebied. Op het K4-K3 beeld kunnen de mist en de stratus wel onderscheiden worden. Het mistgebied heeft een duidelijk lagere waarde van τ_{T4-3} dan het stratusgebied. Dit betekent dat de stratus laag een grotere optische dikte heeft dan de band met mist. Op het K4 beeld komt dit niet tot uitdrukking. Dat τ_{T4-3} in de stratus groter is dan in de mist bewijst eens te meer dat er geen eenduidige relatie is tussen horizontaal zicht en deze grootte. Het beeld wat geschetst wordt in figuur 4.4 wordt bevestigd door het K4-K3 beeld.

Tussen haakjes: het detail wat het K4-K3 beeld laat zien, is ook nu weer bijzonder groot. Het Ketelmeer, tussen de Noordoostpolder en Flevoland, lijkt nog niet bemist te zijn, terwijl de omringende polders al wel in de mist zitten. Dit komt doordat het meer net iets warmer is dan het land.

Conclusie

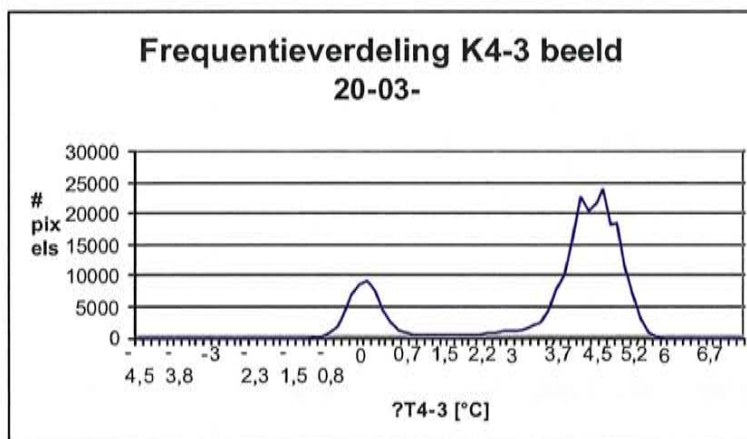
→ In deze situatie is er op het K4-K3 beeld onderscheid te maken tussen mist en stratus op grond van verschillen in τ_{T4-3} . Deze verschillen worden veroorzaakt door verschillen in de optische dikte van de bewuste laag. Om het bewuste onderscheid te maken blijft wel grondinformatie nodig over wat mist is en wat stratus.

- 20 maart 2003

Synoptische situatie

Het hoog boven Engeland ligt nog steeds op zijn plaats. De stroming bij Nederland is noordelijk. De bewolking van de vorige dag is niet opgelost of weggedreven en bedekt nu het hele land. Deze situatie is opgenomen omdat in de gehele nacht geen van de synoptische stations in Nederland mist heeft gerapporteerd.

Analyse



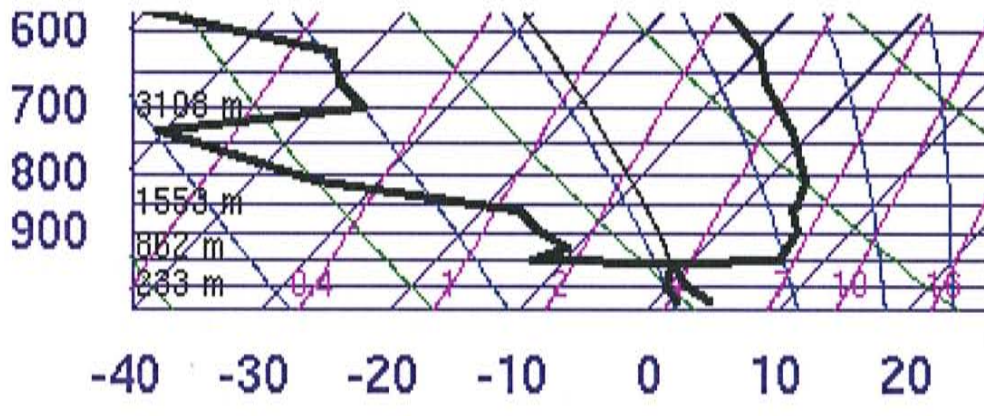
Figuur 4.5 : Frequentieverdeling van het K4-3 beeld. Duidelijk verschijnt een piek voor de bewolking en voor het onbewolkte land.

Gebruikt zijn beelden van 2:05 UTC. Om 2:00 UTC liggen de zichten tussen de 6 en de 8 kilometer, in het zuiden tussen de 2 en de 3. Het K4-K3 beeld toont twee duidelijk te onderscheiden gebieden. Deze zijn als scherpe pieken terug te vinden in het bijbehorende histogram (figuur 4.5). De piek bij 0°C hoort bij het onbewolkte gebied in het zuiden, de piek bij 4.5°C behoort bij het met stratus bedekte gebied in het noorden van het beeld. Dat

het gaat om lage bewolking blijkt uit het K4 beeld: de stralingstemperatuur van de bewolking wijkt nauwelijks af van die van het landoppervlak.

Radiosonde-oplatingen van 0:00 UTC bevestigen dat het om lage stratus gaat. In De Bilt ligt de relatieve vochtigheid in onderste 100 meter tussen de 80 en de 90% (figuur 4.6).

Hierboven neemt de vochtigheid toe tot het verzadigingspunt. Op 650 meter laat de temp van De Bilt een scherpe inversie zien. Binnen 100 meter daalt de relatieve vochtigheid van 95 naar 24%. Als de wolkenbasis op 350 meter wordt geschat, is de stratuslaag dus 300 meter dik. De uit de temp afgeleide temperatuur van de wolken top (0.7°C) is vergelijkbaar met de gemeten stralingstemperatuur in kanaal 4 (-2.0°C). Dit impliceert een emissiecoëfficiënt van 0.96, hetgeen niet onredelijk is (zie figuur 3.2). Onder de inversie neemt de temperatuur nat-adiabatisch toe (bewolking), op de grond resulterend in een temperatuur van 4.0°C . De oplating van Essen, eveneens in de bewolking, ziet er vrijwel hetzelfde uit.



Figuur 4.6 : Temp van De Bilt van 20-03, 00 UTC. Duidelijk is de inversie aan de top van de stratuslaag te zien.

Conclusies

- Temps zijn een handig hulpmiddel bij het interpreteren van K4-K3 beelden en van satellietbeelden in het algemeen.
- Een zeer uitgestrekte plak stratus laat in het hele land grote waarden van τ_{T4-3} zien. Een K4-K3 beeld op zich zegt op zichzelf nogmaals dus niets over mist.

- 26 maart 2003

Synoptische situatie

Nederland ligt midden in een uitgestrekt hogedrukgebied waarvan de as van Ierland tot Polen loopt. In de nacht staat een zwakke noordelijke wind (1 – 2m/s). Het is onbewolkt.

Analyse

Gezien de synoptische situatie zijn de omstandigheden gunstig voor stralingsmist. Om 0:00 UTC is in De Bilt sprake van een scherpe grondinversie: de temperatuur aan de grond bedraagt 6.6°C tegen 10.4°C op 128 meter. De dauwpunten op deze hoogten bedragen respectievelijk 5.4 en 2.4°C . Een ondiepe laag stralingsmist in de loop van de nacht is dus niet onwaarschijnlijk.

Voor de analyse is gebruikt gemaakt van NOAA beelden van 2:38 UTC. Rond dit tijdstip begint de stralingsmist zich verspreid door het land te vormen. In Groningen en Friesland heeft zich al dichte mist gevormd. Op veel andere plaatsen zal de mist zich pas rond 4 á 5 UTC vormen. Het beeld van 2:38 UTC komt dus eigenlijk te vroeg. Hier komt het nadeel van de NOAA satelliet naar voren. De volgende passage van de satelliet rond 4 UTC ligt ten westen van Nederland en is dus onbruikbaar.

Een vergelijking van het K4 beeld met het K4-K3 beeld laat het volgende zien. Op het K4 steekt een band hoge bewolking over België door de lage temperaturen duidelijk af tegen het omliggende landoppervlak. Op het K4-K3 beeld komt deze bewolking naar voren door negatieve waarden van τ_{T4-3} ($< -1.5^{\circ}\text{C}$). Op de Noordzee ten noorden van Nederland

verschijnen op het K4-K3 beeld enkele gebieden met een positieve ΔT_{4-3} . Op het K4 beeld is in deze gebieden niets te zien, wat betekent dat de temperatuur van deze bewolking gelijk is aan die van het zeewater. Al met al is de kans groot dat er sprake is van mistvelden en niet van stratus.

Op het beeld wat de ruimtelijke variatie in kanaal 4 weergeeft, is in deze gebieden ook niets opvallends te zien. Omdat de temperatuurvariatie van het zeewater veel minder variatie vertoont dan van het landoppervlak, is het ook niet te verwachten dat een mistveld op zee als een gebied met lage variatie naar voren komt.

In Groningen en Friesland ligt op het K4-K3 beeld een gebied met positieve waarden van ΔT_{4-3} . Een blik op de zichtwaarnemingen bevestigt dat het hier om mist gaat: Eelde en Leeuwarden geven zichten van onder de 200 meter. De waarde van ΔT_{4-3} is laag: 1.0°C. Dit wijst op een ondiepe mistlaag, wat gezien de temp van De Bilt ook te verwachten was. Op het K4 beeld is weinig te zien. Er lijkt iets minder ruimtelijke variatie te zijn, maar niet zodanig dat het opvalt. Als de ruimtelijke variatie uitgerekend wordt valt inderdaad op dat de variatie in helderheidstemperatuur in het gebied kleiner is.

Opvallend is dat de noordelijke begrenzing van het mistveld precies samenvalt met de kustlijn. Dit komt doordat de onderste luchtlagen boven land 's nachts sneller afkoelen dan boven zee. Hierdoor wordt het dauwpunt eerder bereikt. Bovendien wordt met een noordelijke stroming wellicht extra vocht van over de Waddenzee aangevoerd. Dit kan verklaren waarom juist hier mist aanwezig is en niet verder naar het zuiden. Ook boven de Waddeneilanden lijkt ΔT_{4-3} positieve waarden aan te nemen. De waarnemingen bevestigen deze gedachte: Vlieland noteert mist om 2 UTC, Terschelling om 3 UTC.

Toch wordt in Nederland op meer plaatsen mist gedetecteerd dan in het uiterste noorden. Ook in Noord Holland (station Berkhout) en in het westen van Noord Brabant (Rotterdam en Gilze-Rijen) wordt mist gerapporteerd. Geen van de detectietechnieken wijst hier op. Waarschijnlijk gaat het om zeer ondiepe en verspreide mistvelden die optisch te dun zijn om per satelliet waargenomen te worden. Grondmist kan dus niet door satellieten gedetecteerd worden. Als de mist wat dikker wordt, wordt langzaam een positief verschil van ΔT_{4-3} opgebouwd. De mist in Groningen en Friesland bevindt zich in dit stadium. Als de optische dikte van de mist verder toeneemt zal ook het verschil in helderheidstemperatuur van kanaal 4 en 3 toenemen tot maximaal 5 á 6 graden. Zie bijvoorbeeld de mist ten noordoosten van Bremen of andere besproken case-studies.

Conclusies

- De lage temporele resolutie van de NOAA satellieten is een groot nadeel bij de nachtelijke mistdetectie.
- Door de geringe optisch dikte kan grondmist niet met satellieten gedetecteerd worden.
- Hoge bewolking is op het K4-K3 beeld te herkennen aan negatieve waarden van ΔT_{4-3} .
- Met een plaatje van de ruimtelijke variatie in het kanaal 4 beeld kunnen alleen grote, uitgestrekte mistvelden gedetecteerd worden.

- 27 maart 2003

Synoptische situatie

Het hogedrukgebied ligt nog steeds op zijn plaats. Door stralingsafkoeling is in de avond een grondinversie ontstaan waarin vochtiger wordende lucht zich ophoopt. Het mistgebied wat zich in de vorige nacht boven de Noordduitse laagvlakte en de Duitse Bocht vormde is op 26 maart boven zee niet opgelost, maar dreef ten noorden van de Waddeneilanden langzaam naar

het westen. In de nacht drijft het mistveld onder invloed van een noordelijke stroming richting Noord-Hollandse kust en zorgt hier voor advectieve mist.

Analyse

Voor deze situatie is het NOAA beeld van 2:27 UTC gebruikt. Opgenomen zijn de zichtwaarnemingen van 2 UTC. Het kanaal 3 beeld was in dit formaat helaas niet beschikbaar op dit tijdstip. In het K4 beeld is het mistveld redelijk goed te herkennen door de aanwezige temperatuurcontrasten. Het mistveld boven land heeft bij $11\mu\text{m}$ een helderheidstemperatuur van 3.7°C , boven zee een kleine graad lager. Het omringende land is door stralingsverlies afgekoeld tot rond het vriespunt. Op enkele uitzonderingen na liggen alle mist-rapporterende stations duidelijk in het warmere mistgebied. Het grote verschil tussen de mist en het oppervlak wordt deels verklaard door het feit dat er sprake is van advectieve mist. Deze mist is dus niet ontstaan met een gelijke temperatuur als het aardoppervlak (zoals bij stralingsmist), maar de oude mist had meteen bij het binnendrijven al een hogere temperatuur dan het oppervlak.



In het plaatje van de ruimtelijke variatie is het mistveld ook goed te herkennen. De mistvelden in het westen steken donker af tegen het omringende landoppervlak. Als grenswaarde voor de standaarddeviatie is 0.2 te gebruiken. Boven zee valt het mistveld niet op door een lagere standaarddeviatie. Wel is door temperatuurverschillen de begrenzing ervan duidelijk zichtbaar.

Als de zon is opgekomen lost de mist boven land snel op. Boven zee blijft de mist de gehele dag aanwezig, resulterend in prachtige zichtbaar-licht opnames.

Figuur 4.7 : Het mistveld op de Noordzee in de middag van 27-03. Boven land is de mist 's ochtends opgelost.

Conclusie

→ De temperatuur van oude mistvelden (van bijvoorbeeld de vorige dag) contrasteert meestal duidelijker met die van het landoppervlak dan de temperatuur van stralingsmist van enkele uren oud. Vaak gaat het om advectieve mist.

- 28 maart 2003

Synoptische situatie

Ten opzichte van de vorige dag zijn de drukverdeling en de stroming niet veranderd. Nog steeds bevindt Nederland zich in droge lucht met op 100 tot 200 meter al grote verschillen tussen dauwpunt en temperatuur. Nabij het oppervlak is de lucht door afkoeling vochtiger. Stralingsmist is niet uit te sluiten. Op de Noordzee zijn een tweetal mistvelden aanwezig die voor advectiemist zouden kunnen zorgen.

Analyse

Op het K4-K3 beeld van 2:16 UTC zijn voor de Zeeuwse en Belgische kust de resten van het mistveld van 27 maart te herkennen. Door de zwakke noordoostelijke stroming is dit mistveld langzaam naar het zuiden gedreven. De Belgisch kuststations Oostende en Koksijde melden inderdaad mist (2:00 UTC). Ook Vlissingen rapporteert een zicht van 300-400 meter en dus

mist, hoewel dat niet is af te leiden uit het K4-K3 beeld. Dit komt omdat voor de satelliet het zicht op de mist weggenomen wordt door een plukje hogere bewolking op deze plaats.

Ook in het noorden van het land is een uitgestrekt en duidelijk afgebakend mistveld te herkennen in het K4-K3 beeld. Net als bij het hiervoor beschreven mistveld is sprake van advectioneel mist. Dit mistgebied is de vorige dag in de vroege ochtend ontstaan tegen de Deense kust en is gedurende de dag en het begin van de nacht langzaam naar het westen gedreven. Met de opeenvolgende satellietbeelden is dit proces goed te volgen.

De grote verschillen in helderheidstemperatuur tussen kanaal 3 en 4 ($T_4-3 \sim 3^\circ\text{C}$), wijzen op een optisch dikke mistlaag in de vertikaal. De in het gebied liggende synoptische stations rapporteren allen dichte mist. Ook de horizontale dichtheid van de mist aan de grond is dus groot.

De twee genoemde mistvelden zijn ook in het kanaal 4 beeld aan sich goed te herkennen. Met name het gebied boven Noord Nederland valt op door de gladde structuur en de iets hogere temperatuur. In het gebied ten oosten van dit mistveld, het Duitse Ostfriesland, komt het voordeel van het K4-K3 beeld naar voren. Op het K4 beeld is hier niets afwijkends te zien: er is niets wat op bewolking of mist wijst. Toch rapporteren de stations in dit gebied mist. Op het K4-K3 beeld is daarentegen wel wat te zien. Het gebied vertoont een rafelachtige structuur van licht positieve waarden van T_4-3 ($\sim 1^\circ\text{C}$). In tegenstelling tot de mist op de Wadden gaat het hier waarschijnlijk om een dunne laag 'jonge' stralingsmist. Deze mist heeft dezelfde temperatuur als het oppervlak en is daarom niet zichtbaar op het K4 beeld.

Toch komen in deze situatie ook een aantal minpunten van de K4-K3 methode aan het licht. De aanwezigheid van hogere bewolking boven de mist werd al genoemd. Ook de in het land aanwezige grondmist ontsnapt aan de detectie. Een aantal station verspreid over het land meldt zichtwaarden onder de kilometer, terwijl niets in het K4-K3 beeld hier op wijst. Dit komt doordat de mistlaag in de vertikaal te dun is om door de satelliet gedetecteerd te kunnen worden. In de ochtend is visueel waargenomen dat er inderdaad sprake was van een geometrisch dunne mistlaag. Bedroeg het horizontale zicht nauwelijks 50 meter, de blauwe lucht was nog steeds zichtbaar door de mist heen. Door de sterkte van de grondinversie was het voor de mist moeilijk om snel te groeien in de vertikaal.

Conclusies

→ Bij de interpretatie van K4-K3 beelden dient rekening gehouden te worden met zichtbelemmerende hoge bewolking.

→ Ondiepe mistlagen zijn niet zichtbaar zijn op het K4-K3 beeld.

- 30 maart 2003

Synoptische situatie

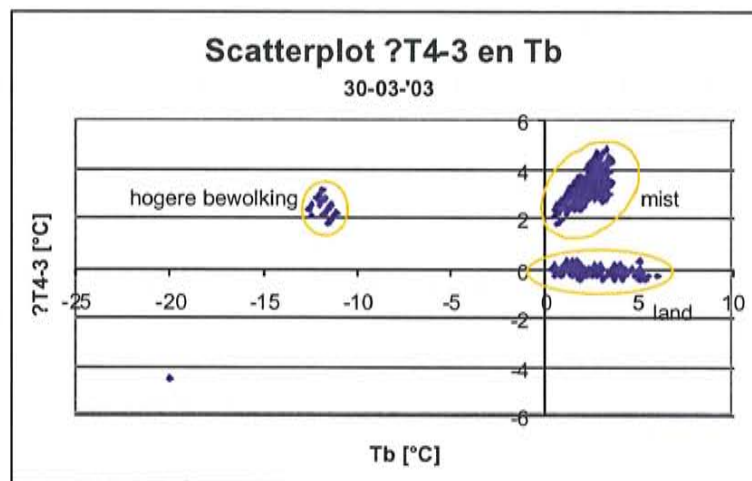
Nederland ligt nog steeds aan de westflank van een hogedrukgebied. De 29^{ste} is er in het zuiden voor het eerst sinds weken weer enige neerslag gevallen. Op de Noordzee heeft zich een ongeveer 100 kilometer brede band met mist gevormd van de Noorse kust tot de Thamesmonding. Tegen de avond wordt dit met een zwakke noordwestenwind in de richting van de kust geblazen. Rond 20:00 UTC bereikt het mistveld Den Helder. In de loop van de nacht breidt de mist zich verder over het land uit.

Analyse

Op het tijdstip van de gebruikte satellietfoto's (1:53 UTC) heeft de voorste begrenzing van het mistveld de lijn Vlissingen-Deelen-Twente bereikt. Alle stations ten noordwesten van deze lijn rapporteren mist. Het K4-K3 beeld geeft een goed inzicht in de ruimtelijke verspreiding van het mistveld.

Ook op het K4 beeld is de genoemde lijn met enige moeite te herkennen. Omdat de mist een paar graden warmer is dan het land steekt het enigszins af tegen het aangrenzende landoppervlak. Ook de gladde structuur van de mist ten opzichte van het land valt duidelijk op.

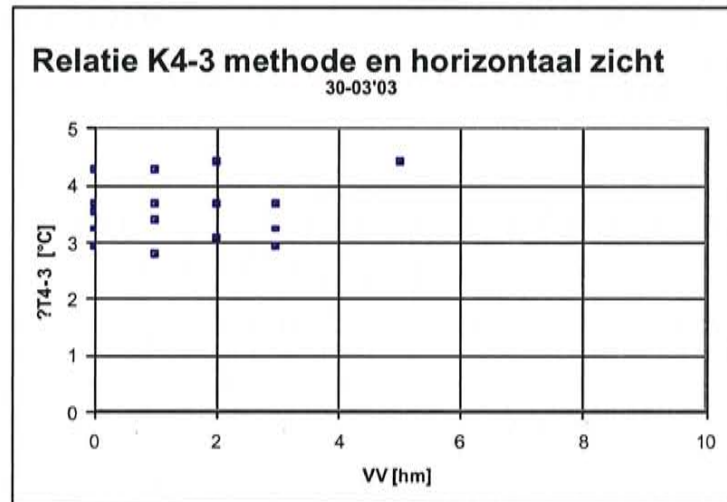
In het zuiden van het beeld bevindt zich wat middelbare bewolking. Dit wordt gesuggereerd door de lagere stralingstemperaturen in kanaal 4 en bevestigd door de stationswaarnemingen. Van mist is geen sprake (Oostende, Koksijde). Toch zijn in het K4-K3 beeld positieve waarden te vinden in dit gebied. De grootte van τ_{T4-3} is weliswaar kleiner dan in het noordelijke mistgebied, maar inmiddels is duidelijk dat dat niet zoveel zegt. Verspreid in het gebied komen ook sterk negatieve waarden van τ_{T4-3} voor. Dit wijst op hoge, uit ijskristallen bestaande bewolking. Blijkbaar is sprake van een aantal wolkenlagen op verschillende hoogten.



Figuur 4.8 : In een scatterplot zijn het K4-3 beeld en het K4 beeld tegen elkaar uitgezet. Met het diagram kunnen verschillende bewolkingssoorten en onbewolkt land van elkaar gescheiden worden.

Door een scatterplot van deze twee beelden te maken kan deze redenering aanschouwelijk gemaakt worden. In figuur 4.8 zijn duidelijk drie clusters te herkennen. Het cluster rond de x-as en temperaturen van 0 tot 5°C staat voor het onbewolkte landoppervlak. Het grote mistgebied van Noordwest Nederland vormt het tweede cluster. Dit vertoont dezelfde helderheidstemperatuur als het eerste, maar onderscheidt zich door tot 5°C oplopende waarden van τ_{T4-3} . De scatterplot verklaart niet direct waarom de begrenzing van de mist zo goed te zien is op het K4 beeld: er lijkt geen verschil in temperatuur tussen de twee clusters. Dat op het K4 beeld de grens van het mistveld wel degelijk te zien is, komt doordat het land nabij deze overgang het koudste land is, terwijl hier in de mist juist de hoogste temperaturen gedetecteerd worden. In het mistcluster lijkt een positieve trend aanwezig: hogere waarden van τ_{T4-3} gaan gepaard met hogere helderheidstemperaturen. Dit zou erop kunnen wijzen dat als de mist optisch dikker wordt (τ_{T4-3} stijgt), er minder stralingsverlies optreedt, waardoor de temperatuur hoger blijft dan in gebieden waar een dunne mistlaag aanwezig is. Uit het scatterplot blijkt ook duidelijk dat de positieve waarden van τ_{T4-3} in het zuiden niets van doen hebben met mist. Dit gebied wordt gerepresenteerd door de derde puntenwolk. Aanzienlijke waarden van τ_{T4-3} gaan samen met temperaturen van tussen de -15 en de -10°C. Uit de temp van Ukkel (0:00 UTC) blijkt dat deze temperaturen pas op een hoogte van 4000 tot 5000 meter voorkomen.

De trend in het mistcluster van het scatterplot roept de vraag op of er wellicht een verband bestaat tussen de grootte van ΔT_{4-3} en het horizontale zicht. Het zal inmiddels duidelijk zijn dat hiervoor geen algemeen geldend verband te leggen is, maar misschien kunnen er per mistveld wel uitspraken gedaan worden. Om hier inzicht in te verkrijgen is voor elk synoptisch station waarde van ΔT_{4-3} tegen de zichtwaarde van 2:00 UTC geplot. Een blik op figuur 4.9 maakt meteen een einde aan elke illusie. Het is duidelijk dat er ook hier geen enkel verband is tussen het horizontale zicht en de grootte van ΔT_{4-3} .



Figuur 4.9: Voor enkele synoptische stations is de grootte van ΔT_{4-3} uitgezet tegen het waargenomen horizontaal zicht.

Conclusie

→ De grootte van ΔT_{4-3} zegt niets over of er sprake is van stratus, mist of dichte mist. ΔT_{4-3} is slechts een maat voor de optische dikte van lage waterwolken.

- 23 april 2003

Synoptische situatie

Een hogedrukgebied met de kern boven de Golf van Biskaje houdt storingen in onze omgeving op een afstand. Er is geen bewolking aanwezig, zodat de temperatuur door stralingsverlies flink afneemt. De dauwpuntsdepressie neemt in de middag en avond van 22 april af van 10 graden in de middag tot minder dan 1 graad rond 0 UTC. Er staat een zwakke stroming (1 tot 2m/s op 10 meter hoogte) uit noordelijke richtingen.

Analyse

In de loop van de nacht is met name in het westen en midden van het land op grote schaal stralingsmist ontstaan. Na het opkomen van de zon zal de mist weer snel oplossen, waarna de zon de hele dag zal schijnen.

Om 2 en 3 UTC melden de stations in Noord-Holland en op de Waddeneilanden mist. Zowel op het K4 beeld als op het K4-K3 beeld is dit mistveld gemakkelijk terug te vinden. Het contrast met de omgeving is op het K4-K3 beeld wel veel groter. Bovendien is er op het K4-K3 beeld een structuur te zien in het mistveld. Er lijkt namelijk sprake te zijn van twee mistvelden: een mistveld boven zee, wat ook het gebied rond De Kooy bedekt, en een tweede mistveld wat nagenoeg geheel Noord-Holland bedekt. Op het K4 beeld zijn deze details niet te zien. De temperatuur van beide mistvelden is nagenoeg gelijk. De rand van het noordelijk mistveld valt op het verschilbeeld op omdat de optische dikte van de laag op deze plaats groter is, waardoor het verschil tussen de kanalen toeneemt.

Het beeld van de ruimtelijk variatie laat het mistveld ook goed zien. Weer blijkt een standaarddeviatie van 0.2 een goede grenswaarde. In het zuiden van het beeld worden een aantal 'missers' van het K4-K3 beeld ontmaskerd. Ook een blik op het K4 beeld is overigens al genoeg om vast te stellen dat het hier niet gaat om lage bewolking, maar om bewolking die zich veel hoger in de atmosfeer bevindt. Ten eerste zijn de temperaturen hiervoor te laag en ten tweede doet de structuur van de bewolking totaal niet aan mist denken. Ditzelfde geldt voor de plukjes boven Friesland.

Ook in Duitsland (ten oosten van Groningen) bevindt zich een gebied met positieve waarden van ΔT_{4-3} . Op zowel het K4 beeld als op het variatieplaatje is ten opzichte van de directe omgeving niets afwijkends te ontdekken. Verder zijn er in dit gebied geen synoptische stations met zichtwaarnemingen.

Dat er op het K4 beeld niets te zien is, geeft aan dat er in elk geval geen sprake is van hogere bewolking. De lage positieve waarde van ΔT_{4-3} wijst er op dat de eventuele mistlaag niet dik is. In dat geval is het te verwachten dat de temperatuur ervan niet afwijkt van de omgeving. Het K4-K3 beeld laat geen op mist wijzende lage standaarddeviatie zien. Toch hoeft dit niet te betekenen dat er geen sprake is van mist. Een mistveld wat ondiep is en meer bestaat uit grote flarden dan dat het een uitgestrekte homogene deken vormt, wordt door het variatiefilter niet gedetecteerd.

Al met al is het duidelijk dat zich dichtbij het oppervlak (niet op K4 beeld) een ondiepe, uit waterdruppeltjes bestaande laag bewolking aanwezig is (K4-K3 beeld). Of er sprake is van mist is niet met zekerheid te zeggen, maar is wel waarschijnlijk. Een waarschuwing voor mistbanken zou bijvoorbeeld op zijn plaats zijn.

Conclusies

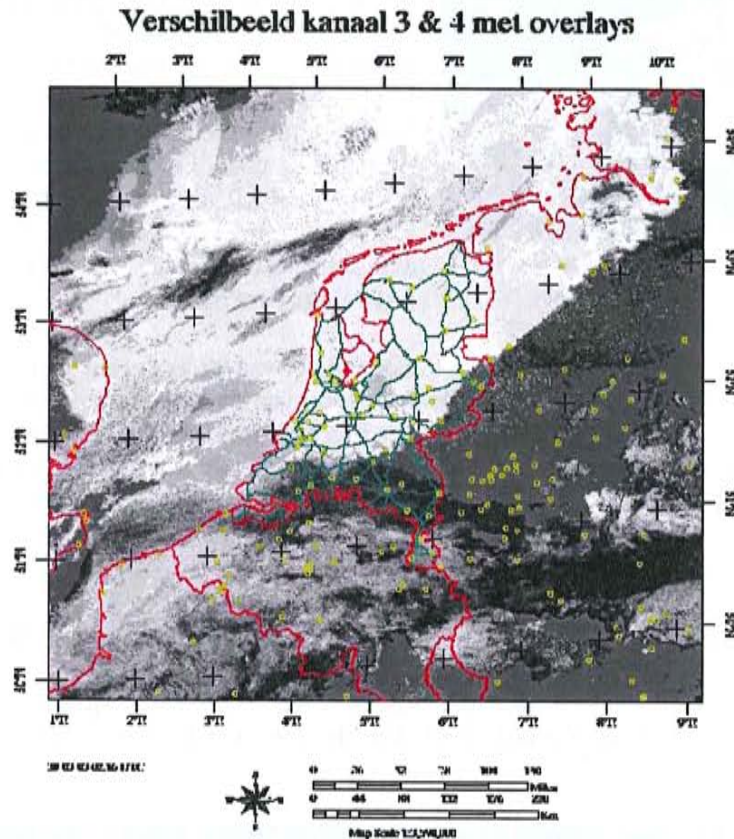
→ Net als in andere cases blijkt 0.2 een goede grenswaarde voor de variatietest.

→ In een mist- of stratusveld is op een K4-K3 beeld meer structuur te zien dan op alleen een K4 beeld.

5. Overig onderzoek

5.1 Mogelijke presentatie K4-K3 beelden

De eenvoudigste vorm van een satellietplaatje bestaat uit enkel pixels in grijstinten. De interpretatie van zulke beelden is vaak lastig. Door het toevoegen van kustlijnen,



Figuur 5.1 : K4-3 beeld waar snelwegen op geprojecteerd zijn.

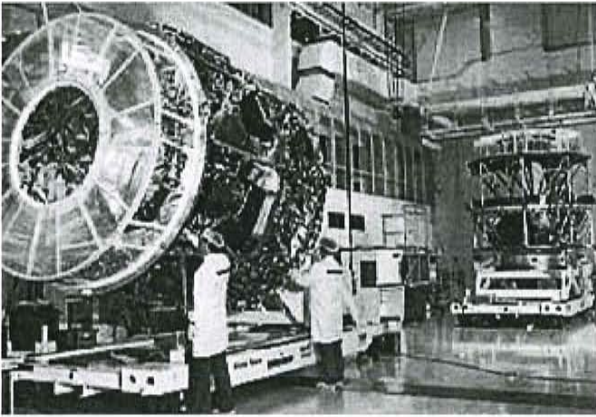
landsgrenzen, rivieren en andere topografische kenmerken wordt de interpretatie van het beeld vergemakkelijkt.

Kennis van de horizontale verspreiding van een mistveld is van groot belang voor het verkeer. Als deze kennis er is, kunnen er gericht waarschuwingen uitgegeven worden voor bijvoorbeeld snelwegen die in de mist zitten. Uit het onderzoek is gebleken dat de K4-K3 methode goed in staat is om de horizontale verspreiding van een mistveld weer te geven.

Het toevoegen van overlays kan onder andere door het gebruik van GIS-pakketten. Om te laten zien wat er zoal mogelijk is op dit gebied is figuur 5.1 opgenomen. Aan de basis van dit plaatje staan geen ppm beelden, maar HDF5 beelden.

In figuur 5.1 is het K4-K3 beeld van 30 maart 2003 afgebeeld (zie hoofdstuk 4.2.2). Met behulp van het GIS-pakket ENVI is een kaartje van (snel)wegen in Nederland over het K4-K3 beeld gelegd. Verder is een overlay met kustlijnen en een met posities van steden toegevoegd. Op deze manier is eenvoudig te zien of bepaalde weggedeelten wel of niet in de mist liggen. De A1 tussen Apeldoorn en Almelo ligt bijvoorbeeld net wel in de mist, de N18 tussen Doetinchem en Enschede niet. Figuur 5.1 laat dus zien dat relevante overlays belangrijke informatie kunnen toevoegen aan een 'kaal' mistplaatje. Deze technieken kunnen ook worden toegepast op het meteorologisch werkstation in de werkamer.

5.2 K4-K3 methode overdag met MSG-beelden



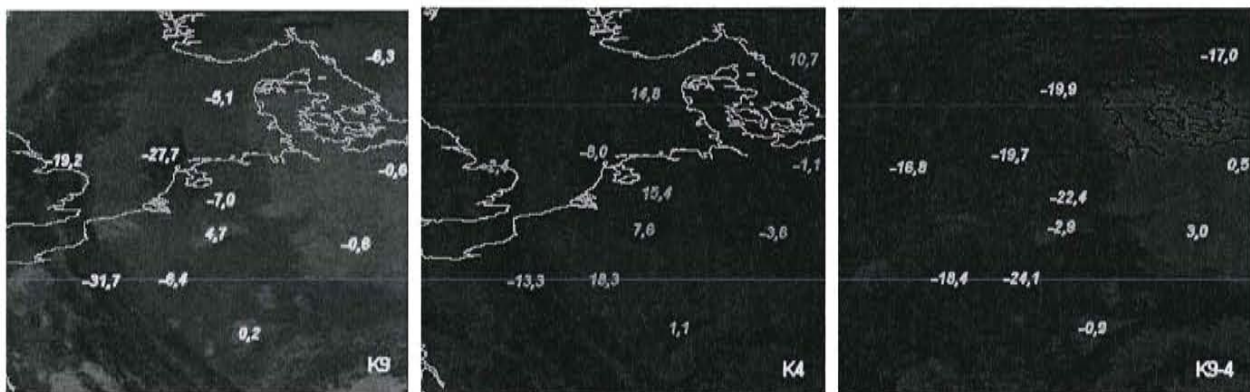
Figuur 5.2: De MSG-1 en MSG-2, opgesteld in een gebouw van Alcatel in Cannes. Alcatel Space Industries heeft de satelliet gefabriceerd.

Het eerste beeld van de MSG wat door Eumetsat (de organisatie die de Meteosat-satellieten exploiteert) werd vrijgegeven, dateert van 28 november 2002. Sindsdien zijn met tussenpozen beelden beschikbaar gesteld op het internet (www.eumetsat.de). Eind 2003 zal de MSG operationeel worden en in de plaats komen van de oudere Meteosats.

Een van de beschikbare beelden is van 12 februari. Juist op deze dag deed zich een mooie mistsituatie voor. Ook in de case-studies van hoofdstuk 4.2.2 is deze situatie opgenomen. Een mooiere gelegenheid om wat te experimenteren met MSG-beelden is nauwelijks denkbaar.

Het tijdstip van de opnames is 13:45 UTC. In Nederland is dan geen sprake meer van mist: in de loop van de ochtend zijn de zichtwaarden tot boven de 1000 meter gestegen. De zichten variëren van 1000 meter in het noorden tot 2000 meter in het zuiden van het land. De bewolking waar de mist het onderste deel van vormde, is nog steeds aanwezig. Uit de temp van 12 UTC in De Bilt is af te leiden dat de wolkentop rond 500 meter ligt. Dit maakt de stratus koud genoeg om zonder trucs zichtbaar te zijn op het $10,8\mu\text{m}$ -beeld (MSG K9).

Zoals in de theorie (hoofdstuk 3.2.1) uitgelegd is, werkt het $3,9\mu\text{m}$ -kanaal 's nachts als een zuiver infra-rood kanaal. Overdag wordt in dit golflengtegebied echter nog voldoende zonnestraling gereflecteerd om het infra-rote signaal te verstoren. Het $3,9\mu\text{m}$ -kanaal werkt nu als een soort IR/VIS-combinatiekanaal. Toch kan dit kanaal ook overdag gebruikt worden voor mistdetectie.



Figuur 5.3 : De K4-3 methode in de dagsituatie. Links het MSG K9-beeld, in het midden het K4-beeld en rechts het verschilbeeld. Gebieden met bewolking (hoge en lage) verschijnen in het verschilbeeld met sterk negatieve waarden.

Net als in de nachtsituatie wordt het verschil in helderheidstemperatuur tussen het $10,8\mu\text{m}$ en het $3,9\mu\text{m}$ -kanaal als criterium genomen. In figuur 5.3 zijn de betreffende kanalen opgenomen. Ook het verschilbeeld is weergegeven. Omdat de pixelgrootte in de MSG beelden een stuk groter is dan in de beelden van de NOAA-satellieten (5 km tegen 1 km) is onze omgeving klein weergegeven. (De MSG staat wel ongeveer 40 x verder van de Aarde dan de NOAA-satellieten.)

Vanwege de hoge emissiecoëfficiënten wijken de stralingstemperaturen in kanaal 9 (10,8 μ m) maar weinig af van de werkelijke temperaturen. Uit het K9 beeld is af te leiden dat het onbewolkte land een temperatuur heeft van rond het vriespunt. De temperatuur van de lage bewolking die eerder op de dag op grote schaal mist aan de grond veroorzaakte ligt tussen de -5 en de -10°C. De hoge bewolking, die gevormd wordt door een pluk ten noordwesten van Den Helder en een front wat van Noorwegen via Engeland over Frankrijk loopt heeft temperaturen lager dan -20°C.

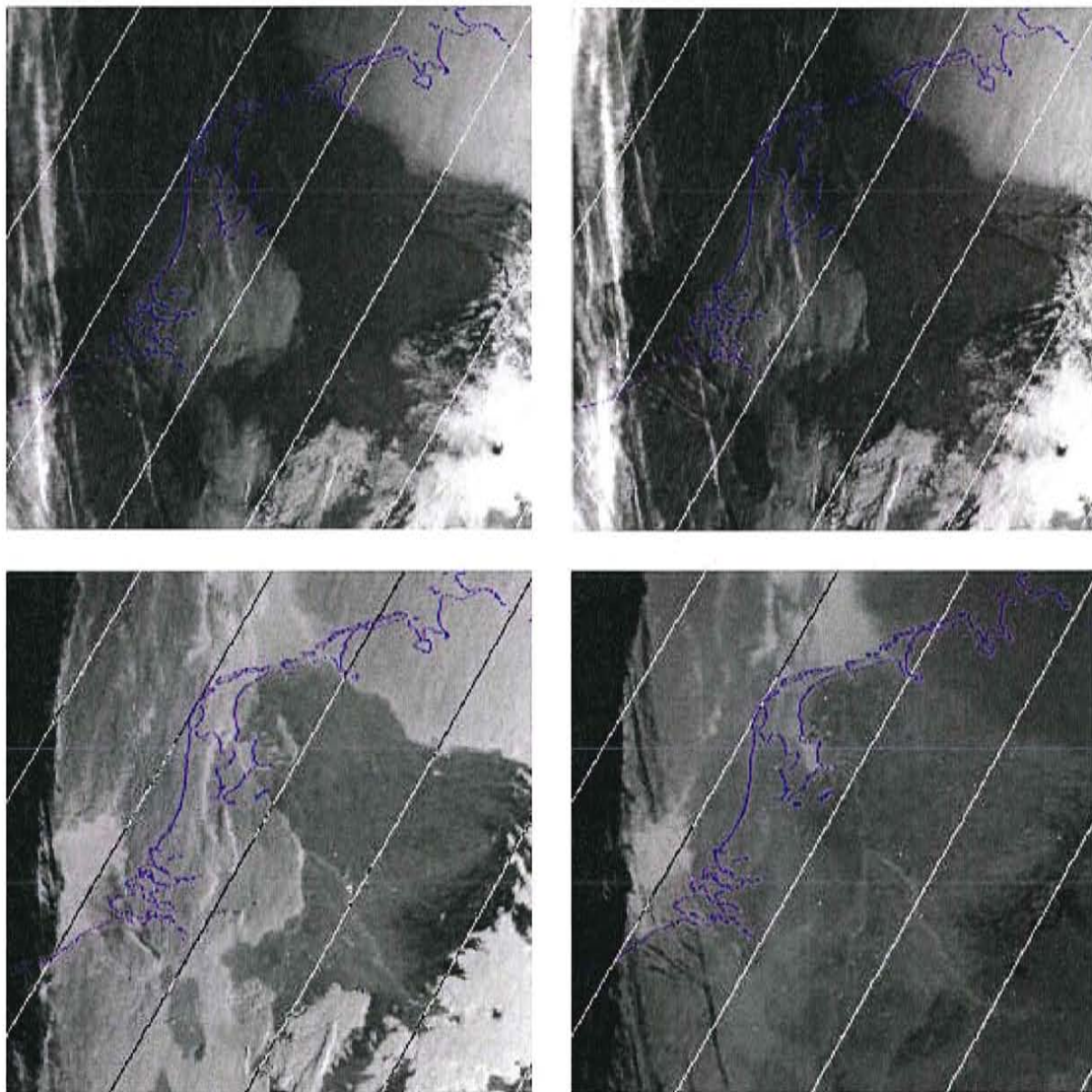
Kanaal 4 (3,9 μ m) geeft een heel ander beeld. Door de gereflecteerde zonnestraling vallen de 'helderheidstemperaturen' van de bewolkte gebieden veel hoger uit dan op het kanaal-9 beeld. In het verschilbeeld noteren zowel de lage als de hoge bewolking grote negatieve waarden. Het lijkt niet mogelijk om onderscheid te maken tussen mist / lage stratus en hoge bewolking: de variatie in emissiecoëfficiënt wordt overstemd de hoeveelheid gereflecteerd zonlicht. Wel is er dus een duidelijk onderscheid tussen onbewolkt land of zee en mist of lage bewolking: de hoge reflectie bij 3,9 μ m veroorzaakt grote negatieve waarden in het verschilbeeld. In de literatuur komt als grenswaarde -12°C voor (Bendix en Bachmann, 1991a). In deze situatie is dit inderdaad een mogelijke grenswaarde.

5.3 Schemeringssituatie

In hoofdstuk 4 is door middel van case-studies onderzocht wat de mogelijkheden zijn voor mistdetectie in de nacht. Hierbij werd met name gebruik gemaakt van het helderheidstemperatuurverschil tussen de NOAA-kanalen 4 en 3. Omdat tijdens de schemering andere omstandigheden aanwezig zijn, wordt in deze paragraaf een schemeringssituatie bekeken.

Er is gekozen voor de situatie van 11 februari 2003. Gebruikt zijn NOAA-beelden van 7:35 UTC. Op dit moment staat de zon enkele graden boven de horizon. Beelden van enkele uren eerder zijn gebruikt bij een van de case-studies van hoofdstuk 4. In de tussenliggende tijd heeft zich een plak stralingsmist gevormd in het westelijk deel van het land.

In figuur 5.4 zijn de NOAA kanalen 1, 2, 3 en 4 afgebeeld. De vier kanalen zijn apart weergegeven omdat zo mooi de verschillen tussen de kanalen besproken kunnen worden. Aan elk van de vier kanalen zijn lijnen van gelijke zonshoogte toegevoegd. De zonshoogte in de figuren varieert van 2° in het noordwesten tot 7° in het uiterste zuidoosten.



Figuur 5.4 : NOAA beelden van 11-02, 7:35 UTC. Dit tijdstip valt tijdens de ochtendschemering. Linksonder K1, rechtsboven K2, linksonder K3 en rechtsonder K4.

Kanaal 1 (0.63 μm):

Duidelijk een zichtbaar licht opname. Zowel hoge als lage bewolking reflecteert de inkomende zonnestraling op efficiënte wijze. Het effect van de schemering is goed te zien: in het zuidoosten wordt door de hogere zonnestand veel meer straling gereflecteerd dan in het noordwesten. Het mist- en bewolkingsgebied boven Nederland heeft een duidelijke structuur. Gebieden met hogere bewolking zijn herkenbaar door schaduwwerking.

Ondanks de lage zonnestand reflecteert de frontale bewolking in het westen van het beeld toch veel straling: doordat deze bewolking zich op grote hoogte bevindt, kan de zon de wolken al beschijnen.

Kanaal 2 (0.91 μm):

Voor dit kanaal geldt hetzelfde als voor kanaal 1. Een extra pluspunt voor kanaal 2 is dat in dit beeld de kustlijnen beter te herkennen zijn.

Kanaal 3 (3.7 μm):

Zoals in de theorie (hoofdstuk 3.2.1) uitgelegd werkt het 3,9 μm -kanaal 's nachts als een zuiver infra-rood kanaal. Overdag wordt in dit golflengtegebied echter nog voldoende straling gereflecteerd om het infra-rode signaal te verstoren. Het 3,9 μm -kanaal werkt nu als een soort IR/VIS-combinatiekanaal.

Dit is duidelijk te zien in figuur 5.4. De lage bewolking / mist in het zuidoosten heeft in dit kanaal een veel hogere 'helderheidstemperatuur' dan het omringende landoppervlak. Strikt genomen is er helemaal geen sprake meer van een helderheidstemperatuur: deze vormt slechts een deel van het signaal. De zonnestraling die in het betreffende golflengtegebied wordt gereflecteerd is de oorzaak van de hoge helderheidstemperaturen. In het zuidoosten van het beeld lijkt kanaal 3 het meest op een zichtbaar licht kanaal. In het noordwesten, waar de zon een stuk lager staat, is het vervalsende effect op de helderheidstemperatuur een stuk kleiner. Hier is de temperatuur van de bewolking gelijk aan die van het land. De frontale bewolking ziet er nog 'koud' uit. In dit gebied gedraagt kanaal 3 zich nog als een infra-rood kanaal.

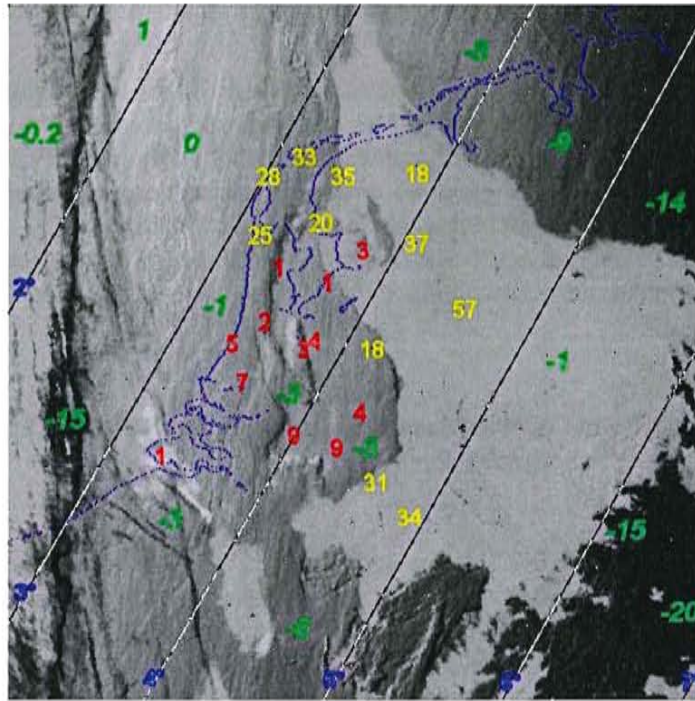
De structuur van de mist boven Nederland komt duidelijker naar voren dan in het beeld van kanaal 1. Het lijkt erop of het mistveld aan de westkant overlapt wordt door een stratuslaag. De structuur hiervan lijkt iets af te wijken van de mist. Schaduwen zijn erg goed zichtbaar.

Kanaal 4 (10.8 μm):

Een zuiver infra-rood opname. De enige straling die gedetecteerd wordt is warmtestraling. Het zonlicht in dit golflengtegebied is nihil.

Het mist- en stratusgebied is moeilijk van het landoppervlak te scheiden omdat de temperaturen ervan nagenoeg gelijk zijn. De bewolking in het zuidoosten heeft in tegenstelling tot in kanaal 3 lagere stralingstemperaturen dan het omringende land.

Het mistveld is in de kanalen 1, 2 en 3 veel beter te herkennen dan in kanaal 4. Vergeleken met de nachtsituatie is mistdetectie dus een stuk makkelijker. Dit komt ten eerste doordat de zichtbaar licht kanalen beschikbaar zijn en ten tweede doordat kanaal 3 in de aanwezigheid van zonlicht ook de kenmerken van een zichtbaar lichtkanaal vertoont. De detectie vindt dus voornamelijk plaats op basis van gereflecteerd zonlicht.



Figuur 5.5 : K4-K3 beeld van 11-02, 7:35 UTC. De rode en gele getallen zijn zichtwaarden, de blauwe getallen geven de zonshoogte weer en in groen zijn enkele waarden van ?T4-3 toegevoegd. Ook zijn lijnen van gelijke zonshoogte opgenomen.

Het is interessant om te onderzoeken wat de 's nachts succesvolle K4-K3 methode nu presteert. Figuur 5.5 geeft het K4-K3 beeld. Hierin zijn weer lijnen met gelijke zonshoogte opgenomen alsmede zichtwaarden van synoptische stations en enkele waarden van ?T4-3. Zoals in de voorgaande paragraaf met MSG beelden is geconcludeerd, is de waarde van ?T4-3 overdag als het gaat over mist en lage stratus sterk negatief. Uit het onderzoek met de tien case-studies bleek dat 's nachts ?T4-3 juist positief is onder deze omstandigheden. In figuur 5.5 is de overgang te zien tussen de nachtelijke positieve waarden en de negatieve waarden van overdag. Het mistgebied in het zuidwesten geeft bij een zonshoogte van 7° een waarde van -20°C voor ?T4-3. Deze waarde komt overeen met de waardes zoals die gevonden zijn in de met MSG-beelden onderzochte situatie. Blijkbaar neemt bij verdere stijging van de zon de waarde van ?T4-3 nauwelijks meer af. Of: de reflectie van zonlicht bij $3.7\mu\text{m}$ neemt vanaf een zonshoogte van 7° nauwelijks meer toe.

Bij afnemende zonshoogte wordt de waarde van ?T4-3 minder negatief. Dit is goed te zien bij het stratusgebied in het noordoosten. Verder is het de tendens in het hele verschilbeeld. In mistveld boven Nederland heeft ?T4-3 een waarde van -5°C , in het noordwesten komt het stratusveld tot $+1^\circ\text{C}$. In een schemerings situatie is het dus niet mogelijk om een grenswaarde vast te stellen waarboven (nacht) of waaronder (dag) mist te verwachten is: de waarde van ?T4-3 varieert hiervoor te veel met de veranderende zonshoogte.

Net als in het K3 beeld is in het verschilbeeld schaduwwerking goed te zien: schaduwen verschijnen als lichte plekken in het beeld (de waarde in K3 is lager, dus relatief hogere waarden in K4-K3 beeld). Dit maakt een nadere analyse van het beeld mogelijk, die overigens ook op basis van het kanaal 3 beeld alleen is te maken. Uit het verschilbeeld blijkt dat de mistplak gedeeltelijk wordt overlapt door een laag stratus. Het is niet te zien hoever de mist zich onder de stratus uitstrekt. De wetenschap dát er sprake is van twee lagen bewolking verklaart wel waarom er in Valkenburg en Berkhout mist wordt gerapporteerd en in De Kooy en Vlieland niet. Deze vier stations liggen alle in het stratusgebied, maar blijkbaar loopt onder de stratus ergens de grens van het mistgebied.

6. Conclusies

In hoofdstuk 4.2 zijn een tiental mistsituaties geanalyseerd. In dit hoofdstuk zullen hieruit algemene conclusies worden getrokken over de mogelijkheden van mistdetectie bij nacht. De meeste van deze conclusies staan ook al verspreid vermeld in de beschrijving van de case studies. Hier worden ze geordend en netjes achter elkaar weergegeven. Ook zullen enkele conclusies over het onderzoek met de MSG beelden en de dag- en schemeringssituatie getrokken worden.

Tenzij nadrukkelijk vermeld wordt hier gesproken van NOAA beelden. De NOAA kanalen 4 en 3 zijn equivalent aan de MSG kanalen 9 en 4. Deze kanalen zijn gevoelig rond een golflengte van respectievelijk $11\ \mu\text{m}$ en $3.9\ \mu\text{m}$.

6.1 Deelconclusies

6.1.1 Satelliet

De lage temporele resolutie van de NOAA beelden blijkt een groot nadeel te zijn bij het detecteren van mist. Gedurende de nacht is er een overheadpass rond 2 UTC (NOAA-16). De volgende overheadpass (NOAA-15) valt rond een uur of 7 UTC. Het grootste deel van het jaar is dan de zon al op, zodat de K4-K3 methode niet in deze vorm kan worden toegepast. Naast de overheadpasses zijn er nog enkele passages waarbij Nederland net wel of net niet aan de rand van het beeld ligt. De laatste beelden hebben een grotere ruimtelijke resolutie als gevolg van de toegenomen kijkhoek van de satelliet.

Het spreekt vanzelf dat een beeld van 2 UTC weinig zegt over de condities aan het einde van de nacht, het tijdstip waarop de uitbreiding van de mist vaak het grootst is. Met het operationeel worden van de MSG zal dit punt vervallen: deze satelliet zal elk kwartier een beeld doorstralen, weliswaar met een lagere resolutie. Het effect hiervan is zichtbaar in de met MSG bestudeerde situatie: het detail in de beelden is veel kleiner dan bij de NOAA-beelden.

Satellieten kijken van bovenaf. Als er hoge bewolking in het gebied aanwezig is, zal de eventueel aanwezige mist onzichtbaar zijn voor de satellietsensoren. In het golflengtegebied van kanaal 4 is een dunne laag cirrus al voldoende om het zicht op de lagere delen van de troposfeer te benemen.

6.1.2 NOAA K4-K3 methode (nacht)

Uit de case-studies blijkt duidelijk dat de K4-K3 methode geen onderscheid maakt tussen mist en lage stratus. Beide wolkensoorten laten op het verschilbeeld positieve waarden van $\Delta T4-3$ zien. Dit is in overeenstemming met de theorie. Door specifieke stralingseigenschappen worden alle wolken met kleine waterdruppels door deze methode gedetecteerd. Een K4-K3 analyse op zich, kan dus geen eenduidig uitsluitsel geven over de aanwezigheid van mist.

Hoge bewolking wordt in het K4-K3 beeld goed onderscheiden van mist en stratus door negatieve waarden van $\Delta T4-3$.

Een optisch voldoende dik mist- of stratusveld zal in het K4-K3 beeld duidelijk afsteken tegen de omgeving. Als door middel van waarneming kan worden vastgesteld dat er sprake is van een mistveld en niet van stratus, geeft de K4-K3 methode een uitstekend beeld van de ruimtelijke verspreiding van het mistveld. In deze situatie is de K4-K3 methode zeer waardevol.

De voorwaarde dat het mistveld een zekere optische dikte moet hebben, staat er niet voor niets in de vorige alinea. De waarde van $\Delta T4-3$ blijkt namelijk evenredig te zijn met de verticale optische dikte van de mist- of stratuslaag. Mist met een geringe optische dikte zal niet gedetecteerd worden door de K4-K3 methode. Dit geldt dus voor grondmist en het eerste

stadium van stralingsmist. In de horizontaal nabij het oppervlak kunnen deze mistsoorten evenwel erg dicht zijn: zichten onder de 50 meter zijn goed mogelijk. Het is dus ook mogelijk dat er sprake is van mist zonder dat dit uit het K4-K3 beeld blijkt.

Er is dus geen relatie tussen de grootte van $\Delta T4-3$ en het horizontale zicht. Grote waarden van $\Delta T4-3$ wijzen op een optisch dikke laag, maar zeggen niets over de horizontale dichtheid bij het aardoppervlak. Een dikke laag stratus geeft bijvoorbeeld grotere waarden van $\Delta T4-3$ dan net gevormde stralingsmist. Voor enkele case studies is onderzocht of er voor specifieke situaties wel een verband bestaat. Ook dit blijkt niet het geval te zijn.

De mate van detail blijkt in een aantal gevallen erg groot te zijn. Bij verschillende case-studies zijn topografische kenmerken met een grootte van enkele kilometers zichtbaar. Ook in het geval van verspreide mistbanken voldoet de K4-K3 methode goed. Dit geldt zowel boven land als boven zee. Bij gebruik van de MSG valt het detail enigszins weg door de lagere resolutie.

6.1.3 NOAA K4-K3 methode (overdag en schemering)

In de dagsituatie komen gebieden met lage, gelaagde bewolking (mist en lage stratus) in het K4-K3 beeld naar voren als gebieden met een grote negatieve waarde van $\Delta T4-3$ (orde van grootte $-20K$). Ook hoge bewolking genereert dergelijke verschillen. Mist en stratus zijn hier op deze manier dus niet van te onderscheiden. Het onderscheid met onbewokte land en zee is wel goed te maken. Als grenswaarde kan $-12K$ gebruikt worden.

Het signaal in het K4-K3 beeld is tijdens de schemering sterk afhankelijk van de zonnestand. 's Nachts is een $3.9\mu m$ -kanaal een zuiver infra-rood kanaal. Vanaf zonsopkomst tot een zonshoogte van 7° krijgt het $3.9\mu m$ kanaal steeds meer het karakter van een zichtbaar licht kanaal. In het K4-K3 beeld is hierdoor de waarde van $\Delta T4-3$ afhankelijk van de zonshoogte. Bij voldoende dikke mist- of stratusgebieden varieert $\Delta T4-3$ van $-20K$ bij zonshoogten van boven de 7° tot zo'n $+4K$ in de nachtsituatie ($\Delta T4-3$ -waarden zijn orde van grootte).

De gebruikte verschilbeelden hebben slechts een minimale toegevoegde waarde boven een enkel zichtbaar licht beeld. Dit geldt zeker voor de dagsituatie. Tijdens de schemering zijn schaduwen zeer goed zichtbaar op het verschilbeeld.

6.1.4 Ruimtelijke variatie in K4

Op het kanaal 4 beeld is mist zoals te verwachten was niet goed te herkennen omdat de stralingstemperaturen van het land en de mist te dicht bij elkaar liggen. Stralingsmist vormt zich met een temperatuur gelijk aan die van de omgeving. Als de laag optisch dikker wordt gaat de mistlaag invloed gaan uitoefenen op de stralingshuishouding. Doordat er op de plaats van de mist minder stralingsverlies optreedt, koelt het omringende land verder af. De mist is dan te herkennen als een gebied met hogere stralingstemperaturen. Advection mist heeft vaak al bij het binnenstromen een andere temperatuur dan het landoppervlak en is dus sneller zichtbaar op een K4 beeld.

In de kaartjes van de ruimtelijke variatie in het K4 beeld zijn gebieden met een egale structuur goed te herkennen. Beter dan in het onbewerkte K4 beeld. Het blijkt dat boven land gebieden met een standaarddeviatie van kleiner dan 0.2 over 9 pixels, bestempeld kunnen worden als bedekt met egale bewolking. Boven zee geldt dit niet, omdat de zeewater temperatuur zelf maar weinig varieert in de ruimte. Wel is het mogelijk dat door temperatuurverschillen de begrenzing van een mistveld op zee in het variatiebeeld zichtbaar wordt.

Mist- en stratusvelden zijn dus ook te detecteren met alleen een kanaal 4 beeld als uitgangspunt. Vergelijken met de K4-K3 methode geeft de variatie methode echter aanzienlijk

minder informatie. In een K4-K3 beeld is vaak nog structuur te zien, die niet aanwezig is in het variatiebeeld. Hoewel boven zee de toegevoegde waarde boven een onbewerkt beeld marginaal is, kan een variatieplaatje toch duidelijk aangeven op welke plaatsen mist of stratiforme bewolking aanwezig is.

De ruimtelijke variatie test geeft geen houvast bij het maken van onderscheid tussen mist en lage stratus.

Omdat de variatiemethode kanaal 3 niet nodig heeft, kan deze methode ook toegepast worden op het infrarode kanaal van de Meteosat.

6.2 Hoofdconclusie

Zonder aanvullende informatie van synopsstations is mistdetectie bij nacht niet goed mogelijk. Worden er wel aanvullende (zicht)gegevens gebruikt, dan is detectie met een verschilbeeld van de NOAA kanalen 4 en 3 de beste mogelijkheid. Door zichtwaarden in het verschilbeeld op te nemen kunnen gebieden met lage stratus onderscheiden worden van mistgebieden. Met deze methode worden waterwolken laag in de atmosfeer gedetecteerd. Deze methode werkt niet in het geval van grondmist of mist met een kleine verticale optische dikte. Bij operationeel gebruik moet met dit gegeven rekening worden gehouden. Er is geen relatie tussen het horizontale zicht en de grootte van het verschil in helderheidstemperatuur tussen de twee kanalen. Als de K4-K3 methode op de juiste manier gebruikt wordt, is het een zeer nuttig en bruikbaar hulpmiddel voor mistdetectie in de nacht. In de schemering en overdag is de toegevoegde waarde van de K4-K3 methode gering, omdat dan de zichtbaar licht kanalen beschikbaar zijn.

Literatuurlijst

- Anthis, A.I., Cracknell, A.P.: 1999, 'Fog detection and forecast of fog dissipation using both AVHRR and Meteosat data', *Pre-prints of the 9th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography Vol 1, Paris, France, 25 – 29 May 1999 (AMS, Eumetsat, SMF)*, pp. 270-273
- Astillero, A. et al: 2001, 'A study of the evolution of the cloud cover over Cáceres (Spain) along 1997, estimated from meteosat images', *Proceedings of the 2001 Eumetsat Meteorological Satellite Data Users' Conference, Antalya, Turkey, 1 - 5 October 2001 (Eumetsat)*, pp. 353-359
- Bankert, R.L.: 1994, 'Cloud Classification of AVHRR Imagery in Maritime Regions Using a Probabilistic Neural Network', *Journal of Applied Meteorol.* **33**, 909-918
- Bendix, J., Bachmann, M.: 1991a, 'Ein operationell einsetzbares Verfahren zur Nebelerkennung auf der Basis von AVHRR-Daten der NOAA-Satelliten', *Meteor. Rundschau* **46**, 169-178
- Bendix, J., Bachmann, M.: 1991b, 'Climatology of fog layers in the alpine region – a study based on AVHRR data', *Proceedings of the 6th AVHRR Data Users' Meeting, Belgirate, Italy, 29 June – 2 July 1993 (Eumetsat)*, pp. 237-243
- Bendix, J.: 1995a, 'A case study on the determination of fog optical depth and liquid waterpath using AVHRR data and relations to fog liquid water content and horizontal visibility', *Int. J. Remote Sensing* **16#3**, 515-530
- Bendix, J.: 1995b, 'Ground fog or low stratus: decision making using AVHRR data?', *Proceedings of the 1995 Meteorological Satellite Data Users' Conference, Winchester, United Kingdom, 4 – 8 September 1995 (Eumetsat)*, pp. 385-392
- Bendix, J.: 2001, 'A fog climatology of Germany and the Alpine region based on AVHRR data', *Proceedings of the 2001 Eumetsat Meteorological Satellite Data Users' Conference, Antalya, Turkey, 1 - 5 October 2001 (Eumetsat)*, pp. 414-419
- Debie, F.P., Bonapart, M.E., Feijt, A.J., Bos, A.M.: 1994, 'Cloud classification of Meteosat data using an artificial neural network', *Proceedings of the 10th Meteosat Scientific Users' Conference, Cascais, Portugal, 5 – 9 September 1994 (Eumetsat)*, pp. 427-432
- D'Entremont, R.P.: 1986, 'Low- and Midlevel Cloud Analysis Using Nighttime Multispectral Imagery', *J. of Climate and Applied Meteorol.* **25**, 1853-1869
- Derrien, M., Le Gléau, H. : 1999, 'Cloud classification extracted from AVHRR and GOES imagery', *Proceedings of the 1999 Eumetsat Meteorological Satellite Data Users' Conference, Copenhagen, Denmark, 6 – 10 September 1999*, pp. 345-353
- Di Girolamo, L.: 1999, 'A comparison of 15 global, non-parametric, automated threshold selection procedures for cloud detection', *Pre-prints of the 9th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography Vol 1, Paris, France, 25 – 29 May 1999 (AMS, Eumetsat, SMF)*, pp. 197-200
- Dybbroe, A.: 1993, 'Automatic Detection of Fog at Night using AVHRR Data', *Proceedings of the 6th AVHRR Data Users' Meeting, Belgirate, Italy, 29 June – 2 July 1993 (Eumetsat)*, pp. 245-252
- Eyre, J.R., Brownscombe, J.L., Allam, R.J.: 1984, 'Detection of fog at night using Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) imagery', *Meteorological Magazine* **113**, 266-271
- Harris, R.: 1987, *Satellite remote sensing*, Routledge & Kegan Paul Ltd, New York, 220 pp.
- Hunt, G.E.: 1973, 'Radiative properties of terrestrial clouds at visible and infra-red thermal window wavelengths', *Quart. J. Royal Met. Soc.* **99**, 346-369
- Hyvärinen, O.: 2001, 'Operational classification of satellite images using neural networks', *Proceedings of the 2001 Eumetsat Meteorological Satellite Data Users' Conference, Antalya, Turkey, 1 - 5 October 2001 (Eumetsat)*, pp. 525-532
- Kerényi, J., Szenyán, I.G., Putsay, M., Wantuch, F.: 1995, 'Cloud detection based on a threshold technique for NOAA/AVHRR images for the Carpathian Basin',

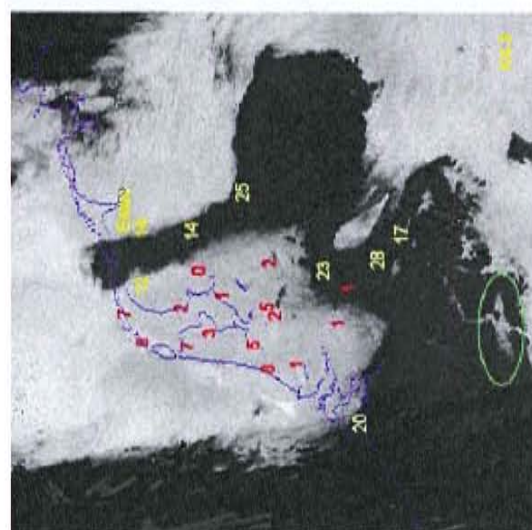
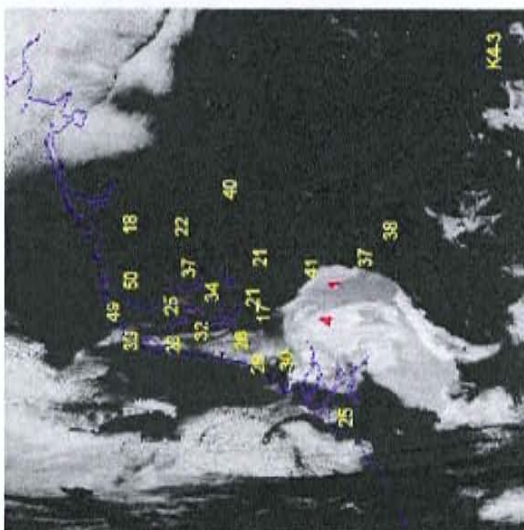
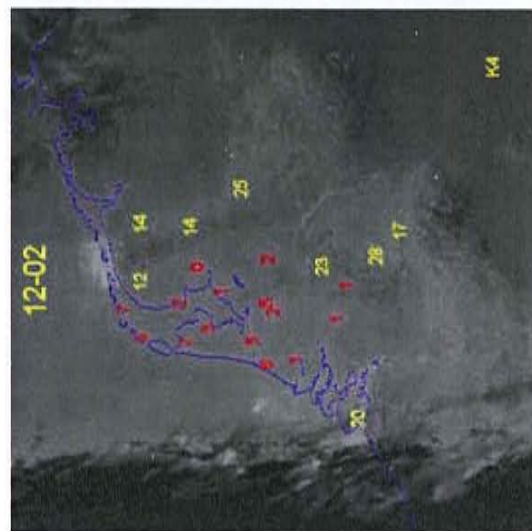
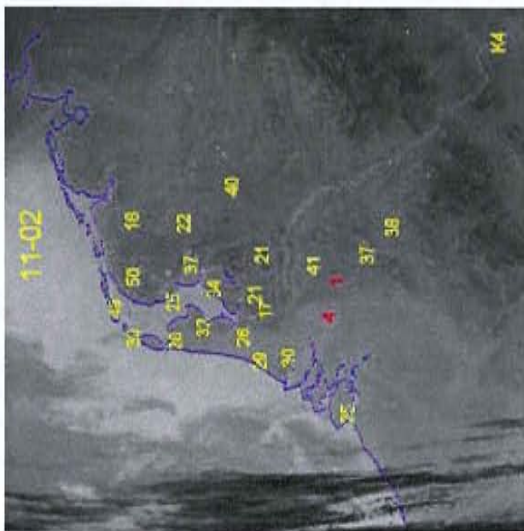
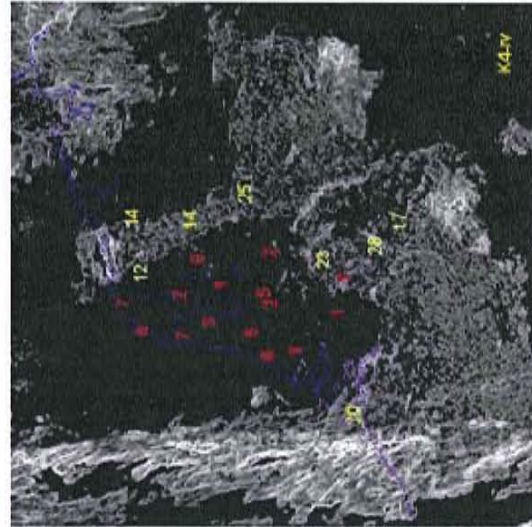
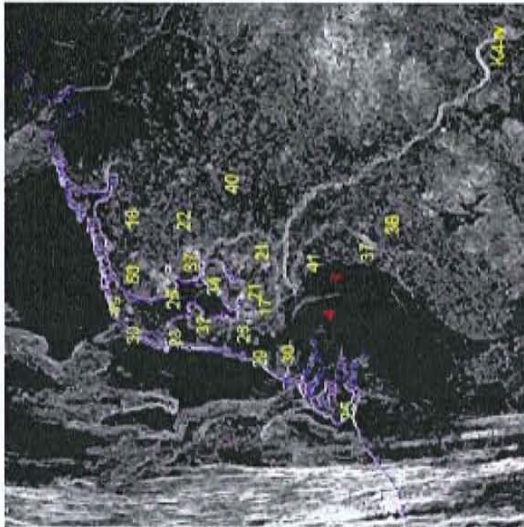
- Proceedings of the 1995 Meteorological Satellite Data Users' Conference, Winchester, United Kingdom, 4 – 8 September 1995 (Eumetsat)*, pp. 565-569
- Kriebel, K.T., Gesell, G., Kästner, M., Mannstein, H.: 1999, 'Cloud detection and analysis in operational applications of satellite data', *Proceedings of the 1999 Eumetsat Meteorological Satellite Data Users' Conference, Copenhagen, Denmark, 6 – 10 September 1999*, pp. 357-365
- Nakajima, T.Y., Nakajima, J.: 1995, 'Wide-Area Determination of Cloud Microphysical Properties from NOAA AVHRR Measurements for FIRE and ASTEX Regions', *J. of the Atmospheric Sciences* **52**, 4043-4059
- Pankiewicz, G.S.: 1995, 'Pattern recognition techniques for the identification of cloud and cloud systems', *Meteorol. Appl.* **2**, 257-271
- Papin, C., Bouthemy, P., Rochard, G.: 1999, 'Detection of low clouds in Meteosat IR night-time images based on a contextual spatio-temporal labeling approach', *Pre-prints of the 9th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography Vol 2, Paris, France, 25 – 29 May 1999 (AMS, Eumetsat, SMF)*, pp. 370-373
- Putsay, M., Kerényi, J., Szenyán, I.G., Sebök, I., Németh, P., Diószeghy, M.: 2001, 'Nighttime fog and low cloud detection in NOAA-16 AVHRR images and validation with ground observed synop data and radar measurements', *Proceedings of the 2001 Eumetsat Meteorological Satellite Data Users' Conference, Antalya, Turkey, 1 - 5 October 2001 (Eumetsat)*, pp. 365-372
- Reudenbach, C., Bendix, J.: 1997, 'The forecast of fog dispersal by means of NOAA-AVHRR data', *Proceedings of the 1997 Meteorological Satellite Data Users' Conference, Brussels, Belgium, 29 September – 3 October 1997 (Eumetsat)*, pp. 535-539
- Roozekrans, J.N., Prangma, G.J.: 1988, 'Processing and application of digital AVHRR-imagery for land- and sea surfaces', *Technical report bcrs-88-08, De Bilt*, 100 pp.
- Saraber, M.J.M.: 2000, *Satellietmeteorologie*, Leerstoelgroep Meteorologie en Luchtkwaliteit, Wageningen
- Saunders, R.W., Kriebel, K.T.: 1988, 'An improved method for detecting clear sky and cloudy radiances from AVHRR data', *Int. J. Remote Sensing* **9**#1, 123-150
- Schmetz, J., Woick, H., Tjemkes, S., Rattenborg, M.: 1999, 'From Meteosat to Meteosat Second Generation (MSG)', *Pre-prints of the 9th Conference on Satellite Meteorology and Oceanography Vol 2, Paris, France, 25 – 29 May 1999 (AMS, Eumetsat, SMF)*, pp. 335-338
- Stephens, G.L.: 1978, 'Radiation Profiles in Extended Water Clouds. II: Parameterization Schemes', *J. of the Atmospheric Sciences* **35**, 2123-2132
- Stull, R.B.: 1995, *Meteorology Today For Scientists and Engineers – A Technical Companion Book*, West Publishing Company, St Paul, 385 pp.
- Turner, J., Allam, R.J., Maine, D.R.: 1986, 'A case study of the detection of fog at night using channels 3 and 4 on the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)', *Meteorological Magazine* **115**, 285-290
- Velds, C.A.: 1992, *Zonnestaling in Nederland*, Thieme, Baarn, 170 pp.
- Woick, H., Schmetz, J., Tjemkes, S.: 1997, 'An introduction to Meteosat Second Generation imagery and products', *Proceedings of the 1997 Meteorological Satellite Data Users' Conference, Brussels, Belgium, 29 September – 3 October 1997 (Eumetsat)*, pp. 395-401

BIJBLAGE – Case-study plaatjes

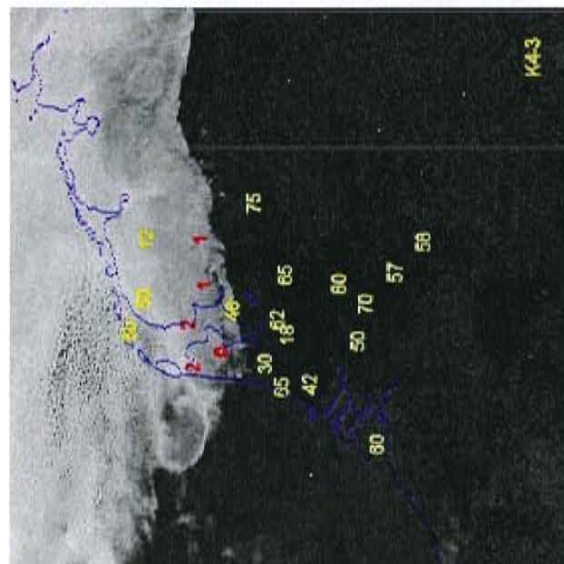
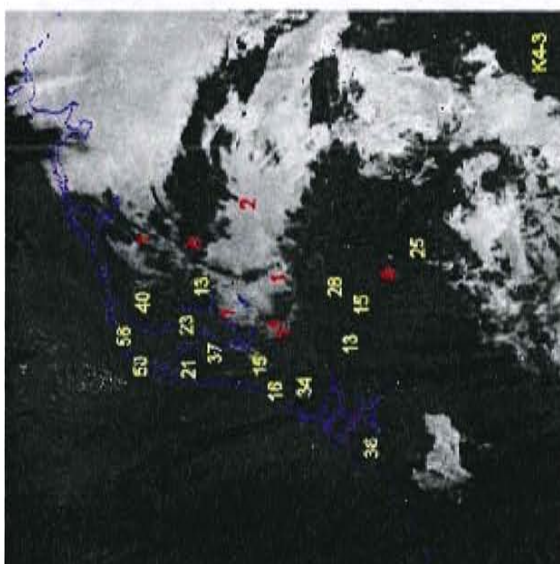
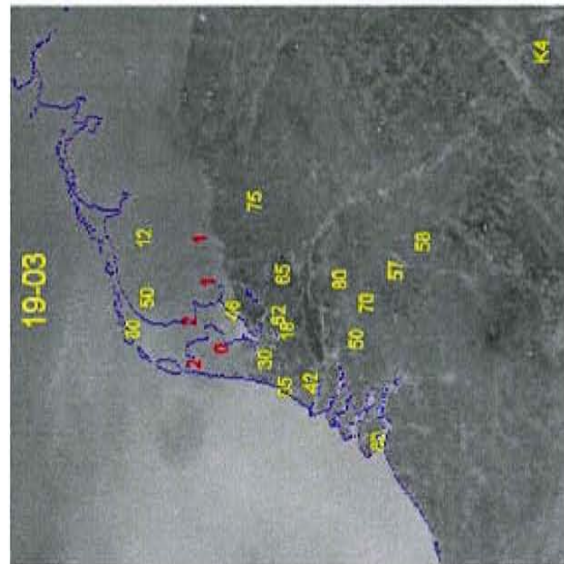
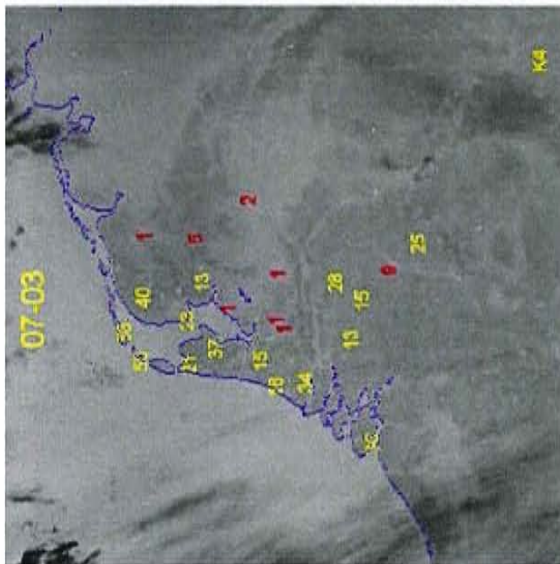
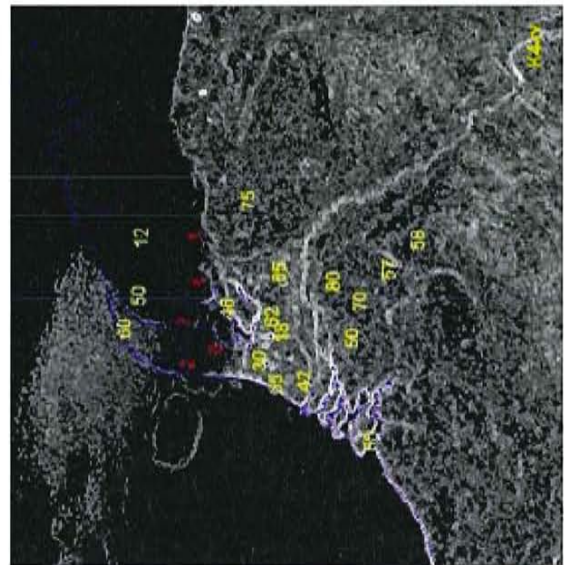
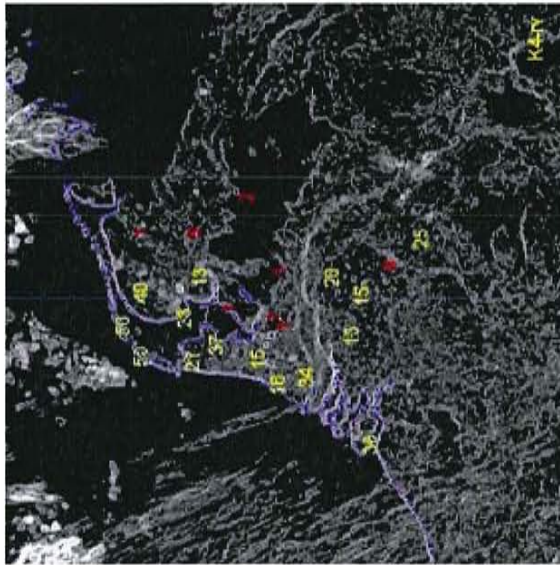
Van elke situatie zijn drie plaatjes weergegeven. Steeds is links het K4-K3 afgebeeld, in het middel het K4 beeld en rechts het K4-variatiebeeld. Dit staat ook in de plaatjes aangegeven.

Boven: **11-02, 2:17 UTC, VV 2 UTC**

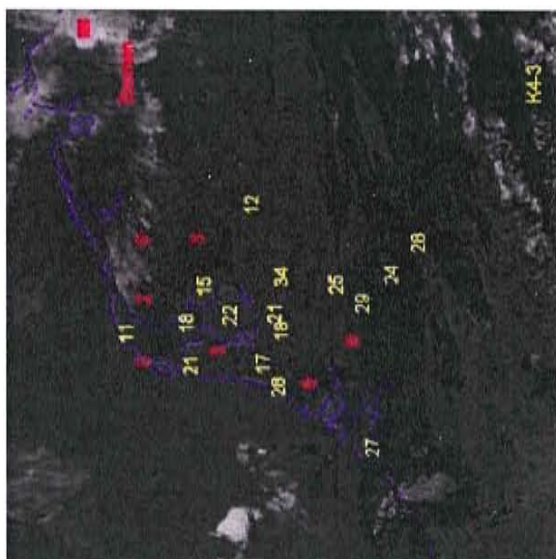
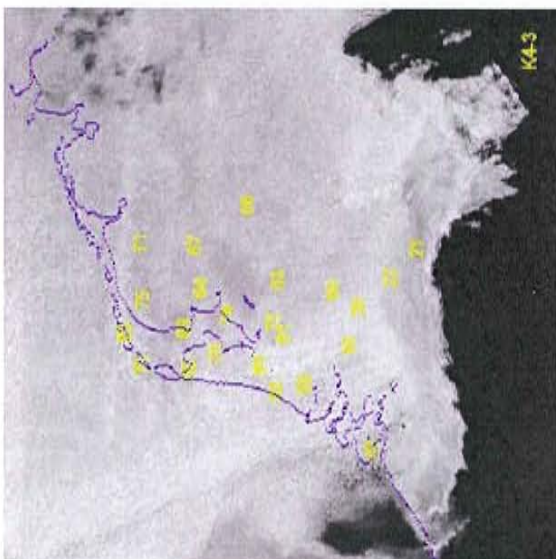
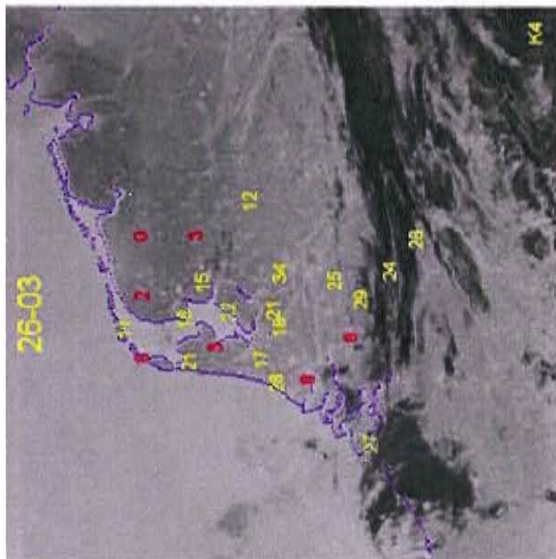
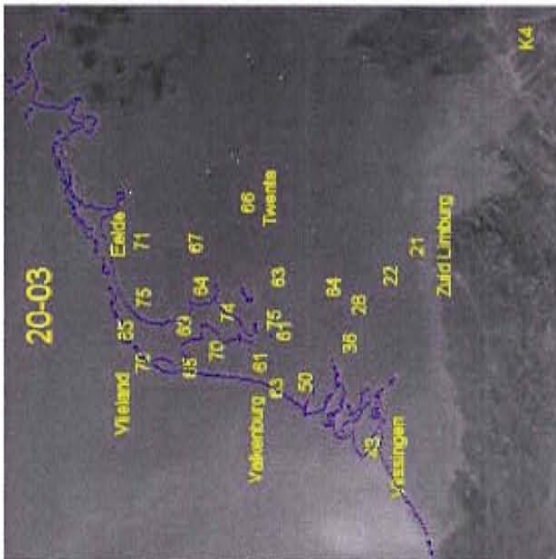
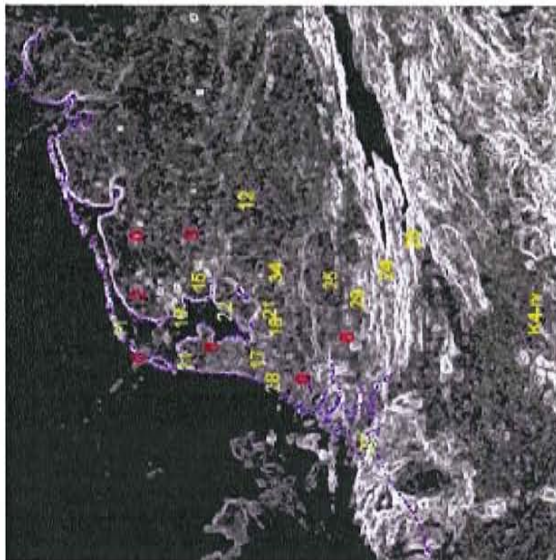
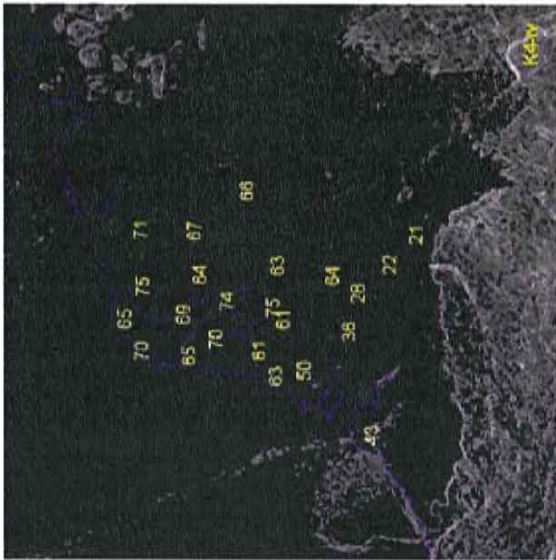
Onder: **12-02, 2:05 UTC, VV 2 UTC**



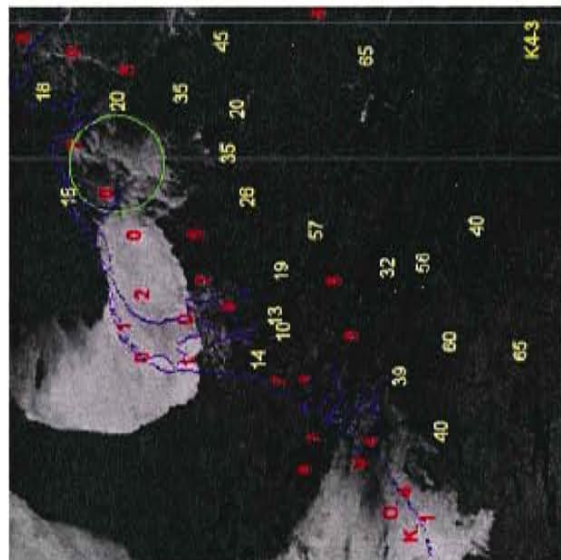
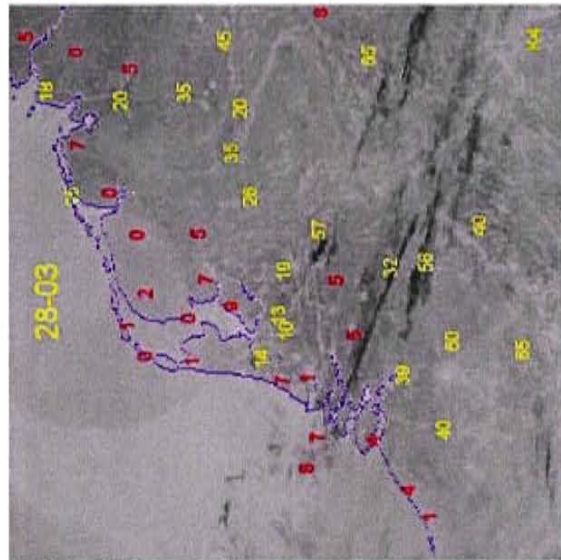
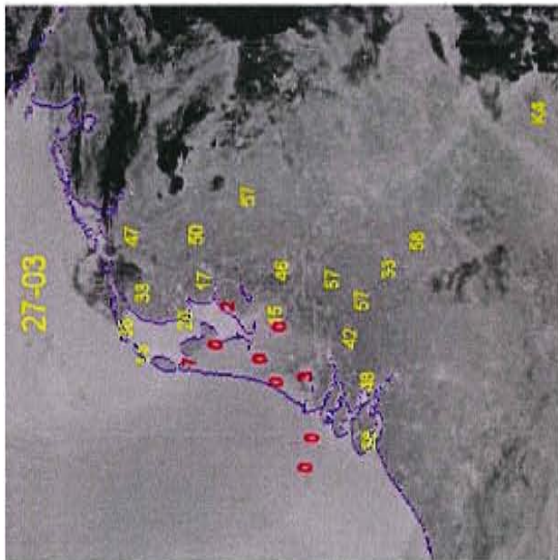
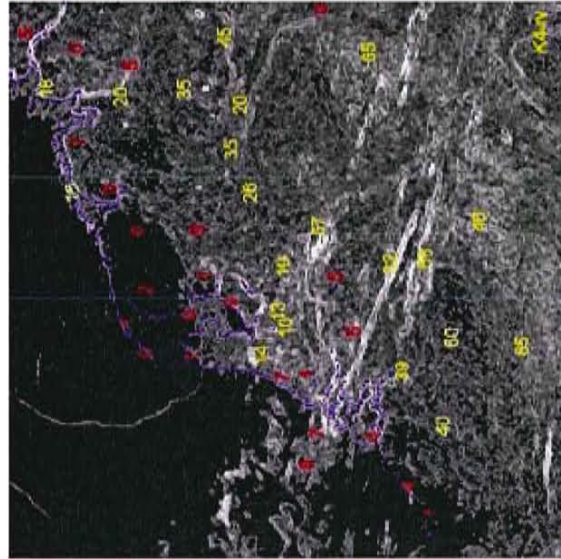
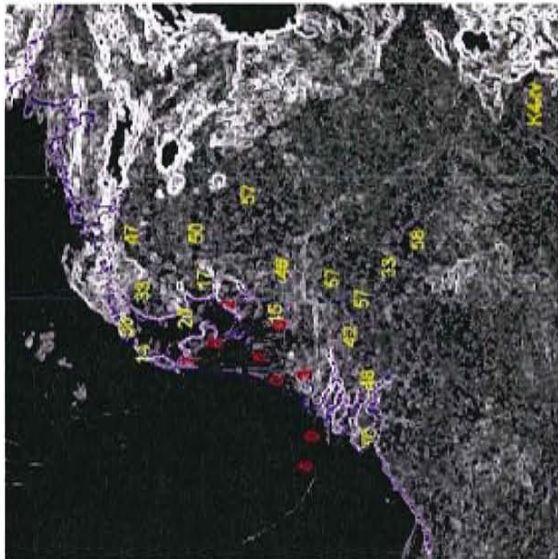
Boven: 07-03, 2:50 UTC, VV 3 UTC
 Onder: 19-03, 2:16 UTC, VV 2 UTC



Boven: 20-03, 2:05 UTC, VV 2 UTC
 Onder: 26-03, 2:38 UTC, VV 2 UTC



Boven: 27-03, 2:27 UTC, VV 2 UTC
 Onder: 28-03, 2:16 UTC, VV 2 UTC



Boven: 30-03, 1:53 UTC, VV 2 UTC
Onder: 23-04, 2:26 UTC, VV 2 UTC

