

Evaluatie van Doppler Windscheringproduct

Iwan Holleman, Han Mellink, Tijmen de Boer, en Hans Beekhuis

Internal Report, KNMI IR-2005-01

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Horizontale windschering	7
2.1	Windschering uit Doppler radar	7
2.2	Afleiding van horizontale windschering	9
2.3	Correctie van azimuthale windschering	11
2.4	Berekening van windschering	12
2.5	Gematronik implementatie	12
3	Cases	15
3.1	Weeralarm van 17 juli 2004	15
3.1.1	Synoptische setting	15
3.1.2	Horizontale windschering	17
3.2	Windhoos van 23 augustus 2004	19
3.2.1	Synoptische setting	19
3.2.2	Horizontale windschering	23
4	Evaluatie	27
4.1	Meteorologische bruikbaarheid	27
4.2	Verbeterpunten voor de Rainbow module	29
5	Conclusies en aanbevelingen	31
	Bibliografie	33

Hoofdstuk 1

Inleiding

De operationele radars in De Bilt en Den Helder kunnen naast de reflectiviteit, waaruit momenteel de neerslagbeelden worden geëxtraheerd, ook de Doppler verschuiving van het gereflecteerde signaal bepalen. Uit de waargenomen Doppler verschuiving kan de snelheidscomponent van de reflectoren in de richting van de radar worden bepaald (de zogenaamde radiële snelheid). Aannemende dat de reflectoren, meestal neerslagdeeltjes, met de horizontale wind mee bewegen, kan uit de waargenomen Doppler verschuiving informatie worden verkregen over het actuele windveld.

De eerste fase van het project “Ontwikkeling Doppler-radar-producten” bestond uit het bruikbaar maken van de ruwe gegevens van de beide Doppler radars. Dit is gebeurd door het verbeteren van de instellingen van de radars en door de ontwikkeling van methodes voor verwerking van de Doppler gegevens en bijbehorende kwaliteitscontrole. Binnen dit project is een methode voor analyse en correctie van dual-PRF snelheidswaarnemingen uit de Doppler radar ontwikkeld. Een artikel over deze methode is gepubliceerd in de *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* (Holleman and Beekhuis, 2003). Bovendien is binnen dit project een vergelijkende studie en een verificatie van methodes om windprofielen af te leiden uit Doppler radar gegevens uitgevoerd. Dit onderzoek heeft geleid tot een KNMI wetenschappelijk rapport (Holleman, 2003) en tot een implementatie project waarin de Doppler radar windprofielen operationeel zijn ingevoerd op het KNMI. Dit implementatie project is in februari 2004 succesvol afgerond.

In deze fase van het project “Ontwikkeling Doppler-radar-producten” zal een beeldproduct worden ontwikkeld voor het monitoren van lokale windschering (waarschuwingproduct). Het windschering beeldproduct is voornamelijk bedoeld voor het monitoren van gevaarlijk weer en zal eventueel als invoer kunnen dienen voor “feature detectie” algoritmes. Indien mogelijk zal het windschering beeldproduct van beide radars worden gemengd tot een composiet om de operationele beschikbaarheid te waarborgen.

Afgelopen zomer (juli tot september 2004) is een evaluatie uitgevoerd van het windscheringsproduct van Gematronik (Gematronik, 2003). Met deze windscheringsmodule is elke 15 minuten een horizontaal windscheringsbeeld gegenereerd met een 2.5 km resolutie en een geografische uitsnede identiek aan die van het standaard KNMI radarbeeld. Aan de hand van een tweetal cases is de bruikbaarheid van de horizontale windschering als basis voor een Doppler waarschuwingsproduct geëvalueerd. Het blijkt dat kleinschalige gevaarlijkweersfenomenen zoals windhozen en downbursts inderdaad herkenbaar zijn in de windscheringsbeelden. Bovendien blijkt dat het gevaarlijke weer op de meest directe en toegankelijke manier zichtbaar wordt gemaakt via de horizontale windschering. De evaluatie heeft geresulteerd in een aantal conclusies en aanbevelingen die in het laatste hoofdstuk van dit rapport zijn opgesomd.

Hoofdstuk 2

Horizontale windschering

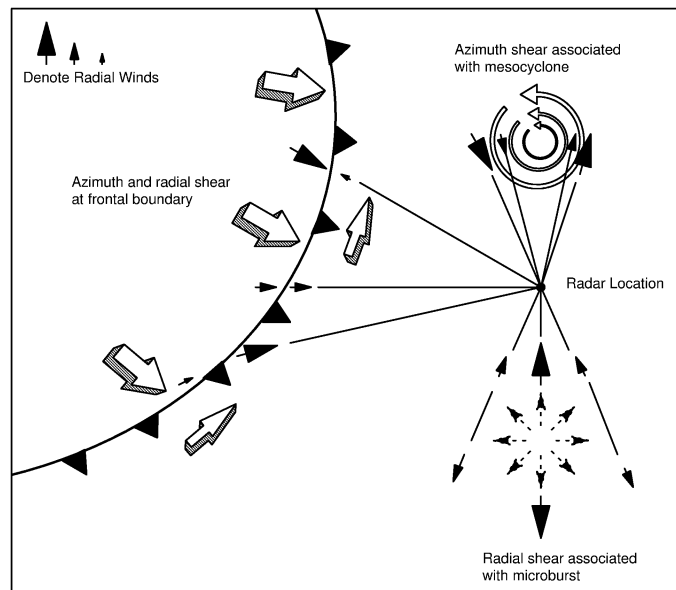
In dit hoofdstuk wordt “horizontale windschering” geïntroduceerd als een natuurlijke grootheid om lokale afwijkingen in het gemiddelde windveld zoals waargenomen door een Doppler radar zichtbaar te maken. De relatie tussen een aantal gevaarlijkweersfenomenen en (horizontale) windschering zal worden belicht. Bovendien wordt de berekening van de horizontale windschering uit de ruwe Dopplergegevens in detail beschreven en worden mogelijke storende factoren belicht.

2.1 Windschering uit Doppler radar

De operationele windprofielen uit de Doppler radars (Holleman, 2003) zijn zeer geschikt om het gemiddelde windveld boven Nederland en de verticale windschering te monitoren. Het frequent beschikbaar komen van deze windprofiel informatie is al een grote aanwinst vooral bij gevaarlijk weer. De potentiële toegevoegde waarde van de windinformatie uit de Doppler radarbeelden voor de detectie van gevaarlijkweersfenomenen ligt in het waarnemen van de **afwijkingen** in het gemiddelde windveld. Deze afwijkingen kunnen zichtbaar worden gemaakt door de windschering, het snelheidsverschil tussen 2 punten, te berekenen uit de Doppler radarbeelden. Uitgaande van de ruwe Dopplergegevens kunnen er drie verschillende typen windschering worden afgeleid:

Radiële windschering Dit is de windschering in radiële richting die wordt berekend uit het waargenomen verschil in de radiële snelheid op twee afstanden bij constante elevatie en azimut. Een positieve waarde voor de radiële windschering komt overeen met een toenemende snelheid met afstand (divergentie).

Azimutale windschering Dit is de windschering in tangentiële richting die wordt



Figuur 2.1: Schematische voorstelling van een aantal (gevaarlijk)weerfenomenen en de bijbehorende windschering. Deze figuur is overgenomen uit Sigmoid (2002).

berekend uit het waargenomen verschil in de radiële snelheid voor twee azimuths bij constante elevatie en afstand. Een positieve waarde voor de azimuthale windschering komt overeen met een toenemende snelheid bij toenemende azimuth (positieve vorticeit).

Elevatie windschering Dit is de windschering in verticale richting die wordt berekend uit het waargenomen verschil in de radiële snelheid voor twee elevaties bij constante azimuth en afstand. Een positieve waarde voor de elevatie windschering komt overeen met een toenemende snelheid bij toenemende hoogte.

De verticale of elevatie windschering kan zeer goed worden afgelezen uit de radar windprofielen en daarom zal in deze evaluatie de nadruk worden gelegd om de windschering in het horizontale vlak.

In de handleiding van het IRIS productgeneratie software (Sigmoid, 2002) en in figuur 2.1 worden een aantal weerfenomenen belicht die op basis van de bijbehorende windschering kunnen worden waargenomen:

Microbursts Microbursts tijdens onweersbuien of andere convectieve systemen. Deze microbursts zijn extreem gevaarlijk voor vliegtuigen bij het landen of opstijgen. Microbursts geven aanleiding tot positieve waarden in de radiële

windschering (sterke divergente uitstroom) in een rond gebied met een typische diameter van maximaal 3 km.

Gust fronts Gust fronts worden veroorzaakt door de uitstroom van koude lucht uit een convectief systeem die botst met de lucht in de omgeving. Deze gust fronts geven meestal aanleiding tot negatieve waarden in de radiële windschering (convergentie), maar kunnen soms (afhankelijk van de geometrie) ook aanleiding geven tot positieve radiële windschering of tot azimuthale windschering.

Mesocyclonen Mesocyclonen zijn kleinschalige rotaties in convectieve systemen en ze kunnen soms leiden tot windhozen. Mesocyclonen geven aanleiding tot azimuthale windschering.

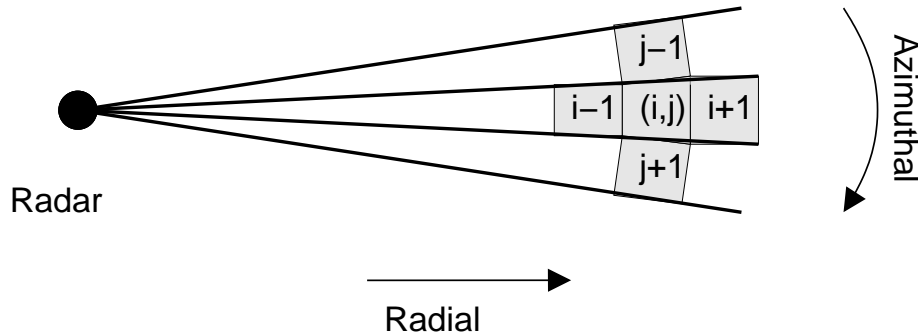
Koufronten Koufronten kunnen aanleiding geven tot scheringseffecten die vergelijkbaar zijn met die bij gust fronts maar wel een veel groter gebied bestrijken.

Atmosferische golven Atmosferische golven worden geproduceerd met een scala aan golflengtes en intensiteiten. De resulterende windscheringen kunnen positief of negatief zijn afhankelijk van de oorsprong van de golf en zijn “fase”.

In de volgende paragraaf zal worden aangetoond dat de radiële en azimuthale windschering kunnen worden gecombineerd tot de zogenaamde horizontale windschering. Alle zojuist beschreven meteorologische fenomenen zouden in deze horizontale windschering zichtbaar moeten zijn en dit maakt het in potentie zeer geschikt voor een waarschuwingsproduct. In Finland hebben Saltikoff et al. (2004) hebben recentelijk een duidelijke relatie gevonden tussen Doppler windschering en het optreden van downbursts.

2.2 Afleiding van horizontale windschering

In figuur 2.2 is de manier waarop de radiële en azimuthale windschering worden berekend uit de ruwe Dopplergegevens schematisch weergegeven. In deze figuur zijn een vijftal rangebins – dit zijn de polaire eenheden waarin de Doppler radar zijn waarnemingen middelt – weergegeven: een drietal met constante azimuth en een drietal (met overlap) op constante afstand. De radiële en azimuthale windschering worden berekend uit de verschillen in de radiële snelheden tussen de rangebins respectievelijk met constante azimuth (j constant) en op constante afstand (i constant). Het berekenen van snelheidsverschillen uit Dopplergegevens is echter niet triviaal.



Figuur 2.2: Schematische voorstelling van de berekening van de radiële en azimuthale windschering uit de ruwe Dopplergegevens in polaire coördinaten.

De snelheden waargenomen door een Doppler radar zijn opgevouwen (“aliased”) door de beperkte maximaal eenduidige snelheid V^u . Voor een standaard Doppler radar met een constante puls-frequentie ligt deze maximaal eenduidige snelheid tussen de 10 en 15 m/s. Met behulp van de zogenaamde “dual-PRF” techniek kan de maximaal eenduidige snelheid met een factor drie worden vergroot, maar dit gaat gepaard met 1-2% aan uitbijters (Holleman and Beekhuis, 2003). De werkelijke snelheid $V(i, j)$ verhoudt zich als volgt tot de waargenomen snelheid $\tilde{V}(i, j)$ (Doviak and Zrníc, 1993):

$$V(i, j) = \tilde{V}(i, j) + 2nV^u \quad (2.1)$$

waarbij n een geheel getal is dat zowel positief als negatief kan zijn. Het verschil tussen twee werkelijke snelheden in de radiële/azimutale richting kan als volgt worden uitgedrukt in de waargenomen snelheden:

$$\Delta VI(i, j) \equiv \tilde{V}(i, j) - \tilde{V}(i-1, j) = V(i, j) - V(i-1, j) + 2mV^u \quad (2.2)$$

$$\Delta VJ(i, j) \equiv V(i, j) - V(i, j-1) + 2mV^u \quad (2.3)$$

waarbij het getal m zo moet worden gekozen dat $\Delta VI(i, j) \in [-V^u, V^u]$ en idem voor $\Delta VJ(i, j)$. Dit betekent dat het waargenomen snelheidsverschil niet groter kan zijn dan de maximaal eenduidige snelheid.

De radiële windschering $RS(i, j)$ kan nu als volgt uit de waargenomen snelheidsverschillen met constante azimuth berekend worden:

$$RS(i, j) \equiv \frac{\Delta VI(i+1, j) + \Delta VI(i, j)}{2\Delta R} \quad (2.4)$$

waarbij ΔR de afstandsresolutie van de ruwe Dopplergegevens in km is. Op vergelijkbare wijze kan de azimuthale windschering $AS(i, j)$ worden berekend uit

de waargenomen snelheidsverschillen op constante afstand:

$$AS(i, j) \equiv \frac{\Delta V J(i, j+1) + \Delta V J(i, j)}{2R\Delta\phi} \quad (2.5)$$

waarbij $\Delta\phi$ de hoekresolutie van de ruwe radargegevens in radialen is en R de afstand tot de radar in km. De maximale radiële windschering die kan worden waargenomen hangt af van de maximaal eenduidige snelheid en de afstandsresolutie, en de maximale azimuthale windschering hangt af van de maximaal eenduidige snelheid, de afstand tot de radar, en de hoekresolutie. Voor een typische C-band radar met een maximaal eenduidige snelheid van 12.5 m/s en een afstandsresolutie van 0.5 km, volgt een maximaal detecteerbare radiële windschering van 25 m/s/km. Voor diezelfde radar met een hoekresolutie van 1 graad, volgt een maximaal detecteerbare azimuthale windschering van 72 m/s/km op 10 km afstand en slechts 5 m/s/km op 150 km.

De horizontale windschering wordt berekend uit de radiële en azimuthale windschering en is als volgt gedefinieerd:

$$HZS(i, j) \equiv \sqrt{RS^2(i, j) + AS^2(i, j)} \quad (2.6)$$

en dus kan de horizontale windschering alleen positieve waarden aannemen. Door de kwadratische optelling van beide windscheringscomponenten zullen alle fenomenen die aanleiding geven tot radiële óf azimuthale windschering ook zichtbaar zijn in de horizontale windschering.

2.3 Correctie van azimuthale windschering

Zelfs een uniform windveld levert een bijdrage aan de azimuthale windschering, maar over het algemeen is deze bijdrage niet interessant voor een waarschuwingsproduct. De weergave van de waargenomen radiële snelheid als functie van de azimuth staat bekend als “Velocity Azimuth Display” (VAD). Voor een uniform windveld en 0 graden elevatie geldt het volgende verband tussen de radiële snelheid V en de azimuth ϕ (Holleman, 2003):

$$V = u_0 \sin \phi + v_0 \cos \phi \equiv V_0 \cos(\phi - \phi_0) \quad (2.7)$$

waarbij V_0 en ϕ_0 de windsnelheid en -richting zijn. De bijdrage van het uniforme windveld aan de azimuthale windschering kan nu worden geschreven als:

$$\tilde{AS} = \frac{1}{R} \frac{\partial V}{\partial \phi} = -\frac{V_0}{R} \sin(\phi - \phi_0) \quad (2.8)$$

$$\leq \frac{V_0}{R} \quad (2.9)$$

en dus kan deze bijdrage met name op korte afstanden aanzienlijk worden. Een stevige wind van 20 m/s geeft op 10 km afstand aanleiding tot een schijnbare azimuthale windschering van 2 m/s/km. Als de windrichting en -snelheid rond de radar bekend zijn uit bijvoorbeeld een VAD of VVP (Volume Velocity Processing) analyse kan de azimuthale windschering gecorrigeerd worden voor deze bijdrage.

2.4 Berekening van windschering

De berekening van (horizontale) windschering uit de ruwe Dopplergegevens in polaire coördinaten wordt bemoeilijkt door de volgende zaken:

- Grondecho's zijn echo's afkomstig van vaste objecten rond de radar of van het raken van de radarbundel aan het aardoppervlak en ze geven aanleiding tot foutieve radiële snelheden rond 0 m/s. Vanzelfsprekend geven deze grondecho's problemen bij het berekenen van windschering. Dit probleem kan ondervangen worden door de berekening van de windschering volgens vergelijking 2.4 of 2.5 te staken wanneer teveel rangebins een absolute radiële snelheid kleiner dan bijvoorbeeld 1 m/s aangeven.
- De berekening van de windschering is gebaseerd op het nemen van verschillen tussen waarnemingen van radiële snelheid. Een dergelijke berekening is inherent gevoelig voor ruis in de waarnemingen. Dit probleem kan gedeeltelijk worden ondervangen door een vorm van ruimtelijke middeling van de berekende windschering.
- De bijdrage van een uniform windveld aan de azimuthale windschering (zie vorige paragraaf).

Voor iedere storende factor bij de berekening van de windschering is er een (adequate) oplossing voor handen, maar de manier waarop de berekening van de (horizontale) windschering is geïmplementeerd bepaald de kwaliteit (en dus de bruikbaarheid) van het waarschuwingsproduct.

2.5 Gematronik implementatie

Op dit moment worden de KNMI radarproducten, zoals bijvoorbeeld de neerslagbeelden, echotopkaarten, en windprofielen, gegenereerd met de Rainbow software (versie 3.4) van Gematronik (Gematronik, 2003). Afgelopen zomer (2004) hadden we op basis van een tijdelijke licentie (tot 1 oktober) ook het windscheringsproduct van Gematronik tot onze beschikking. Met deze windscheringsmodule is elke 15 minuten een horizontaal windscheringsbeeld gegenereerd met een

2.5 km resolutie en een geografische uitsnede identiek aan die van het standaard KNMI radarbeeld.

In deze Rainbow module wordt de horizontale windschering berekend uit de radiële en azimutale windschering. Zowel de radiële windschering als de azimutale windschering worden bepaald uit een lineaire fit aan een instelbaar aantal rangebins bij dezelfde azimut of op constante afstand (zie figuur 2.2). Deze fit wordt alleen uitgevoerd als alle benodigde rangebins een geldige waarde bevatten. Vervolgens wordt de helling verkregen uit de lineaire fit omgezet naar de windschering in m/s/km. Bij de berekening van de azimutale windschering biedt de Rainbow module de mogelijkheid om de bijdrage van het uniforme windveld (zie paragraaf 2.3) te verwijderen.

De horizontale windschering wordt vervolgens berekend uit de radiële en azimutale windschering met behulp van vergelijking 2.6. De horizontale windscheringsgegevens bij verschillende antenne elevaties worden in de Rainbow module (Gematronik, 2003) gecombineerd tot een doorsnede op constante hoogte, oftewel een zogenaamde CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator). Dit heeft als voordeel dat de hoogte van de waarneming onafhankelijk is van de afstand, maar als nadeel dat het bereik van het waarschuwingsproduct nogal beperkt wordt. Voor een hoogte van 1500 m en de beschikbare elevaties (tussen 0.3 en 3.0 graden), kan de CAPPI van de horizontale windschering alleen berekend worden tussen 28 en 121 km afstand van de radar. De horizontale windscheringsbeelden gegenereerd met deze Rainbow module zullen in het vervolg worden aangeduid met “Rainbow windscheringsbeelden”.

Hoofdstuk 3

Cases

In dit hoofdstuk zal aan de hand van een tweetal cases de bruikbaarheid van de horizontale windscheringsbeelden als basis voor een Doppler waarschuwingsproduct worden geëvalueerd. Er is zowel naar de Rainbow windscheringsbeelden met de standaard resolutie (2.5 km) als naar de herberekende windscheringsbeelden met een 0.5 km resolutie gekeken.

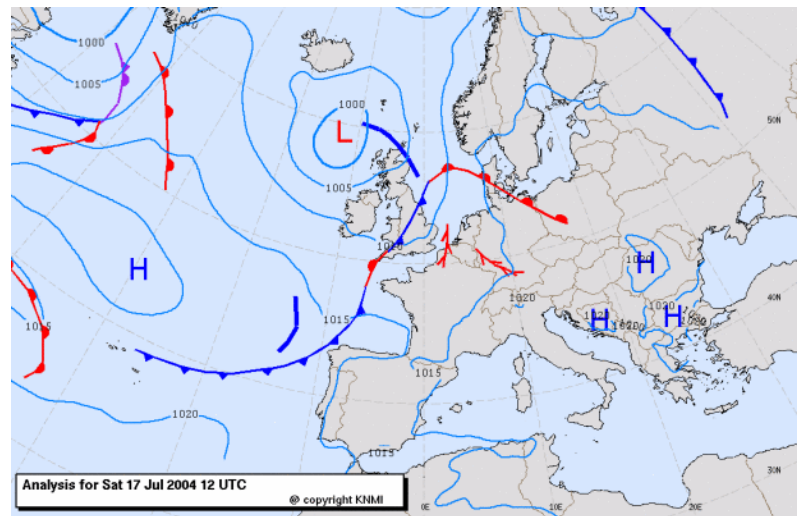
3.1 Weeralarm van 17 juli 2004

Op 17 juli 2004 heeft het KNMI een weeralarm uitgegeven voor zwaar onweer en gewaarschuwd voor gevaar en grote overlast. De letterlijke tekst van het weeralarm luidde: “Een gebied met zware onweersbuien boven het zuidwesten van het land trekt in noordoostelijke richting met een snelheid van 50 km/h. Tijdens de buien is er kans op hagel en (zeer) zware windstoten en lokaal wateroverlast. Tegen middernacht verlaten de buien het noordoosten van het land.”

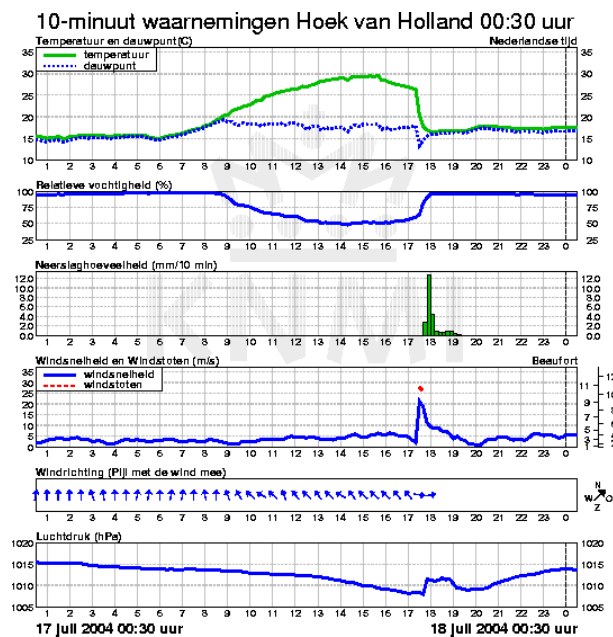
3.1.1 Synoptische setting

Het ging op 17 juli 2004 om een typische zomersituatie met een sterk opgewarmd continent met een vlakke luchtdrukverdeling. Hoger in de troposfeer naderde een trog het continent met aan de voorzijde een krachtige zuid tot zuidwestelijke stroming. In deze hoogtestroming werd aan de voorzijde van een koufront warme en vochtige lucht aangevoerd die op 850 hPa goed herkenbaar was als een “Spanish Plume” (door hoge θ_w waarden). In de “Spanish Plume” kunnen zich over het algemeen gemakkelijk convergentielijnen ontwikkelen met verhoogde buienactiviteit. Dat gebeurde ook in dit geval.

Op de weerkaart van 12 UTC in figuur 3.1 zijn twee van dergelijke convergentielijnen aangegeven: één boven Duitsland, net reikend tot aan Zuid-Limburg en



Figuur 3.1: Analyse op basis van Hirlam van 17 juli 2004 om 12:00 UTC. De twee convergentielijnen voor de Belgische kust en boven Duitsland zijn met een rode lijn aangegeven



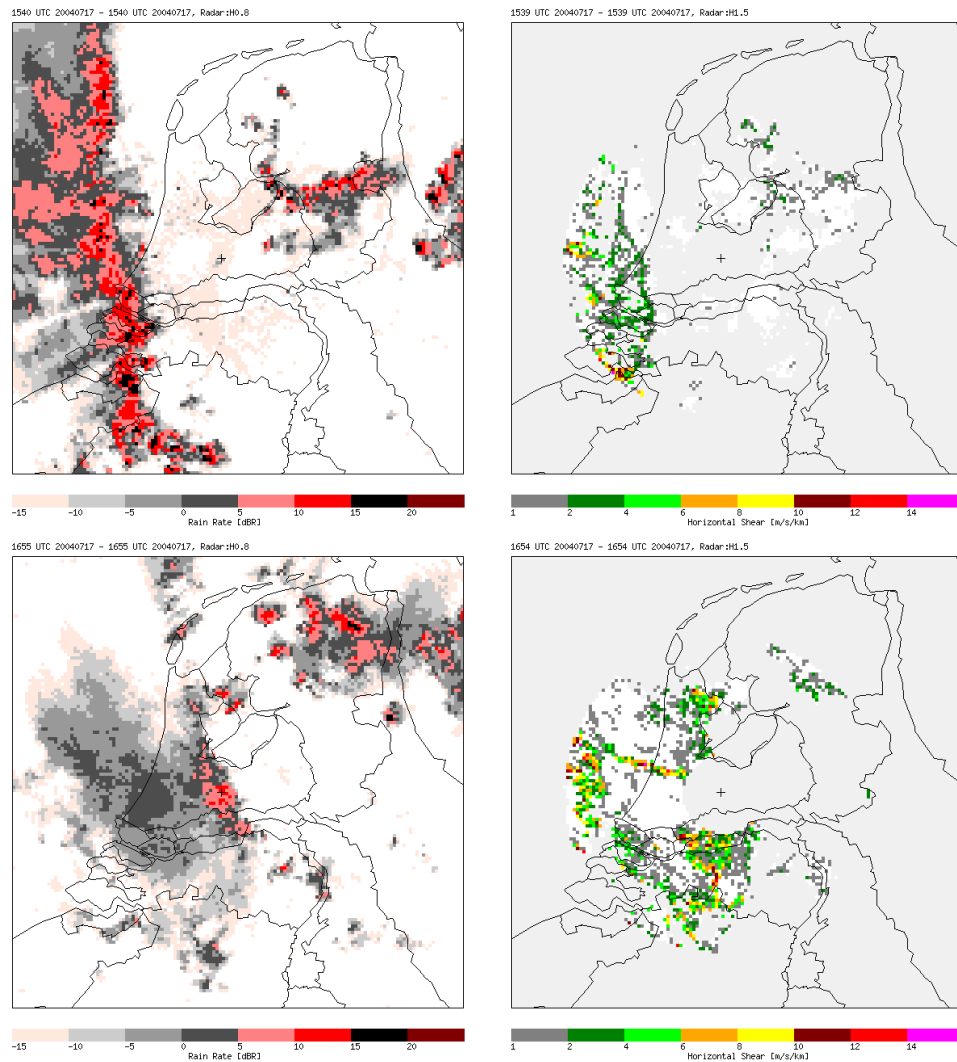
Figuur 3.2: 10 Minuten waarnemingen op het automatisch weerstation in Hoek van Holland op 17 juli 2004 met lokale tijd-as. De passage van de convergentielijn tussen 15 en 16 UTC is duidelijk zichtbaar door het temperatuurverloop, de intense neerslag, de plotselinge windruiming, en de harde wind(stoten).

één voor de Belgische kust. Van de laatstgenoemde convergentielijn werd tot aan het begin van die middag aangenomen dat de activiteit ervan boven de Noordzee zou blijven. Aan het eind van de middag echter trok deze zeer actieve buienlijn vanuit het zuidwesten in noordoostelijke richting over ons land. Om 15:30 UTC (17:30 h lokale tijd) passeerde deze buienlijn het automatisch weerstation in Hoek van Holland met intense neerslag, sterke windruiming, harde wind en een maximaal waargenomen windstoot van bijna 30 m/s (zie figuur 3.2). Boven grote delen van Nederland heeft deze buienlijn overlast veroorzaakt in de vorm van zware windstoten, intense neerslag, zwaar onweer, en hagel.

3.1.2 Horizontale windschering

Van deze case zijn alleen de Rainbow windscheringsbeelden beschikbaar, omdat destijds helaas de ruwe Dopplergegevens niet werden gearchiveerd. In figuur 3.3 zijn de neerslag- en windscheringsbeelden van de radar in De Bilt weergegeven voor twee tijdstippen. De linker kolom van deze figuur bevat de neerslagbeelden en de rechter kolom de Rainbow windscheringsbeelden. De bovenste rij bevat de radarbeelden van 15:40 UTC op 17 juli 2004 en dit is rond het moment waarop de buienlijn over het automatisch weerstation in Hoek van Holland trekt. Het radar neerslagbeeld (linksboven) laat een lange buienlijn (lengte 350 km en breedte van 25 km) zien waarin op veel plaatsen zeer intense neerslag (10-30 mm/h) voorkomt. Op een aantal plaatsen in de buienlijn zijn kleine gebieden (“cellen”) zichtbaar met neerslagintensiteiten boven 30 mm/h. Het bijbehorende Rainbow windscheringsbeeld laat op de locatie van de buienlijn een patroon met een geringe windschering zien dat precies de golven in het neerslagpatroon volgt. Dus de downbursts aan de voorzijde van deze buienlijn leveren slechts een gering signaal op in dit Rainbow windscheringsbeeld met de standaard horizontale resolutie van 2.5 km.

Wat verder opvalt aan het Rainbow windscheringsbeeld (rechtsboven in figuur 3.3) zijn de zeer sterke windscheringen die worden waargenomen ten westen en zuiden van de buienlijn. Het Rainbow windscheringsbeeld dat rechtsonder in de figuur is weergegeven laat zelfs hele lijnen en gebieden met zeer sterke windschering zien. De onderste beelden in figuur 3.3 zijn van 16:55 UTC toen de buienlijn zich boven het midden van ons land bevond. Het is duidelijk dat deze patronen met sterke windschering weinig relatie hebben met de waargenomen neerslagpatronen. Uit de tijd-hoogte weergave van de Doppler radar windprofielen van 17 juli 2004 (niet weergegeven) blijkt dat de passage van de buienlijn op 1500 m hoogte (=hoogte van windscheringsbeeld) gepaard ging met een draaiing van de wind van zuid naar west én een intensivering van 10 naar 20 m/s. De maximaal eenduidige snelheid van de gebruikte Doppler waarnemingen is 13.3 m/s en is dus lager dan de actuele windsnelheid na passage van de buienlijn. In paragraaf 2.2 staat beschreven dat snelheden hoger dan de maximaal eenduidige snelheid wor-



Figuur 3.3: Radar neerslagbeeld (linksboven) en horizontale windscheringsbeeld (rechtsboven) van 15:40 UTC op 17 juli 2004. Radar neerslagbeeld (linksonder) en horizontale windscheringsbeeld (rechtsonder) van 16:55 UTC op 17 juli 2004. De beelden hebben de standaard horizontale resolutie van 2.5 km en zijn gegenereerd met de Rainbow software van Gematronik. Het lichte grijs in de windscheringsbeelden geeft aan waar er geen gegevens beschikbaar zijn (“no data”).

den opgevouwen (gealiased) bij een Doppler waarneming. Als bij de berekening van de windschering geen rekening wordt gehouden met dit opvouwingseffect ontstaan artefacten. De artefacten in de Rainbow windscheringsbeelden van figuur 3.3 (maar ook voor andere cases) geven aan dat binnen de Rainbow module (ten onrechte) geen rekening wordt gehouden met de opvouwing van radiële snelheden.

Het Rainbow windscheringsbeeld rechtsonder in figuur 3.3 laat ook duidelijk het “grote gat” zonder windscheringgegevens rond de radar zien. Zoals beschreven in paragraaf 2.5 is de combinatie van de windscheringsgegevens bij verschillende elevaties tot een doorsnede op constante hoogte (CAPPI) de oorzaak van dit gat (diameter 56 km voor een doorsnede op 1500 m hoogte). Naast dit gat geeft de CAPPI presentatie ook regelmatig aanleiding tot ringvormige patronen in het windscheringsbeeld. Al met al kleven aan deze presentatievorm te veel nadelen en verdient het de voorkeur om de windscheringsgegevens per elevatie te presenteren.

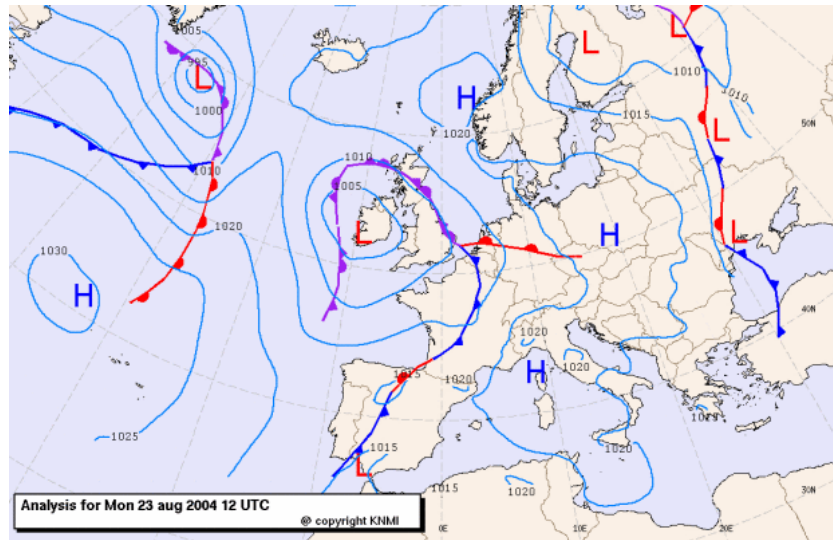
Tenslotte suggereren de neerslagbeelden dat de buienlijn ernstig is verzwakt tussen 15:40 en 16:55 UTC maar dit is schijn. De waargenomen neerslagintensiteit in het beeld van 16:55 UTC (linksonder in figuur 3.3) is sterk afgenomen doordat de buienlijn zich boven de radar bevindt. De radarstraling wordt verzwakt door verstrooiing in de intense neerslag en door het nat worden van de radome.

3.2 Windhoos van 23 augustus 2004

Op 23 augustus 2004 werden Muiden en Weesp getroffen door een windhoos die aanzienlijke schade heeft aangericht. Op de voorlichtingspagina van het KNMI op internet staat het volgende verslag: “Muiden is op 23 augustus 2004 getroffen door een windhoos. Uit onderzoek door het KNMI naar de aard van de schade blijkt dat het waarschijnlijk ging om een windhoos van klasse F1 op de zesdelige schaal van Fujita. Daarbij treden windsnelheden op tussen 117 en 180 km/h en die flinke schade veroorzaken aan daken, schuren, auto’s en caravans. In Muiden richtte de windhoos schade aan in een smal spoor van 50 meter breed over een lengte van een kilometer. Verschillende mensen hebben een slurf gezien en in Weesp waar ook schade is aangericht was aan de buienwolk een buidelvormig aanhangsel te zien.”

3.2.1 Synoptische setting

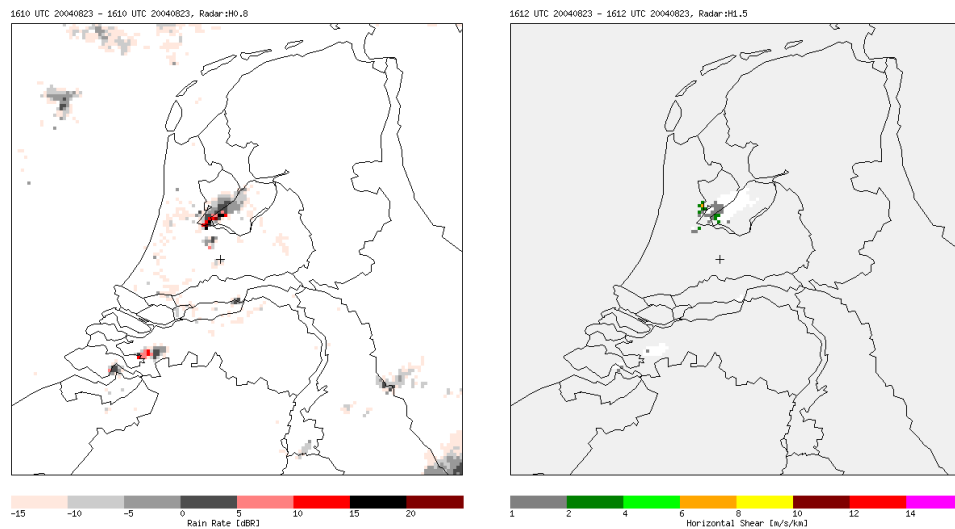
Op 23 augustus ontwikkelde zich aan een koufront onverwacht een “supercell”. In de analyse van 12 UTC op basis van Hirlam (zie figuur 3.4) ligt dit koufront nog boven België en midden Frankrijk, maar in de loop van de middag trekt het



Figuur 3.4: Analyse op basis van Hirlam van 23 augustus 2004 om 12:00 UTC.



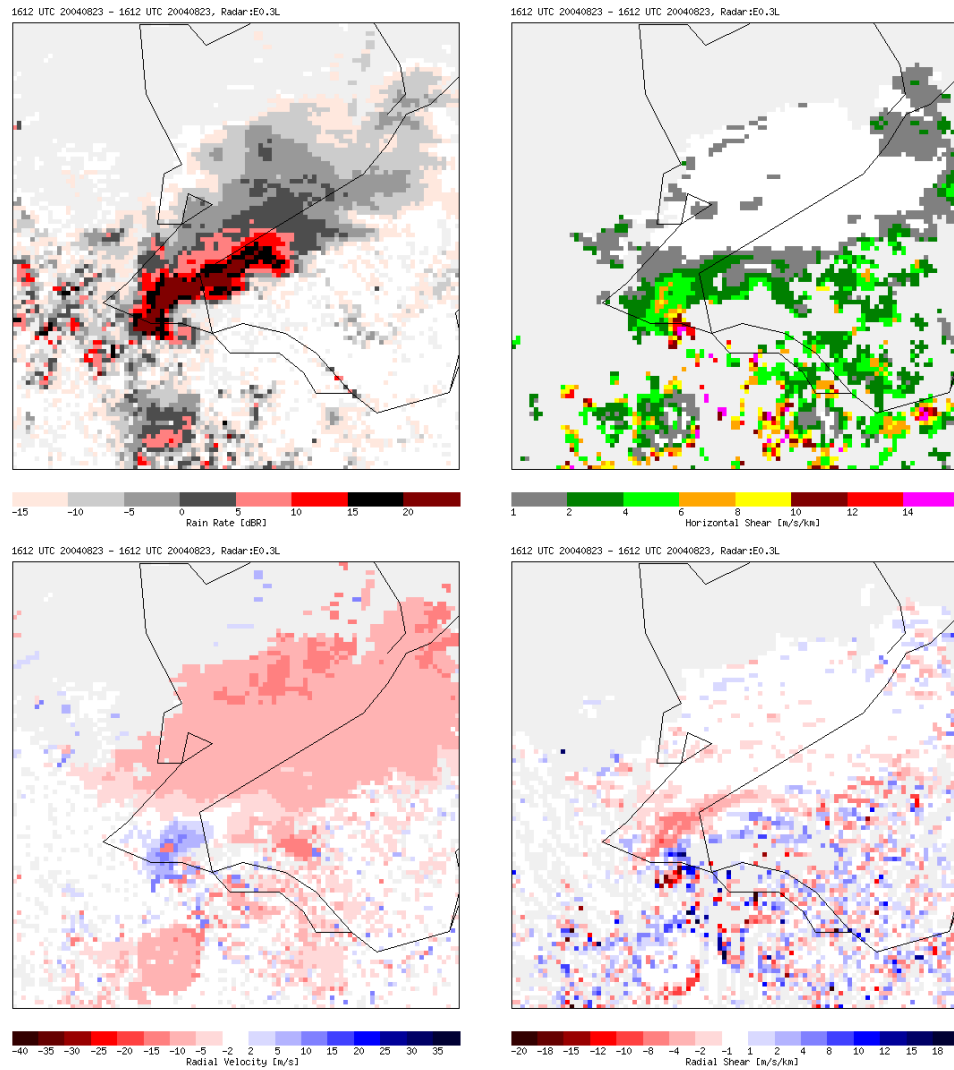
Figuur 3.5: Foto van een door de windhoos getroffen schuur in Muiden (foto van R. Sluijter).



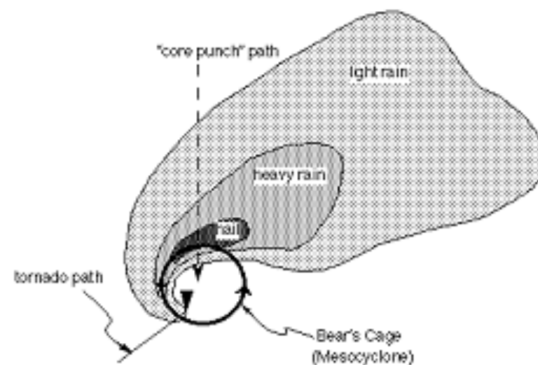
Figuur 3.6: Radar neerslagbeeld (links) en horizontale windscheringsbeeld (rechts) van 16:12 UTC op 23 augustus 2004 van De Bilt. De beelden hebben de standaard horizontale resolutie van 2.5 km en zijn beiden gegenereerd met de Rainbow software van Gematronik.

over Nederland. In de SatRep van 15 UTC werd de ontwikkeling van de supercell gekoppeld aan de optilling langs het koufront, de intensivering van het front door een jet streak (linker uitgang) en de diabatische opwarming aan het aardoppervlak. De aanzet tot deze ontwikkeling werd gegeven rond 14 UTC door een bui die boven het Westland ontstond. In de omgeving van Amsterdam bereikte de “supercell” zijn volwassen stadium. De supercell produceerde hevige regenval en hagel in Diemen en Almere. Rond 16 UTC ontstond aan dit complex een windhoos die toesloeg in de omgeving van Muiden en Weesp. De foto in figuur 3.5 laat een voorbeeld zien van de schade die is aangericht door de windhoos in Muiden.

Het “European Storm Forecast Experiment” (ESTOFEX, www.estofex.org) is een initiatief van Europese meteorologen en meteorologie studenten die elkaar trainen in het verwachten van (zeer) zware convectie in Europa. De verwachting van ESTOFEX spreekt in een update van 16:22 UTC van: “Scattered convection is developing. Given that low-level flow is highly helical, especially over the Netherlands and parts of Belgium, and strong deep-layer shear is expected a few supercells will likely form in addition to the one near Amsterdam around 16 UTC, that may cause large hail and severe winds”.



Figuur 3.7: Het radar neerslagbeeld (linksboven), het horizontale windscheringsbeeld (rechtsboven), het radiële snelheidsbeeld (linksonder), en het radiële windscheringsbeeld (rechtsonder) van 16:12 UTC op 23 augustus 2004 van De Bilt. Deze beelden zijn gegenereerd uit de ruwe Dopplergegevens bij een elevatie van 0.3 graden, hebben de maximale horizontale resolutie van 0.5 km, en zijn ingezoomd rond de supercell.

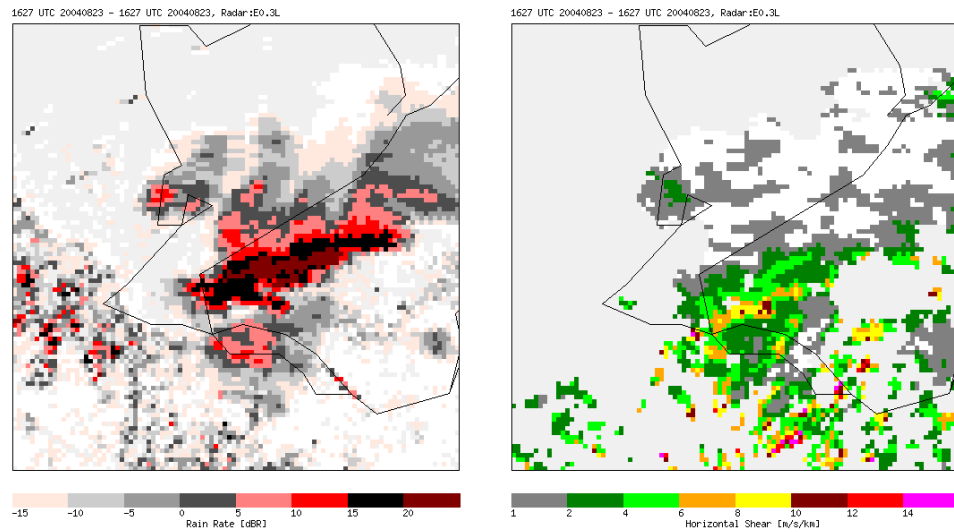


Figuur 3.8: Conceptueel model van supercell met mesocycloon waarin een windhoos kan ontstaan.

3.2.2 Horizontale windschering

In figuur 3.6 zijn het neerslagbeeld (links) en het windscheringsbeeld (rechts) van de radar in De Bilt weergegeven voor 23 augustus 2004 om 16:12 UTC. De beelden hebben de standaard horizontale resolutie van 2.5 km en zijn beiden gegenereerd met de Rainbow software van Gematronik. In het neerslagbeeld strekt de supercell zich uit langs de grens tussen de Markerwaard en de Flevopolder en heeft met een stevige “pit” boven Muiden. De waargenomen neerslagintensiteit in deze pit is meer dan 100 mm/h (donkerrood in de figuur)! Op het bijbehorende Rainbow windscheringsbeeld is een zeer bescheiden windschering zichtbaar in gebied van de onweersbui. De waargenomen windschering ligt tussen de 1 en 2 m/s/km en is dus veel lager dan de drempel van 8 m/s/km voor gevaarlijke schering (Sigmet, 2002). Op de standaard horizontale resolutie van 2.5 km is de vorm van de supercell slechts in grote lijnen herkenbaar en is de waargenomen windschering erg laag.

Van 23 augustus 2004 zijn de ruwe Dopplergegevens oftewel de zogenaamde 3-dimensionale volumegegevens nog beschikbaar. Uit deze ruwe Dopplergegevens zijn de neerslagbeelden, radiële snelheidsbeelden, horizontale windscheringsbeelden, en de radiële windscheringsbeelden herberekend met zelf-ontwikkelde programmatuur. Dit biedt onder andere de mogelijkheid om de gebruikte algoritmes te testen en om de beelden op een willekeurige horizontale resolutie weer te geven. In figuur 3.7 zijn de herberekende radarbeelden weergegeven voor hetzelfde tijdstip als die in figuur 3.6. De resolutie van deze radarbeelden is gelijk aan de rangebin grootte van de ruwe Dopplergegevens (0.5 km) en dit betekent dat de beelden een factor 25 meer punten bevatten. De herberekende radarbeelden in figuur 3.7 zijn ingezoomd rond de supercell en beslaan een gebied van ongeveer



Figuur 3.9: Radar neerslagbeeld (links) en horizontale windscheringsbeeld (rechts) van 16:27 UTC op 23 augustus 2004 van De Bilt. Deze beelden zijn gegenereerd uit de ruwe Doppler gegevens bij een elevatie van 0.3 graden, hebben de maximale horizontale resolutie van 0.5 km, en zijn ingezoomd rond de supercell.

50 bij 50 km². In de zelf-ontwikkelde programmatuur wordt minder aandacht besteed aan het onderdrukken van ruis en grondecho's dan in de Gematronik software, maar de relevante informatie is duidelijk herkenbaar.

Linksboven in figuur 3.7 is het herberekende radar neerslagbeeld weergegeven van 23 augustus 2004 om 16:12 UTC. Dit beeld correspondeert met het linker beeld uit figuur 3.6. De supercell is zeer goed herkenbaar in dit beeld en details van de structuur komen duidelijk naar voren. Er is een golvende band te zien met zeer intense neerslag (donkerrood, > 100 mm/h) en boven Muiden is een duidelijke "hook echo" te herkennen rond een gebied met lage intensiteit ("bound weak echo region"). De "hook echo" en de "bound weak echo region" (BWER) zijn de belangrijkste signaturen van een supercell in een radar neerslagbeeld (Lemon, 1977; Burgess and Lemon, 1990; Moller et al., 1994). In figuur 3.8 is een conceptueel model van een supercell met bijbehorende mesocycloon weergegeven. Het waargenomen neerslagbeeld lijkt verbluffend goed op dit conceptueel model en ook de positie van de waargenomen windhoos valt keurig binnen de mesocycloon uit het conceptuele model. Het neerslagbeeld uit figuur 3.7 met de hoge horizontale resolutie (0.5 km) en de extra neerslagklassen (donkerrood voor 100 mm/h) laat zien dat deze extra informatie zeer waardevol is bij het nowcasten van een dergelijk mesoschaal systeem. Groenemeijer (2003) heeft tijdens een

stage op het KNMI drie cases van sterke convectie onderzocht en hij heeft daarbij ook laten zien dat een hoge horizontale resolutie en extra neerslagklassen zeer waardevol kunnen zijn.

Rechtsboven in figuur 3.7 is het herberekende horizontale windscheringsbeeld weergegeven. Dit beeld correspondeert met het rechter beeld uit figuur 3.6. Rond de BWER van de supercell is een gebied met een zeer sterke horizontale windschering te zien met waarden tussen de 8 en 14 m/s/km. Boven Muiden, waar de windhoos is waargenomen, is de horizontale windschering het sterkst. Dus in het gebied waar zich volgens het conceptuele model en de waarnemingen (van de windhoos) de mesocycloon van de supercell bevindt wordt ook de sterkste horizontale windschering waargenomen. Het verschil tussen het herberekende horizontale windscheringsbeeld (figuur 3.7) en die uit de Rainbow software (figuur 3.6) is opmerkelijk. In de laatstgenoemde is de windschering als gevolg van de mesocycloon nauwelijks zichtbaar. De lagere horizontale resolutie van dit beeld (2.5 km), een verschil in hoogte en een waarschijnlijk sterkere filtering van het windscheringssignaal zijn de belangrijkste oorzaken van dit verschil. Het verschil in hoogte wordt veroorzaakt doordat de Rainbow module een CAPPI doorsnede op 1500 m hoogte (zie paragraaf 2.5) berekent terwijl voor de herberekende beelden alleen de laagste elevatie is gebruikt.

Ter illustratie zijn in de onderste helft van figuur 3.7 de Dopplergegevens op twee andere manieren gepresenteerd. Het beeld linksonder toont de waargenomen radiële snelheden en daarmee eigenlijk de ruwe Dopplergegevens, en het beeld rechtsonder toont de berekende radiële windschering vaak aangeduid als “gate-to-gate shear”. Het beeld met de radiële snelheden is voornamelijk rood wat betekent dat de beweging hoofdzakelijk van de radar af gericht is. Dit is in overeenstemming met de heersende zuidwesten wind omdat de radar zich ten zuiden van het ingezoomde beeld bevindt. Rond de BWER van de supercell is een gebied te zien met een beweging naar de radar toe (blauw). De rode punten in het blauwe gebied worden veroorzaakt door opvouwing van de Doppler snelheden (zie paragraaf 2.2) en zouden eigenlijk “donker” blauw moeten zijn. De overgangen van blauw naar rood en omgekeerd zijn de gebieden met een sterke windschering. Het beeld met de radiële windschering bevat veel ruis maar geeft een duidelijk signaal af in het gebied van de BWER. De sterkste radiële windschering van -18 m/s/km wordt waargenomen boven Muiden. Binnen de BWER is er een afwisseling te zien van positieve en negatieve radiële windschering en dus van divergentie en convergentie (zie paragraaf 2.1). Van de drie verschillende presentaties van de Dopplergegevens in figuur 3.7 blijkt de horizontale windschering het gevaarlijke weer op de meest directe en toegankelijke manier te tonen.

Figuur 3.9 toont het herberekende neerslagbeeld en horizontale windscheringsbeeld van 23 augustus 2004 om 16:27 UTC. Deze beelden zijn dus 15 minuten na de beelden in figuur 3.7 opgenomen. Vergelijking van deze beelden met

de corresponderende beelden in de bovenste helft van figuur 3.7 laat zien hoe snel de ontwikkeling van de supercell verloopt. In het beeld van 16:27 UTC is de BWER nagenoeg verdwenen en heeft de supercell een langgerekte structuur gekregen met zeer intense neerslag en sterke windschering. In deze structuur zijn lokale windscheringsmaxima herkenbaar die waarschijnlijk corresponderen met de downbursts aan de voorste begrenzing van de supercell. Deze downbursts hebben veel overlast veroorzaakt in de omgeving van Almere.

Hoofdstuk 4

Evaluatie

In dit hoofdstuk wordt de horizontale windschering geëvalueerd op de bruikbaarheid in een waarschuwingsproduct voor (wind-gerelateerde) gevaarlijkweersfenomenen. Bovendien wordt de implementatie van het algoritme door Gematronik in de Rainbow module tegen het licht gehouden. De ervaringen uit de voorafgaande cases dienen als basis voor de evaluatie.

4.1 Meteorologische bruikbaarheid

De potentiële toegevoegde waarde van de windinformatie uit de Doppler radar voor de detectie van gevaarlijkweersfenomenen ligt in het waarnemen van de afwijkingen in het gemiddelde windveld. Deze afwijkingen kunnen zichtbaar worden gemaakt door de windschering te berekenen uit de ruwe Dopplergegevens. De radiële en azimutale windschering kunnen worden gecombineerd tot de horizontale windschering. Een scala aan meteorologische fenomenen (zie paragraaf 2.1) zouden in horizontale windscheringsbeelden zichtbaar moeten zijn en dit maakt het in potentie zeer geschikt voor een Doppler waarschuwingsproduct. Uit de onderzochte cases blijkt dat er in actieve onweersbuien inderdaad sprake is van gebieden met sterke horizontale windschering. Bovendien lijken deze gebieden te corresponderen met aan de grond waargenomen gevaarlijkweersfenomenen zoals downbursts en windhozen. Verder blijkt uit deze cases dat:

- Gevaarlijke situaties direct te herkennen zijn in de horizontale windscheringsbeelden omdat een oplopende maat voor de lokale windschering wordt gepresenteerd. Dit maakt deze manier van het weergeven van ruwe Dopplergegevens zeer geschikt voor een waarschuwingsproduct.
- De interpretatie van radiële snelheidsbeelden en radiële windscheringsbeelden lastiger is omdat de positie van de radar steeds een rol speelt en

geen eenvoudig oplopende grootte wordt gepresenteerd.

- De Dopplerbeelden altijd bekeken moet worden samen met de bijbehorende neerslagbeelden op dezelfde horizontale resolutie.
- Kleinschalige structuren herkenbaar zijn in de horizontale windscheringsbeelden, bijvoorbeeld in de BWER en aan de voorste begrenzing van een supercell.
- De kleinschalige structuren corresponderen met aan de grond waargenomen mesoschaal fenomenen zoals windhozen en downbursts.

Al met al lijkt de horizontale windscheringspresentatie inderdaad geschikt voor een Doppler waarschuwingsproduct.

Uit de onderzochte cases blijkt bovendien dat de bruikbaarheid van het horizontale windscheringsproduct sterk afhangt van:

- Horizontale resolutie van de radarbeelden. De standaard horizontale resolutie van de KNMI radarbeelden (2.5 km) is te grof en hierdoor worden kleinschalige structuren gemaskeerd of uitgesmeerd.
- Het aantal neerslagklassen. De Dopplerbeelden moeten samen met de corresponderende neerslagbeelden worden bekeken en de toevoeging van extra neerslagklassen (bijvoorbeeld 100 mm/h) vergroot de bruikbaarheid van deze beelden.
- Verversingsfrequentie van de Dopplerbeelden. De ontwikkeling van mesoschaal meteorologische fenomenen gaat soms dermate snel dat een frequentie van 4 beelden per uur te laag is.
- Bereik van de Dopplerbeelden. Voor het volgen van weersystemen met de Doppler radar is het van evident belang dat ze niet (onnodig) buiten beeld vallen.
- De hoogte waarop de windscheringswaarneming wordt waargenomen. Windhozen, downbursts, etc. zijn vaak alleen op geringe hoogte boven de grond zichtbaar.

Deze factoren die bepalend zijn voor de bruikbaarheid van het windscheringsproduct zijn afhankelijk van zowel de instelling van de (Doppler) radar als de implementatie van het algoritme.

4.2 Verbeterpunten voor de Rainbow module

Voor de evaluatie van de horizontale windschering is gebruik gemaakt van de Rainbow module van Gematronik (Gematronik, 2003) die beschikbaar was via een tijdelijke licentie. Gedurende 3 maanden (juli tot september 2004) zijn windscheringsbeelden geproduceerd en zichtbaar gemaakt op een intranet pagina. Tijdens deze periode en uit de onderzochte cases zijn een aantal verbeterpunten voor de Rainbow module naar voren gekomen:

- De berekening van een CAPPI doorsnede uit de ruwe Dopplergegevens beperkt het afstands bereik van het waarschuwingsproduct onnodig door de grote minimale afstand en kleine maximale afstand. Een presentatie van de windschering per elevatie verdient de voorkeur.
- Door de CAPPI doorsnede ontstaan ook lelijke ringen in het windscheringsbeeld bij de overgangen tussen verschillende elevaties.
- Bij de berekening van de radiële en azimutale windschering wordt blijkbaar geen rekening gehouden met de mogelijke opvouwing van Doppler snelheden. Dit geeft soms aanleiding tot artificiële lijnen met sterke windsschering.

Deze punten moeten opgelost worden voordat de Rainbow module geschikt is voor operationeel gebruik op het KNMI.

Hoofdstuk 5

Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport is de bruikbaarheid van de horizontale windschering als de basis voor een Doppler waarschuwingsproduct geëvalueerd. De horizontale windschering is een grootheid waarmee afwijkingen in het gemiddelde windveld zichtbaar worden gemaakt. De gemiddelde wind als functie van de hoogte (en dus ook de verticale windschering) is reeds beschikbaar via de Doppler radar windprofielen. Juist de afwijkingen in het gemiddelde windveld corresponderen vaak met mesoschaal fenomenen en zijn daarom interessant voor een Doppler waarschuwingsproduct. Afgelopen zomer is de uitvoer van de horizontale windscheringsmodule van Rainbow (Gematronik GmbH) geëvalueerd aan de hand van een aantal cases. Naast een inleiding over de eigenschappen en berekening van Doppler windschering zijn in dit rapport ook de resultaten van deze evaluatie beschreven.

Uit de evaluatie van het horizontale windscheringsproduct aan de hand van de cases komen de volgende conclusies en aanbevelingen naar voren:

- De weergave van ruwe Dopplergegevens als horizontale windschering is inderdaad geschikt voor een Doppler waarschuwingsproduct. Gevaarlijke mesoschaal fenomenen zoals windhozen en downbursts zijn herkenbaar in de horizontale windscheringsbeelden.
- De Dopplerbeelden moeten altijd bekeken worden samen met de bijbehorende neerslagbeelden op dezelfde horizontale resolutie.
- Op de standaard horizontale resolutie (2.5 km) zijn de Dopplerbeelden nauwelijks te gebruiken: hogere resolutie is dus vereist.
- Voor het volgen van de ontwikkelingen van een convectieve systemen en voor een adequate waarschuwingsfunctie zijn 5-minuten beelden (ook voor Doppler) een vereiste.

- Het horizontale windscheringsproduct in de Rainbow module (Gematronik) moet op een aantal punten worden verbeterd voordat het geschikt is voor operationeel gebruik.
- De horizontale windscheringsbeelden uit beide radars kunnen in principe worden gecombineerd tot een Nederlands composiet door het nemen van de maximum waarden. Composieten hebben de voorkeur bij operationele radarproducten en daarom wordt aanbevolen om een semi-operationele test te doen met een horizontale windscheringscomposiet.

Een (Doppler) waarschuwingsproduct voor convectieve fenomenen op basis van waarnemingen is bruikbaar voor het “bewaken van de toestand van de atmosfeer” en de zeer korte nowcasting (0 – 1 uur). Bovendien is de interpretatie van hoge resolutie (Doppler) radarbeelden niet eenvoudig en potentiëel tijdrovend. Een nieuw Doppler waarschuwingsproduct zal daarom alleen vruchten afwerpen wanneer het wordt ingebed in een verbeterde herkenning- en verwachtingsmethodiek voor zware convectieve systemen zoals bijvoorbeeld is voorgesteld door de NOAA (Moller et al., 1994). Operationeel gebruik van een Doppler waarschuwingsproduct moet daarom samengaan met:

- Een beter gebruik van (bekende) fysische methodieken voor het verwachten van (extreme) convectie en de organisatiegraad op basis van modelgegevens en (additionele) radiosonde oplatingen. Begrippen zoals CAPE, CIN, helliciteit en Bulk Richardson Number (BRN) moeten gemeengoed worden.
- Gebruik van Nowcasting SAF hulpmiddelen voor het vroegtijdig herkennen van snelle convectieve ontwikkelingen in MSG beelden en toepassing van de SatRep methode voor het determineren van meteorologische fenomenen.
- Ontwikkeling en invoering van aantal conceptuele modellen analoog aan SatRep voor hoge resolutie (Doppler) radarbeelden, de zogenaamde “RadRep”.
- Gecombineerde presentatie van de (Doppler) radarproducten aan de operationeel meteorologen eventueel aangevuld met “feature detectie algoritmes” voor bijvoorbeeld mesocyclonen en downbursts.
- Extra scholing en training van de operationeel meteorologen.

Dankbetuiging

De auteurs bedanken Marco Nolet voor het kritisch doorlezen van het manuscript.

Bibliografie

- Burgess, D. W. and L. R. Lemon: 1990, *Radar in Meteorology*, AMS Boston, chapter Severe Thunderstorm Detection by Radar. 619–647.
- Doviak, R. J. and D. S. Zrnić: 1993, *Doppler Radar and Weather Observations*. Academic Press, second edition, 562 pp.
- Gematronik: 2003, Rainbow 3.4 Operator's Manual. Gematronik GmbH., Raiffeisenstr. 10, 41470 Neuss, Germany.
- Groenemeijer, P.: 2003, Three events of strong deep moist convection in The Netherlands. Internal report IR-2003-04, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI).
- Holleman, I.: 2003, Doppler Radar Wind Profiles. Scientific report WR-2003-02, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI).
- Holleman, I. and H. Beekhuis: 2003, Analysis and Correction of Dual-PRF Velocity Data. *J. Atmos. Ocean. Technol.*, **20**, 443–453.
- Lemon, L. R.: 1977, Severe Thunderstorm Evolution: Its use in a New Technique for Radar Warnings. *Proc. 10th conf. on Severe Local Storms*, AMS, 77–80.
- Moller, A. R., C. A. Doswell III, M. P. Foster, and G. R. Woodall: 1994, The Operational Recognition of Supercell Thunderstorm Environments and Storm Structures. *Wea. and Forecasting*, **9**, 327–347.
- Saltikoff, E., J. Koistinen, and H. Hohti: 2004, Downburst identification using Doppler Shear in FMI radar network. *Proc. 3rd European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD)*, Copernicus GmbH, Visby, Sweden, 41–44.
- Sigmat: 2002, IRIS Product and Display Manual. Sigmet Inc., 2 Park Drive, Westford, MA 01886 USA.