



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Het verbeteren van onze waarschuwingen voor gevaarlijk weer

Eindrapport Gevaarlijk Weer programma (2005 – 2010)



Colofon

Programmaleider:	Albert Jacobs
Programma kernteam:	Hans Roozekrans, Frank Kroonenberg, Frank Lantsheer, Jan Barkmeijer, Pier Siebesma, Geert Lenderink, Piet Helfrich, Harry Geurts
Met medewerking van:	Alle projectleiders en projectmedewerkers van de Gevaarlijk Weer projecten
Layout:	Jaap Kwakkel
Druk:	OBT bv, Den Haag
Foto's:	Omslag en pagina 22, <i>Jacob Kuiper</i> , KNMI Pagina 3, <i>E.J. Jacobs</i> , Venlo Pagina 5, <i>Ed van Rijswijk</i> Pagina 7 en 18, <i>Jaap Kwakkel</i> , KNMI Pagina 8, <i>R.F. Berghege</i> , LVNL Pagina 9 l.o., <i>David Dunnaway</i> Pagina 9 r.b., <i>Menno van der Haven</i> Pagina 10, <i>Bjorn Topswiss</i> 737 Pagina 13, <i>Peter de Vries</i> , KNMI Overige foto's, <i>archief</i> KNMI
Papier:	Omslag: 250 grams Silk, mat gelamineerd Binnenwerk: 150 grams Silk
Aantal:	1000 stuks



Inhoud

Voorwoord	4
1. Inleiding	6
2. Het programma	8
3. De resultaten	9
4. Modelontwikkeling	15
5. Infrastructuur	17
6. Leren van Gevaarlijk Weer	19
7. De gebruiker staat centraal	21
Referenties	23

Voorwoord

Het KNMI is als hét nationale instituut op de gebieden weer, klimaat en seismologie ook dé aangewezen instantie om de Nederlandse samenleving te informeren en te waarschuwen voor gevaarlijke weersituaties. Een waargenomen trend is dat de Nederlandse samenleving met haar 24-uurs economie en bijbehorende mobiliteit gevoeliger is geworden voor weersverschijnselen. Deze constatering leidde ertoe dat in 2005 een KNMI-breed programma ‘Gevaarlijk Weer’ (GW) is gestart waarbij KNMI-kennis en –kennisontwikkeling werd gebundeld om methoden te ontwikkelen om gevaarlijke weersituaties nóg beter in kaart te brengen resp. deze te voorspellen. Ten tijde van het formuleren van het programma was het KNMI er zich van bewust dat de doelstellingen zeer ambitieus waren en zich veelal op grenzen, van wat tot dan toe voor mogelijk gehouden werd, bevonden. Door geloof en vertrouwen in eigen kunnen hebben de verschillende deelnemers van het GW-programma anno 2010 resultaten geboekt die verder reiken dan de ambitie in 2005.

Nieuwe inzichten en onderzoeksresultaten hebben geleid tot verbeterde zichtverwachtingen én het gebruik daarvan voor de operatie op luchthaven Schiphol. Hierdoor ondervinden luchtvaartmaatschappijen minder vertragingen terwijl er veiliger gestart en geland kan worden. De opgedane kennis in dit traject heeft er ondermeer toe geleid dat het meteorologische fenomeen mist aan de wortel aangepakt wordt: zowel het vroegtijdig automatisch waarnemen van slecht zicht condities alsmede het maken van een korte termijn verwachting daarvoor. Alhoewel binnen de internationale meteorologische gemeenschap wordt gesteld dat er hier ‘op de rand van de beschikbare kennis’ geopereerd wordt, ontwijkt het KNMI dit onderwerp niet meer omdat ons polderland nu eenmaal gevoeliger is voor mistvorming dan vele andere landen en mist in veel gevallen voor ernstige (verkeers)overlast kan zorgen.

Terwijl in de winterperiode -naast sneeuwval en gladheid- zware, grootschalige stormen voor veel overlast kunnen zorgen, genereren in de zomer veelal geografisch kleinschalige convectieve weersverschijnselen veel overlast. Voorbeelden hiervan zijn hevige buien met veel neerslag, onweer, wind en hagel. Om deze geografisch kleinschalige, maar intense, verschijnselen tijdig in beeld te krijgen, is veel geïnvesteerd in onderzoek naar (het ontstaan van) zwaar onweer en convectieve systemen. Dit onderzoek heeft geresulteerd in nieuwe kennis en nieuw gereedschap voor de meteoroloog waarmee dit soort weersverschijnselen in een vroeg stadium beter gediagnosticeerd kunnen worden.

De rol van het KNMI in situaties dat er sprake is van gevaarlijk weer beperkt zich niet alleen tot het voorspellen van de weersituaties maar ook om het Nederlandse publiek tijdig en adequaat te informeren. Met name tijdens gevaarlijke weersituaties ontvangt de KNMI-internetsite plotseling veel bezoekers. Dit betekent dat het KNMI ook heeft geïnvesteerd in de internet- en computerinfrastructuur om de bijbehorende piekbelastingen op te vangen en daardoor waarschuwingen stabiel en tijdig aan het Nederlandse publiek te kunnen presenteren. Tenslotte is de hoofdpagina van de KNMI-internetsite aangepast om het Nederlandse publiek te informeren omtrent de (alsertering) status van het weer door op provincieniveau het alerteringsniveau in te kleuren.

Met trots kijk ik terug op de afgelopen vijf jaar en ben er van overtuigd dat het KNMI zowel Nederland, het Nederlandse publiek als de meteorologie in het algemeen een stap vooruit heeft geholpen.



Dr. Remco den Besten
Directeur Weer

1. Inleiding

Het tijdig waarschuwen van de Nederlandse samenleving voor gevaarlijke weersituaties is één van de kerntaken van ons instituut. In de laatste jaren hebben we diverse malen kunnen ervaren dat onze samenleving en economie uiterst kwetsbaar zijn voor de gevolgen van extreem weer zoals zwaar onweer, hevige wind, extreme regenval, dichte mist, droogte, hitte en koude. Door de veranderingen in ons klimaat verwachten we bovendien dat dergelijke extreme weersituaties in de toekomst vaker zullen voorkomen en heftiger zullen zijn van aard. Recente voorbeelden zoals de zware storm van 18 januari 2007, het noodweer van 14 juli 2010, de

‘Eén van de uitdagingen van deze tijd is het voorkomen of beperken van de schade die extreem weer toebrengt aan onze samenleving’



Weerkamer van het KNMI.

hevige onweer- en hagelbuien van 25–26 mei 2009 en de periodes van hitte, droogte en wateroverlast gedurende de zomers van de afgelopen jaren laten dat ook zien.

Eén van de uitdagingen van deze tijd is het voorkomen of beperken van de schade die extreem weer toebrengt aan onze samenleving. Het KNMI draagt hier aan bij door het leveren van gevaarlijk weer producten in de vorm van waarschuwingen, verwachtingen en adviezen. Deze producten worden voortdurend aangepast aan de wensen van onze gebruikers en continu verbeterd in kwaliteit, toegankelijkheid en bruikbaarheid. Daarbij maken we gebruik van de nieuwste technologieën, zoals bijv. de Meteosat Second Generation (MSG) waarnemingsatelliet waarmee het actuele weer veel sneller en met meer detail in beeld kan worden gebracht. Ook maken we gebruik van recentelijk opgedane kennis, zoals bijv. modern inzicht in de fysische processen die mist laten ontstaan. Hierdoor kunnen lokale weersverschijnselen zoals het ontstaan en het oplossen van mist met meer zekerheid worden verwacht.

Sinds 1999 geeft het KNMI voor extreem weersituaties waarvan verwacht wordt dat ze tot ontwrichting kunnen leiden van onze samenleving een weeralarm uit. Een eerste evaluatie daarvan over de periode 1999–2004 heeft aangetoond dat weeralarmen voor kleinschalige weersituaties in zo'n 25% van de gevallen werden gemist. Dat waren vaak convectieve zomerbuien met zwaar onweer, veel wateroverlast en hevige wind. Voor een deel waren die missers te wijten aan de beperkte resolutie van onze weermodellen en gebreken in de fysische beschrijving van convectieve weerprocessen. Hierdoor kunnen lokale extremen door de modellen niet goed worden gerepresenteerd. De tekortkomingen werden echter niet alleen toegeschreven aan de modellen. De



meteoroloog bleek ook uiterst voorzichtig te zijn bij het uitgeven van een weeralarm om zodoende een vals alarm te kunnen voorkomen. Verder bleek dat de meteoroloog soms moeite had om de gevolgen van extreem weer voor de samenleving in te schatten en bleken de criteria die werden gebruikt voor het uitgeven van weeralarmen soms moeilijk werkbaar. Tenslotte hebben we geconstateerd dat menig meteoroloog te weinig (theoretische) kennis had, en er geen geschikte tools waren om het ontstaan en de evolutie van zwaar convectieve situaties in te kunnen schatten. Op basis van de hierboven genoemde tekortkomingen heeft het KNMI in 2004 besloten om het verbeteren van haar waarschuwingen voor gevaarlijk weer een extra impuls te geven. Daarvoor werd in 2005 als onderdeel van de Vernieuwing van het KNMI het Speerpunt Gevaarlijk Weer (GW) benoemd. Er werd een programmaleider aangesteld en een kernteam geformeerd waarbinnen alle sectoren van het KNMI (Weer, Klimaat én Infrastructuur) werden vertegenwoordigd. De belangrijkste taak van het GW-team was om binnen het KNMI de benodigde samenwerking voor dit Speerpunt te coördineren. De leden van het kernteam zorgden daarbij voor afstemming met hun achterban.

Dit rapport geeft een samenvatting van de onderwerpen waar het GW-programma aan heeft gewerkt alsmede een overzicht van de belangrijkste resultaten.

2. Het programma

Tijdens de opbouw van het programma zijn alle aspecten in kaart gebracht die het uitvoeren van een waarschuwing of verwachting voor gevaarlijk weer met zich meebrengt. De belangrijkste aspecten die daarbij voor structurele verbetering in aanmerking kwamen zijn:

- Procedures en criteria die gehanteerd worden bij uitvoeren van waarschuwingen en weeralarmen.
- Afstemming van informatie op de behoeften van de gebruikers.
- Communicatie en verspreiding van informatie naar de gebruikers.
- Mate van detaillering in de geleverde informatie.
- Kennis van gevaarlijk weer fenomenen en het ontstaan daarvan.

- Belasting van de IT-infrastructuur bij het uitvoeren van weeralarmen.

Het gw-programma heeft aan al deze punten gewerkt, m.u.v. het verbeteren van de procedures en criteria voor weeralarmen wat binnen een aparte KNMI werkgroep is opgepakt. Om de gewenste verbeteringen te bereiken is een beroep gedaan op expertises uit alle geledingen van het KNMI. De taak van het gw-programma was om deze expertises op te zoeken, bij elkaar te brengen en projectmatig te laten samenwerken. Binnen het gw-programma is veel aandacht besteed aan samenwerking tussen Weer en Klimaat. Zo kan kennis op het gebied van gevaarlijk weer die binnen deze sectoren wordt gegenereerd optimaler worden ontwikkeld en benut. In de praktijk vindt die samenwerking voornamelijk plaats op de raakvlakken tussen de verschillende disciplines, zoals bijv. de ontwikkeling van hoge resolutie weer- en klimaatmodellen. Een voorbeeld hiervan is de samenwerking binnen het gw-project “Mesoschaal Modelontwikkeling (MESOMOD)” en meer recent binnen het Kennis voor Klimaat project “De impact van klimaatverandering op kritieke weersomstandigheden op luchthaven Schiphol (IMPACT)”.



De Meteorologisch Adviseur Schiphol (MAS) is aanwezig bij de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) op zaal, zodra het weer invloed heeft op de capaciteit van de Mainport Schiphol en haar aanvliegeroutes. Bronvermelding: Foto R.F. Berghage (LVNL)

3. De resultaten

Om onze waarschuwingen te kunnen verbeteren spelen verschillende onderdelen een rol. Denk hierbij aan het vernieuwen van onze kennis, het verfijnen van onze computermodellen en het verbeteren van de methoden waarmee we gevaarlijke weersverschijnselen kunnen waarnemen en verwachten. Binnen het GW-programma hebben we

‘Objectieve kansverwachtingen voor zwaar onweer en een diagnostische tool voor zware convectie helpen de meteoroloog bij het uitgeven van een weeralarm voor zwaar onweer’



Rolwolk 7 juni 1997 noord van Rotterdam. Een zeer actieve buienlijn trok over Nederland en veroorzaakte in het westen veel schade.

prioriteit gegeven aan het verbeteren van weeralarmen voor zwaar onweer en waarschuwingen voor dichte mist. Aanleiding hiervoor waren onze ervaringen met de weeralarmen en de duidelijke wensen vanuit onze professionele gebruikers in de luchtvaart, de scheepvaart en het wegverkeer. Daarnaast is er aandacht besteed aan weersfenomenen die gerelateerd zijn aan zomers buien, zoals overvloedige neerslag, hevige wind en windstoten.

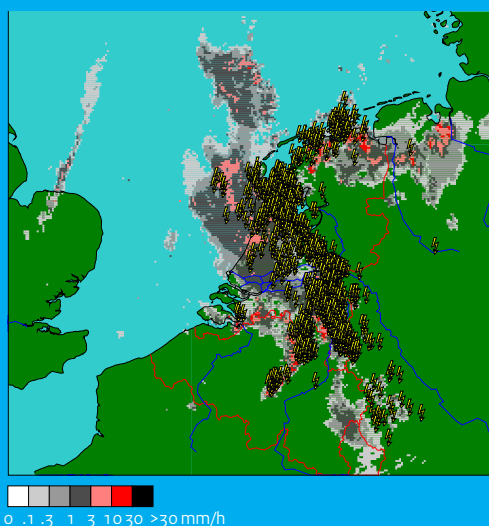
Zwaar onweer

Bij het uitgeven van weeralarmen heeft het KNMI de meeste problemen met zwaar onweer. Dat is het gevolg van een combinatie van factoren:

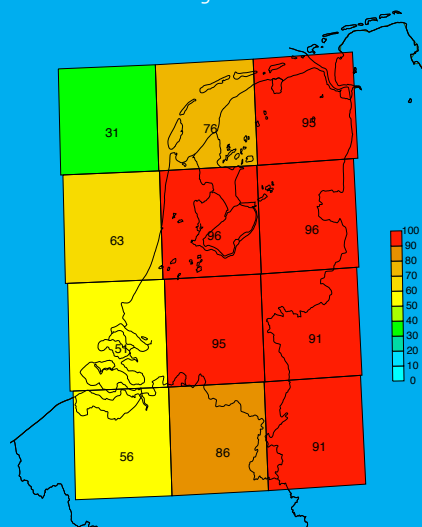
- Het moeilijk te hanteren weeralarmcriterium.
- De beperkte voorspelbaarheid van dit soort zwaar convectieve situaties (het treedt slechts zelden op).
- Het gebrek aan geschikte nowcasting tools.
- Het gebrek aan voldoende fysisch inzicht in zware convectie.

Kansverwachtingen voor zwaar onweer

Zwaar onweer is moeilijk te voorspellen omdat het slechts zelden optreedt. Het weeralarmcriterium dat het KNMI hiervoor hanteert (minimaal 500 ontladingen per 5 minuten in een groot gebied van minimaal 50x50 km) wordt slechts tweemaal per jaar gedurende een warme zomerperiode waargenomen. Binnen het kouw systeem worden voorwaardelijke kansen gegeven onder de conditie dat er al minimaal één ontlading is waargenomen in het gebied. Dit doen we om te voorkomen dat de verwachte kans op onweer te klein en daarmee onbruikbaar wordt. Voor het berekenen van de verwachte kans op zwaar onweer (plaatje rechts) worden waarnemingen van de regenradar en het aantal ontladingen (plaatje links) in combinatie met weersmodellen gebruikt. In het voorbeeld is Nederland opgedeeld in 12 gebieden van elk 90x80 km en in elk gebied wordt de voorwaardelijke kans op meer dan 200 ontladingen per 5 minuten gegeven.



Figuur 1. KNMI neerslagradarbeeld en bliksemwaarnemingen op 17 juli 2004 (17:15 UTC).



Figuur 2. Kansverwachting voor zwaar onweer. De voorwaardelijke kans (in %) op meer dan 200 ontladingen per 5 minuten op 17 juli 2004 over de periode 12 – 18 uur UTC. Voorwaarde is dat er minimaal 1 ontlading is waargenomen.



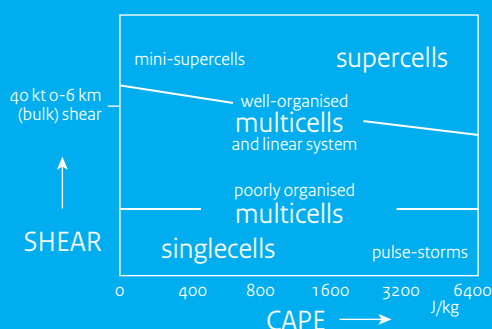
Zware schade aan een Boeing 737 van vliegmaatschappij EasyJet veroorzaakt door een fikse hagelbui. Schade veroorzaakt door grote hagelstenen komt regelmatig voor. Grote hagel met een diameter van 1 – 10 cm treedt vooral op bij supercell convectie.

Binnen het gw-programma is een nieuwe methode met bijbehorende gereedschappen ontwikkeld, die door de meteoroloog kan worden gebruikt voor het maken van een zeer korte termijn (0–12u vooruit) verwachting voor zwaar onweer in de zomer. Onderdeel van de methode is een objectief kansverwachtingssysteem voor zwaar onweer (kouw) en een diagnostische tool waarmee de locatie en tijd en de organisatiegraad (of het type) van de convectie kan worden bepaald. Elk type heeft daarbij zijn eigen zwaar-weer-karakteristiek t.a.v. onweer, het aantal ontladingen, de grootte van hagelstenen, zware windstoten en extreme neerslag. Het kouw systeem is sinds 2007 operationeel beschikbaar voor de meteoroloog. De diagnostische tool wordt sinds het warme zomerhalfjaar van 2010 operationeel gebruikt. Via een opleiding is de meteoroloog getraind in het gebruik van deze tools en in het fysisch inzicht dat daaraan ten grondslag ligt.

Diagnostische tool voor type convectie

De zwaarte van een convectief weersysteem in termen van het aantal ontladingen in een onweersbui, de grootte van de hagelstenen en de zwaarte van windstoten hangt af van de organisatiegraad, ofwel het type, van de convectie. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen single cells, multicells en supercells. De convectietool bepaald de organisatiegraad aan de hand van de hoeveelheid beschikbare potentiële energie (CAPE) en de verticale windschering (SHEAR). Input voor de tool wordt geleverd uit het weermodel. Vervolgens wordt er een kaartje gemaakt waarop het type en de positie van de convectie op een bepaald tijdstip is aangegeven.

Het type kan daarbij gedurende de levensduur van een bui veranderen.

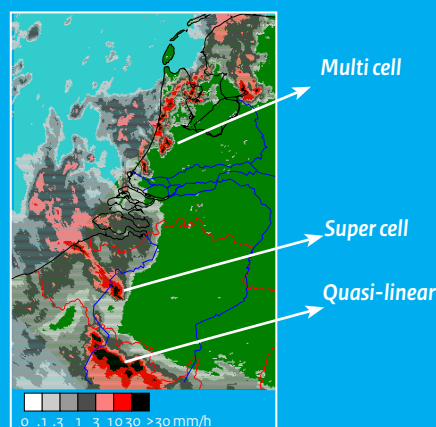


Figuur 3. Type convectie als functie van de hoeveelheid beschikbare potentiële energie (CAPE) en de verticale windschering (SHEAR).

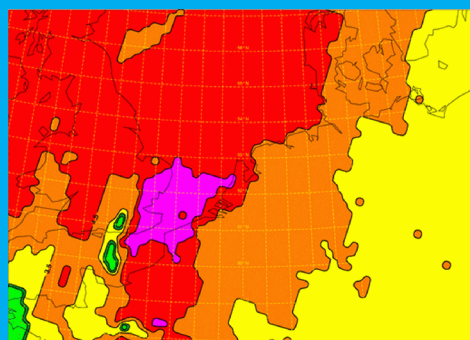
Het voorbeeld hiernaast geeft het verwachte convectie-type aan tijdens de zware hagelbuien in de avond en de nacht van 25/26 mei 2009 voor Nederland en omgeving. In het plaatje rechtsboven staat het bijbehorende radarbeeld.

De classificatie van het type convectie is als volgt:

- Groen = single cells
- Donkergroen = pulse storms
- Geel = poorly organised cells
- Oranje = well organised cells
- Rood = mini supercells
- Violet = supercells



Figuur 4. KNMI neerslagradarbeeld voor Nederland en omgeving op 26 mei 2009 om 00 uur UTC. In het radarbeeld van 00 uur UTC zijn een aantal typen convectie zoals die zijn opgetreden weergegeven.



Figuur 5. Kaartje met het verwachte convectietype in Nederland en omgeving tijdens de zware hagelbuien in de nacht van 25 – 26 mei 2009 (HIRLAM + 12 uur verwachting geldig voor 26 mei 00 uur UTC).

Hevige wind en windstoten

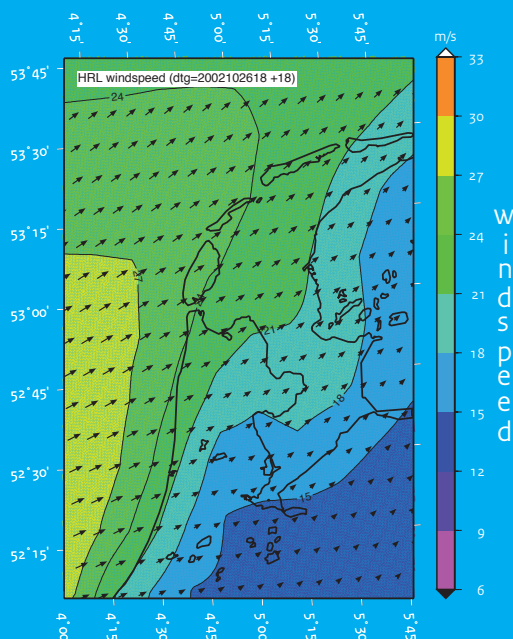
De wind uit het weermodel HIRLAM van het KNMI wordt geleverd op een resolutie van 10x10 kilometer. In sommige gevallen is een veel hogere resolutie nodig, tot 1 kilometer of minder. Voorbeelden van dergelijke gevallen zijn het verwachten van waterstanden en golven langs de Nederlandse kust en vluchtplanning op een luchthaven zoals Schiphol. Het KNMI heeft hiervoor een pakket aan applicaties ontwikkeld. Deze zijn in het kader van het gw-programma toegesneden op de behoeften van

onze gebruikers. Het gaat daarbij om de volgende applicaties:

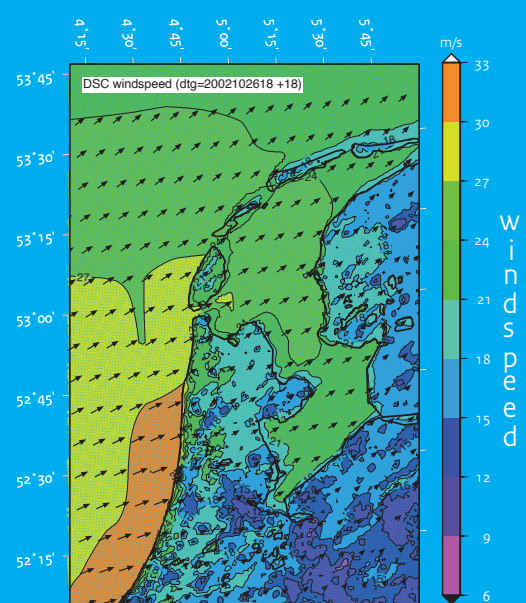
- Downscaling applicatie voor het verfijnen van de windvelden uit HIRLAM naar 500x500 meter.
- HIRLAM TKE applicatie voor het verwachten van windstoten die worden veroorzaakt door wrijving aan het aardoppervlak.
- Ivens applicatie voor het verwachten van windstoten veroorzaakt door buien (natte convectie).

Downscaling van wind

Voor onze maritieme gebruikers is kennis over de wind de belangrijkste parameter die het weermodel geeft. Wind drijft immers de modellen aan die zij zelf gebruiken voor het berekenen van waterstanden en golven. De mate van detaillering van het windveld dat het weermodel levert is daarvoor echter te beperkt. Op verzoek van rws / Deltares heeft het KNMI in 2006 een nieuwe methode ontwikkeld waarmee windvelden uit een weermodel kunnen worden verfijnd naar resoluties van maar liefst 500 x 500 meter. Deze methode wordt downscaling genoemd. Daarbij wordt zeer gedetailleerde informatie over het landgebruik verwerkt om de windverwachting uit het weermodel te corrigeren voor lokale variaties in de ruwheid van het aardoppervlak. De informatie over het landgebruik wordt afgeleid uit satellietwaarnemingen. In tegenstelling tot het weermodel (plaatje links) laat de downscaling grote variaties in windsnelheid zien bij land-water overgangen (plaatje rechts). De figuren laten windprognoses zien voor de storm van 27 oktober 2002.



Figuur 6. HIRLAM windveld verwachting voor de storm van 27 oktober 2002.



Figuur 7. Downscaling windveld verwachting voor de storm van 27 oktober 2002.

- Applicatie voor het bepalen van windschering uit de radar.
- Applicatie voor het verwachten van 'Clear Air Turbulence' (CAT).

Dichte mist en lage wolken

Het KNMI geeft geen weeralarm uit voor mist omdat dit vaak te lokaal voorkomt om er alle alarmklokken voor te doen luiden. Toch hebben we binnen

het gw-programma veel aandacht besteed aan dit fenomeen. De impact op bijv. het wegverkeer en in de luchtvaart is immers groot. Voor het vliegverkeer is het verticale zicht (lage wolken) net zo hinderlijk. Daarom is ook daar aandacht aan besteed. Om onze verwachtingen voor mist en de mogelijkheden om mist te kunnen detecteren te verbeteren, heeft het onderzoek naar mist sinds 2005 binnen het gw-programma continu in de belangstelling gestaan.

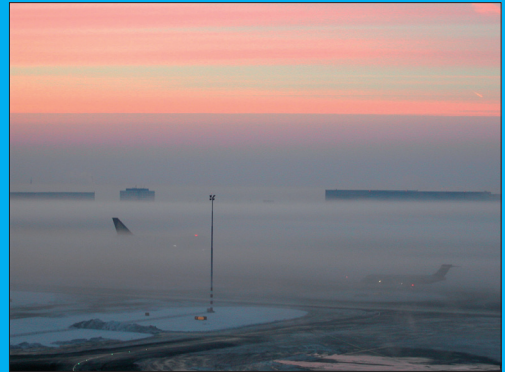
De verschillende MIST activiteiten binnen het gw-programma hebben o.a. tot de volgende resultaten geleid:

- Adviesrapport over het belang van waarnemingen van de mistposten rondom Schiphol voor detectie van mist en lage wolken t.b.v. de Schiphol operatie.

‘De combinatie van LIDAR en SODAR lijkt veelbelovend voor een moderne detectie van mist en lage wolken en een korte termijn prognose van het verloop daarvan’

Mist op luchthaven schiphol

Slecht zicht condities op een luchthaven hebben een enorme negatieve invloed op de beschikbare operationele capaciteit. Het Knowledge & Development Centre (KDC) van luchthaven Schiphol heeft het KNMI verzocht om de kwaliteit van haar zichtverwachtingen voor Schiphol te verbeteren. Dit leidt immers tot efficiënter gebruik van de bestaande luchthavencapaciteit. Het KNMI heeft hiervoor een kansverwachting ontwikkeld voor slecht zicht en lage wolken, waarbij meerdere weerscenario's worden verwacht en de waarschijnlijkheid dat ze optreden. Daarnaast heeft het KNMI uitgezocht hoe deze scenario's of kansverwachtingen het beste kunnen worden gebruikt voor beslissingsondersteuning binnen de operationele praktijk op de luchthaven. Dit onderzoek is samen met de belangrijkste gebruikers van weersverwachtingen op de luchthaven uitgevoerd, zoals de luchthavengroep (AAS), de Luchtverkeersleiding Nederland (LVNL) en de Luchtvaartmaatschappij KLM.



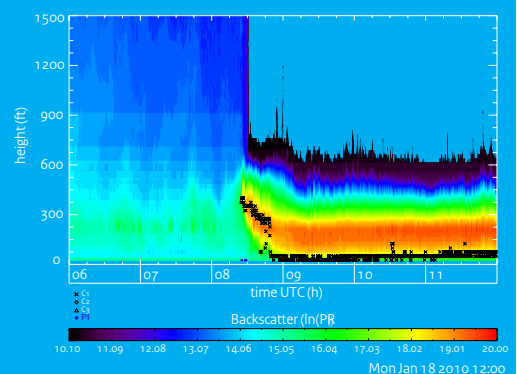
Figuur 8. Mist op luchthaven Schiphol.

- Adviesrapport over (meet)technieken die gebruikt kunnen worden voor mistdetectie of signalering.
- Klimatologie van mist en lage wolken voor diverse stations in Nederland.
- Advies over gebruik MSG satellietwaarnemingen en groundbased LIDAR / SODAR waarnemingen voor de detectie van mist en lage wolken.
- Rapport over een kwantitatieve vergelijking van de prestaties van METCAST en CINESAT voor het maken van zeer korte termijn verwachtingen voor mist en lage stratus wolken.
- Een betere (kans)verwachting voor LVP condities (mist en lage wolken) voor luchthaven Schiphol.
- Eerste inzicht in de invloed van het landgebruik op de stralingsmistgevoeligheid.

Het gebruik van lidar en sodar voor de detectie van mist en lage wolken

LIDAR staat voor 'Light Detection and Ranging'. Het is een meettechniek waar m.b.v. lichtverstrooiing laag aan de grond de toename in de aerosoldichtheid kan worden gedetecteerd. Juist die toename is typisch voor de aanwezigheid van mist of lage wolken. Op Schiphol worden z.g. LIDAR-ceilometers (wolkenhoogtemeters) gebruikt voor de bepaling van de hoogte en dichtheid van wolkenlagen. Daarvoor meet de LIDAR de extinctie coëfficiënt als functie van de hoogte. Toename in de extinctie duidt op de aanwezigheid van wolkenlagen. Er is onderzocht of het in mist situaties mogelijk is om ook het ontstaan en het verloop van de mist te kunnen detecteren en kort van tevoren te kunnen zien aankomen. Aangezien de LIDAR niet door dikke mistlagen heen kan kijken, hebben we gebruik gemaakt van SODAR ('Sound Detection and Ranging') metingen voor het bepalen van de dikte van de mistlaag. De combinatie van LIDAR en SODAR lijkt veelbelovend voor een moderne detectie van mist en een korte termijn prognose van het verloop daarvan.

Onderstaande figuur geeft het tijdsafhankelijke verloop van een LIDAR meting op Runway 18C op Schiphol. De mate van extinctie wordt gegeven als functie van de hoogte. De extinctie neemt in sterkte af van rood, groen, geel, blauw tot violet. In de figuur is om 08:30 UTC het ontstaan van mist te zien (hoge extinctie coëfficiënt) na een koude heldere nacht.



Figuur 9. Lidar backscatter metingen op Schiphol (runway 18C). De hoge backscatter waarden (kleuren rood, oranje en geel) duiden op de aanwezigheid van mist.

De vergelijking tussen METCAST en CINESAT heeft aangetoond dat METCAST geen duidelijke meerwaarde heeft t.o.v. het CINESAT systeem. Daarop is besloten om METCAST voor operationeel gebruik uit te faseren.

Het onderzoek naar verbeterde verwachtingsmethoden voor mist en lage wolken zal binnen het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat worden vervolgd. In dat kader zal o.a. onderzoek worden gedaan naar het gebruik van een 1 dimensionaal kolommodel voor het maken van verwachtingen van mist en lage wolken op luchthaven Schiphol.

Overvloedige neerslag

Neerslaghoeveelheden die worden veroorzaakt door zomerse zware lokale buien kunnen van plaats tot plaats sterk verschillen. Het KNMI waarschuwt haar gebruikers daarvoor wanneer er wateroverlast wordt verwacht op hun locatie. De waarschuwingscriteria die worden gehanteerd zijn vastgesteld in overleg met de gebruikers zelf. Het project “Gevaarlijk Weer voor het Waterbeheer” is in 2003 uitgevoerd.

Het project wordt gezien als pilot voorafgaand aan het gw-programma en is een voorbeeld van een project waar een dergelijke afstemming heeft plaatsgevonden.

Alle klimaatscenario's van het KNMI laten zien dat dit soort zomerse buien juist intenser worden in een opwarmend klimaat. Exacte gegevens over toename van de regenintensiteit tijdens extreme buien zijn

echter onbekend. Binnen het programma Kennis voor Klimaat zal m.b.v. het hoge resolutie weermodel HARMONIE hiernaar onderzoek worden gedaan.

Langdurige hitte, droogte en koude

Hitte, droogte en koude zijn onderwerpen waar het gw-programma slechts zijdelings aan heeft gewerkt. Het droogtebericht voor de stroomgebieden van de Rijn en Maas, t.b.v. de Landelijke Commissie Waterverdeling, is in 2003 al ontwikkeld. Het programma heeft wel een rol gespeeld in het tot stand komen van het Nationale Hitteplan uit 2007, met als onderdeel een waarschuwing voor aanhoudende hitte. Verder heeft het programma meegewerkt aan de ontwikkeling van een nieuwe windchill factor voor bepaling van de gevoelstemperatuur in de winter.

Overvloedige neerslag en waterbeheer

Grote hoeveelheden neerslag kunnen leiden tot ernstige wateroverlast en bedreigende situaties. Als voorbeeld noemen we de overstromingen in het Friese Franeker in augustus 2004. De ruim 100 mm neerslag die in een etmaal viel was veel meer dan de afwatering aankon. De Nederlandse waterschappen dienen tijdig voor dit soort situaties gewaarschuwd te worden. Hierdoor kan bij dreiging van wateroverlast door grote hoeveelheden neerslag tijdig en adequaat worden opgetreden. De dreiging kan daarmee worden afgewend of de schadelijke gevolgen worden beperkt. In het pilot project “Gevaarlijk Weer voor het Waterbeheer” hebben het KNMI en de Unie van Waterschappen een nieuwe werkwijze en een automatisch waarschuwingssysteem ontwikkeld voor extreme neerslaghoeveelheden. Daarmee kunnen de waterschappen gewaarschuwd worden wanneer grote neerslaghoeveelheden in hun gebied voor problemen kunnen zorgen. Ieder waterschap heeft daarvoor zijn eigen risicoprofiel opgesteld. Na een succesvol verloop van de pilot is het waarschuwingssysteem nu voor alle waterschappen beschikbaar.



Figuur 10. Wateroverlast in Franeker als gevolg van een hevige zomerse bui.

4. Modelontwikkeling

De ontwikkeling van het hoge resolutie weermodel HARMONIE is een noodzakelijke stap om de vereiste detaillering in onze verwachtingen voor extreem weer te kunnen realiseren. Aan de ontwikkeling van dit model wordt door ruim 25 landen binnen Europa gewerkt. Het gw-programma heeft daaraan bijgedragen door:

- Implementatie en validatie van een nieuw fysica pakket (EDMF) voor een consistente en moderne beschrijving van grenslaag- en wolkenprocessen in het model. Dit is onderdeel van het gw project “Mesoschaal modelontwikkeling (MESOMOD)”.
- Validatie en verbetering van HARMONIE voor het verwachten van kleinschalige en kritieke weersomstandigheden op luchthaven Schiphol. Voorbeelden hiervan zijn zware convectieve buien met extreme neerslag en windstoten, lokale mist en laaghangende bewolking. Deze activiteiten zijn een vervolg op het MESOMOD project en vinden op dit moment plaats binnen het nationale onderzoeks-programma Kennis voor Klimaat.

‘De ontwikkeling van het hoge resolutie weermodel HARMONIE is een noodzakelijke stap om de vereiste detaillering in onze verwachtingen voor extreem weer te kunnen realiseren’

Om het HARMONIE model komende jaren optimaal te kunnen leren gebruiken is er een Proeftuin omgeving opgezet. Dit is een fysieke leeromgeving

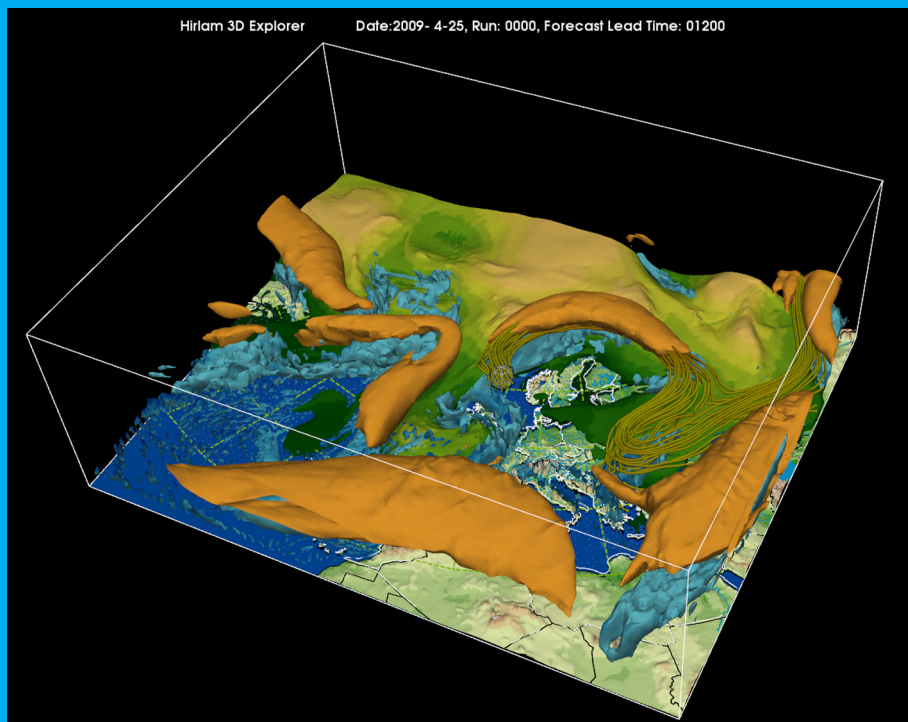
waarbinnen meteorologen en onderzoekers hun ervaring en kennis op het gebied van de ontwikkeling en het gebruik van hoge resolutie weermodellen, zoals HARMONIE, aan elkaar kunnen uitwisselen. Als onderdeel van deze Proeftuin is een nieuwe tool ontwikkeld waarmee de uitvoer van het HARMONIE model in 3D kan worden gevisualiseerd. Bovendien zal binnen het Kennis voor Klimaat project IMPACT een academische versie van HARMONIE worden ontwikkeld in samenwerking met de Nederlandse universiteiten van Wageningen en Delft. Deze versie heeft als doel om te worden gebruikt voor onderzoek en scholing op universiteiten. De kennis die daaruit voortkomt kunnen wij vervolgens gebruiken om de kwaliteit van onze weermodellen voor onze gebruikers verder te verbeteren.



Demonstratie 3D HIRLAM tijdens de KNMI kennisdag op 17 oktober 2009.

Mesoschaal modelontwikkeling

Om onze verwachtingsvaardigheid voor gevaarlijk weer te kunnen verbeteren wordt er momenteel gewerkt aan een nieuwe generatie weermodel, HARMONIE genaamd. Daarmee wordt de ruimtelijke resolutie van ons operationele weermodel verhoogd van de huidige 10 kilometer naar 1 à 2 kilometer. De laatste 10 jaar is veel nieuwe kennis ontwikkeld op het gebied van het ontstaan van wolken, turbulentie en convectie in de onderste kilometers van de atmosfeer. Daarnaast is onderzocht hoe deze atmosferische verschijnselen het beste kunnen worden gemodelleerd in weer- en klimaatmodellen. Deze kennis is onderdeel van het op het KNMI ontwikkelde EDMF fysica schema. Als onderdeel van de vernieuwing van ons weermodel is het EDMF schema in HARMONIE geïmplementeerd. Daarnaast is er gestart met de validatie van dit schema voor het maken van gedetailleerde weersverwachtingen. Deze activiteit neemt meerdere jaren in beslag en heeft voor een groot deel plaatsgevonden binnen het GW-project "MESOMOD". De eerste resultaten zijn veelbelovend. Aan de hand van 3D case-studies is aangetoond dat het EDMF schema realistische wolkenbasis en wolken-top hoogtes geeft maar dat de wolken bedekkingsgraad nog wordt onderschat. Verder is de 2 meter temperatuur in de nacht nog te laag. Het convectieschema dat binnen MESOMOD wordt gebruikt is verder aangepast m.b.t. de formulering van entrainment en de gebruikte verticale snelheidsvergelijkingen. Deze aanpassingen hebben een positieve impact gehad op alle 1D casestudies die met HARMONIE zijn uitgevoerd. De MESOMOD software code is inmiddels beschikbaar in een officiële versie van HARMONIE. Om de 3D cases die binnen MESOMOD worden uitgevoerd makkelijker te kunnen valideren wordt er gebruik gemaakt van een 3D visualisatietool. Deze tool is speciaal voor dat doel ontwikkeld binnen het GW-project "3D visualisatie". Onderstaande figuur geeft daar een voorbeeld van.



Figuur 11. De Hirlam 3D Explorer waarmee Hirlam output in 3D kan worden bekeken. De figuur laat bewolking zien (lichtblauw) en delen van de straalstroom (oranje) met bijbehorende stroomlijnen boven Europa en de Atlantische Oceaan, met snelheden van meer dan 100 km/h.

5. Infrastructuur

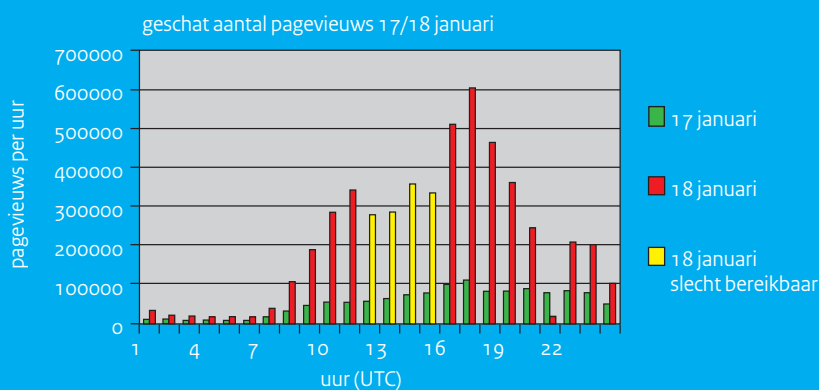
Het KNMI stelt wegerelateerde gegevens beschikbaar aan zowel het algemene publiek als haar professionele gebruikers. Bij het optreden van gevaarlijk weer situaties is een goede toegang tot deze gegevens van groot belang. Veruit de meeste producten die het KNMI levert worden verstrekt via internet en/of aan internet gerelateerde distributiesystemen zoals extranetten of FTP-servers. Tijdens de

weeralarmsituaties die zich in de periode 1999–2005 hebben voorgedaan hebben zich regelmatig problemen voorgedaan met de toegankelijkheid van de KNMI-infrastructuur. In alle gevallen was dat een gevolg van overbelasting van onze internetvoorziening. Dat had te maken met beperkingen ten aanzien van de capaciteit op onze internetaansluiting. Ook was er sprake van een toenemende

Belasting internet tijdens weeralarm

Op 17 januari 2007 werd er om 17:33 lokale tijd een weeralarm uitgegeven voor zware storm. De ICT-beheerders waren daarover ruim van tevoren geïnformeerd. Ondanks het late tijdstip van uitgeven was de toeloop naar de KNMI-site meteen fors. De dag daarna begon de performance rond 10 uur merkbaar te verminderen met vanaf 12 uur een zeer slechte bereikbaarheid. Dit betrof alleen de publieke site www.knmi.nl. Het dataverkeer naar de extranetten en de FTP-server was toen al gescheiden. De professionele gebruikers hebben daar geen hinder van ondervonden. Uit een analyse is gebleken dat het probleem in de firewall zat. Aangezien het beheer van de firewall was uitbesteed, kon het probleem pas na lange tijd worden verholpen. Vanaf ca. 21:15 liep de zaak weer goed. Om 23:19 werd het weeralarm ingetrokken.

Naar schatting werden er op 18 januari ca. 4 miljoen pagina's geraadpleegd. Dat was meer dan het bestaande record van 30 december 2005 dat op ca. 3 miljoen stond. De figuur hieronder laat zien dat de performance tussen 12:00 uur UTC en 16:00 uur UTC erg slecht was.



Figuur 12. Belasting en performance van de KNMI publieke website tijdens het weeralarm voor zware storm op 17 – 18 januari 2007.



Computerruimte van het KNMI

maar moeilijk te voorspellen belangstelling van het algemene publiek om geïnformeerd te worden over dreigend gevaarlijk weer. Vooral voor professionele gebruikers is dat hinderlijk omdat zij in hun bedrijfsvoering sterk afhankelijk zijn van die weergegerelateerde gegevens. Binnen het gw-programma is onderzocht welke onderdelen van onze infrastructuur als meest kwetsbaar moeten worden beschouwd (en waarom). Ook is gekeken naar welke onderdelen van onze infrastructuur tijdens weeralarmsituaties voor problemen hebben gezorgd. Zo kunnen risico's van uitval van –delen van– de KNMI-infrastructuur tijdens gevaarlijk weer situaties in de toekomst zoveel mogelijk beperkt worden.

Het onderzoek naar de kwetsbaarheden in onze infrastructuur heeft geresulteerd in een advies betreffende het verbeteren van de bedrijfszekerheid voor het leveren van producten en diensten tijdens gevaarlijk weer. De volgende acties zijn daaropvolgend ondernomen om de bedrijfszekerheid van ons internet te vergroten:

- Het scheiden van het dataverkeer voor algemeen publiek en professionele gebruikers.

Hiervoor is een tweede internetaansluiting gecreëerd. Deze aparte aansluiting moet voorkomen dat onze professionele gebruikers last ondervinden bij extreme piekaanvragen vanuit het algemeen publiek.

- Het installeren van een cacheserver. Dit is een technische voorziening die het mogelijk maakt om eerder opgevraagde internetpagina's een tijd te bewaren zodat deze snel aan een volgende vrager kunnen worden geleverd.

6. Leren van Gevaarlijk Weer

In de operationele meteorologie bestaat al jaren de trend dat een steeds groter wordend deel van de weersverwachting wordt geautomatiseerd. Daarnaast wordt er steeds vaker gewerkt op basis van weersafhankelijke inzet. Extreme weersomstandigheden komen per definitie weinig voor. Gemiddeld geeft het KNMI zo'n 3 à 4 weeralarmen uit per jaar. De meteoroloog heeft dus slechts beperkte mogelijkheden om tijdens zijn eigen dienst ervaring op te doen met extreem weer. Daarmee dreigt de routine te verdwijnen terwijl de meteoroloog juist bij gevaarlijke weersituaties op scherp moet staan. Het onderhouden van kennis op het gebied van extreem weer wordt daarmee steeds moeilijker.

'Een Gevaarlijk Weer Catalogus in combinatie met Computer Aided Learning biedt de meteoroloog nieuwe mogelijkheden om kennis op het gebied van extreem weer te onderhouden'

Om de mogelijkheden voor de meteoroloog te vergroten in het herkennen, beoordelen en leren van gevaarlijke weersontwikkelingen is binnen het gw-programma een Gevaarlijk Weer Catalogus opgezet. Daarin wordt informatie vastgelegd over de meteorologische achtergrond en de maatschappelijke impact van gevaarlijke weersituaties die zich in Nederland hebben voorgedaan. Er zijn ruim 100 weercases geïdentificeerd die in de Catalogus zijn opgenomen. De komende jaren zal de Catalogus worden gekoppeld aan een interactieve leeromgeving welke gebaseerd is op het principe van Computer Aided Learning (CAL). De Catalogus biedt

de meteoroloog nieuwe mogelijkheden om zelf of in groepsverband interactief te oefenen met oude extreem weersituaties. Een deel van de Catalogus zal komende jaren ook op het internet worden geplaatst voor demonstratie aan het publiek.

De Catalogus is bereikbaar via de interne URL:
<http://oper.knmi.nl/gwc>

Naam:	supercells		
Datum:	2009-07-21		
Auteur:	Rutger Boonstra		
Abstract:	Op 21 Juli 2009 trokken in de namiddag op een thermische vore vanuit het zuiden twee buienlijnen over het zuidoostelijk deel van Nederland. Hierbij trad veel bliksemactiviteit op die voor langere tijd over het criterium voor een weeralarm voor bliksemactiviteit ging. Een weeralarm werd echter niet uitgegeven. Verder hadden enkele buiencellen het karakter van een supercel. Verder kwamen er verscheidene meldingen van hagel, in enkele gevallen met een diameter tot 4 cm, en ook het treinverkeer werd op grote schaal ontregeld door de buien.		
Alarmsoort:	geen		
Weersector	Fenomeen	Afgeleide	Overig
Algemeen	Buien	Turbulentie	Schade
	Windstoten	Windshear	Hagelschade
	Zware windstoten		
	Wolkbreuk		
	Zeer zware windstoten		
	Zwaar onweer		

Het KNMI intranet loket van de Gevaarlijk Weer Catalogus.

Leren van Gevaarlijk Weer op basis van historische cases



Figuur 13. Stormvloeden

Watersnoodramp van 1 februari 1953, 1836 dodelijke slachtoffers



Figuur 14. Mist

25 augustus 1972 en 6 november 1990.
Mist ongevallen – 23 doden, 42 gewonden



Figuur 15. Tornado's en zware buien

23 augustus 1950: Veluwe
23 juni 1967: Chaam en Tricht – 11 doden
6 oktober 1981: Moerdijk – vliegtuig crash
5 augustus 1993: Burgum – schade op camping
14 juli 2010: Vethuizen – noodweer op camping, 2 doden



Figuur 16. Winterse problemen

Sneeuw en ijzel, 1958, 1963, 1978, 1981, 2002, 2010

7. De gebruiker staat centraal

Een goede meteorologische verwachting valt of staat met haar bruikbaarheid. Dat geldt in het bijzonder voor de verwachtingen die wij uitgeven ten aanzien van gevaarlijk weer. In het kader van het gw-programma hebben we de aard, inhoud en overdracht van de weerinformatie die we verstrekken en de criteria die we hanteren bij het uitgeven van waarschuwingen en weeralarmen nog beter afgestemd op de behoefte van onze gebruikers. Zo wordt de bruikbaarheid ervan geoptimaliseerd. Het is immers uiteindelijk de gebruiker zelf die aangeeft of het weer gevaarlijk of hinderlijk is voor zijn doelgroep.

‘Optimaal benutten van onze verwachtingen betekent écht samenwerken met onze gebruikers’

Productdefinitie van gevaarlijk weer

Het gw-programma heeft veel aandacht besteed aan het inventariseren van de externe behoefte op het gebied van gevaarlijk weer. Onderdeel van die inventarisatie was om antwoord te krijgen op vragen zoals:

- Wat is gevaarlijk weer?
- Welke groepen in de samenleving zijn daar gevoelig voor?
- Wat is het risicoprofiel van deze groepen?

Op basis van deze inventarisatie is voor een aantal weerfenomenen waarvoor het KNMI waarschuwingen uitgeeft een productdefinitie opgesteld. Daarin is aangegeven welke gebruikers voor dat specifieke weerfenomeen gewaarschuwd willen worden en bij

welke criteria. Uit de productdefinities volgt ook wat voor soort bouwstenen en grondstoffen, bijv. in de vorm van waarnemingen en modellen, we nodig hebben voor gevaarlijk weer. Daarnaast kunnen de productdefinities als leidraad worden gebruikt voor de ontwikkeling van nieuwe innovatieve producten, of voor het verbeteren van de bruikbaarheid en de kwaliteit van bestaande producten.

De nieuwe aanpak

De aanpak binnen het gw-programma is veel meer dan voorheen gericht op samenwerking. Optimaal benutten van onze verwachtingen betekent écht samenwerken met onze gebruikers. In deze nieuwe aanpak wordt de behoefte van de gebruikers (de vraagkant) en de beschikbare kennis en producten vanuit de wetenschap (de aanbodkant) beter op elkaar afgestemd. Om de mogelijkheden voor vernieuwing en verbetering aan onze gebruikers te demonstreren worden deze actief benaderd. Onderdeel van de samenwerking is om meer inzicht te krijgen in elkaars werkprocessen en daarvoor kijken we regelmatig bij elkaar in de keuken. Deze vorm van samenwerking heeft al een aantal malen tot nieuwe innovatieve producten geleid.

De nieuwe producten

Uit de contacten die we hebben met onze belangrijkste gebruikers is gebleken dat er steeds meer behoefte is aan informatie, in de vorm van waarschuwingen en verwachtingen, over gevaarlijk weer op kleine ruimte- en tijdschalen. Daarnaast worden we steeds vaker door onze gebruikers gevraagd om meerdere weerscenario's te berekenen en hun kans van optreden. Daarmee lijkt de tijd dat we aan onze gebruikers één deterministische verwachting leverden voorbij. Dat biedt ons mogelijkheden om

meer specifieke weerinformatie aan te bieden dan voorheen. Het maakt echter het nemen van de juiste beslissing door de gebruiker niet makkelijker. Veel extreem weer situaties worden immers gekenmerkt door een lage kans van optreden maar met een hoog risico voor de maatschappij. Beslissingsondersteuning als onderdeel van het verwachtingsproces wordt daarmee essentieel. Met sommige van onze gebruikers gaan we die uitdaging aan. Het Knowledge & Development Centre van de luchthaven Schiphol (KDC) is daar een voorbeeld van.

‘Daarnaast worden we steeds vaker door onze gebruikers gevraagd om meerdere weerscenario’s te berekenen en hun kans van optreden.’

Jaarlijks organiseert het KNMI bijeenkomsten met haar belangrijkste gebruikers zoals private weerbureaus, politie, brandweer, luchtvaart, maritiem en de media. Tijdens die bijeenkomsten wordt aandacht besteed aan recent uitgegeven weeralarmen en aan de nieuwe producten die het KNMI heeft ontwikkeld. Daarbij is ruimte voor wensen van gebruikers en zo nodig het indienen van verzoeken tot aanpassingen in de waarschuwingssystematiek die het KNMI hanteert.

Communicatie

Een zorgvuldige communicatie, de overdracht van informatie naar de gebruiker en de garantie dat die informatie op tijd bij de gebruiker aankomt zijn tevens van belang. Om de communicatie bij extreem weer te verbeteren hebben diverse medewerkers van het KNMI in het kader van het GW-programma in 2006-2007 een communicatietraining gevolgd. Daarnaast zijn een tweetal websites ontwikkeld t.b.v. het verstrekken van gevaarlijk weer informatie aan enerzijds het publiek en anderzijds aan professionele crisisbeheerders:

- Om het publiek via internet te informeren over extreem weer in Europa is in maart 2007 het Europese waarschuwingssysteem Metealarm (zie www.meteoalarm.eu) van start gegaan.
- Op verzoek van het Ministerie van Binnenlandse Zaken heeft het KNMI in 2008 een “Meteoscan” ontwikkeld met als doel om professionele crisisbeheerders, zoals de brandweer en de KLPD, op een termijn tot 2 weken vooruit te signaleren voor risico’s t.a.v. gevaarlijk weer. Een demo van de Meteoscan is beschikbaar op een beveiligde website: <http://www.knmi.nl/samenw/meteoscan>



Referenties

Programmaplan Gevaarlijk Weer

- 1) Het Gevaarlijk Weer programma: Plan en vooruitzicht 2006–2010
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/GW_Plan_2006-2010_V1.5.pdf

Zwaar onweer

- 1) Kansverwachtingen voor onweer ten behoeve van uitgifte van weeralarm (kouw)
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/kouw_IR2007-03.pdf
- 2) Diagnostische tool voor zware convectie
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Poster_convectie.pdf

Hevige wind en windstoten

- 1) Downscaling van windvelden uit een weermodel naar kleine ruimtelijke schalen
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Poster_downscaling.pdf
- 2) Een op HIRLAM TKE gebaseerde parameterisatie voor de bepaling van windstoten
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Artikel_Hirlam-TKE.pdf
- 3) Windschering uit Doppler radar
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/IR_windshear.pdf

Dichte mist en lage wolken

- 1) Advies mistposten Schiphol
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/mistpostenSPL_IR2006-02.pdf
- 2) Mistdetectie en signalering
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Mistdetectie_en_Signalering_IR2007-04.pdf
- 3) Stralingsmistgevoeligheid en GIS
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/MIST_en_GIS_Wentink.pdf
- 4) Een kwantitatieve vergelijking van Metcast en Cinesat forecasts
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Metcast_vs_Cinesat_IR2007-05.pdf
- 5) Ontwikkeling van een verbeterde verwachtingstool voor LVP condities op luchthaven Schiphol
Deel 1: Assessment van de huidige verwachtingstool
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/KDC-LVP_part1.pdf
- 6) Ontwikkeling van een verbeterde verwachtingstool voor LVP condities op luchthaven Schiphol
Deel 2: Verbeterde verwachtingen voor slecht zicht en lage wolken op luchthaven Schiphol
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/KDC-LVP_final-report.pdf
- 7) Resultaten van het experiment “Het gebruik van LIDAR backscatter profielen op luchthaven Schiphol”
URL: <http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Wat-heeft-de-Lidar-ons-geleerd.pdf>
- 8) Het gebruik van LIDAR en SODAR metingen voor de detectie van mist en lage wolken op luchthaven Schiphol
URL: <http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Report-SODAR.pdf>

Overvloedige neerslag

- 1) Gevaarlijk weer voor het waterbeheer
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Folder_waterbeheer.pdf

Langdurige hitte, droogte en koude

- 1) Nationaal Hitteplan 2007
URL: <http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/hitteplan.pdf>
- 2) Bepaling van de gevoelstemperatuur in de winter
URL: <http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/windchill.pdf>

Mesoschaal modelontwikkeling

- 1) Parameterisatie van detrainment in ondiepe cumulus convectie
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/mesomod_detrainment.pdf

- 2) *De rol van entrainment en updraft snelheid in een EDMF schema*
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/mesomod_entrainment.pdf

Infrastructuur

- 1) *Adviesrapport KNMI infrastructuur voor gevaarlijk weer*
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/GWadvies-infra_final.pdf
- 2) *Belastbaarheidstest KNMI website*
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/stresstest_evaluatie.pdf

Leren van Gevaarlijk Weer

- 1) *De Gevaarlijk Weer Catalogus voor Nederland* (ECMWF Newsletter No. 105 – 2005, pag. 7–12)
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Artikel_GWC.pdf

Communicatie

- 1) *Meteoalarm: Actuele waarschuwingen van gevaarlijk en extreem weer in heel Europa op internet*
Brochure Meteoalarm:
URL: http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/Brochure_meteoalarm.pdf
- 2) *Website Meteoalarm:*
URL: <http://www.meteoalarm.eu>
- 3) *Meteoscan voor risicosignalering t.b.v. natuurdreigingen*
Tabel met weerindicatoren:
http://info.knmi.nl/projecten/gw-programma/documentatie/weerindicatoren_meteoscan.pdf
- 4) *Demo website voor Meteoscan:*
URL: <http://www2.knmi.nl/samenw/meteoscan/>