



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Beschrijving en toepassingen van het PASCAL-systeem

Een automatisch waarschuwingssysteem voor gevaarlijk weer

Kees Kok

De Bilt, 2022 | Technisch rapport; TR-395

Beschrijving en toepassingen van het PASCAL-systeem

Een automatisch waarschuwingssysteem voor gevaarlijk weer

Kees Kok

Abstract

In dit paper wordt een beschrijving gegeven van het automatisch waarschuwingssysteem PASCAL dat staat voor *Probabilistic Alert System for the Concurrence of Adverse weather elements*¹. Dit is een interactief programma dat uitgaande van de uitvoer in tijdseries van diverse modellen (gebieds)kansen op over- of onderschrijding bepaalt. Dit gebeurt aan de hand van criteria die gedefinieerd zijn op willekeurige combinaties van modelgrootheden en hieruit af te leiden grootheden, en op willekeurig gedefinieerde gebieden en tijdvensters. Bij af te leiden grootheden kan gedacht worden aan gevoelstemperatuur, hittestress of gidsvergelijkingen waarvan de predictoren elementen uit de tijdserie-files zijn. De tijdseries zijn in dit rapport voornamelijk afkomstig van het EPS van het ECMWF maar mogen ook afkomstig zijn van andere probabilistische (e.g. HarmonEPS) of deterministische modellen, zowel apart als in combinatie. De criteria kunnen extern worden opgegeven en mogen willekeurige combinaties zijn van doorsnedes en verenigingen van een vrijwel onbeperkt aantal subcriteria. Met subcriteria wordt bedoeld de condities die tezamen een zgn. *risicoprofiel* definiëren. Deze criteria kunnen aangevuld worden met een criterium over de minimale gebiedsgrootte waarop het totaal aan andere subcriteria moet gelden. Als de berekende (gebieds)kans hoger (c.q. lager) is dan de (extern) voorgeschreven kansdrempel dan wordt desgewenst een alertmail verstuurd. Het systeem is speciaal gericht op extreme situaties voor Nederland maar is uiteraard ook te gebruiken voor niet-extreme situaties en voor andere gebieden. Het is een uitbreiding van het waterschapssysteem (operationeel sinds 2003) en wordt nu gebruikt voor de bepaling van early warnings t.b.v. ProRail (2nd opinion taak van het KNMI) en van default waarschuwingfases (kleurcodes) t.b.v. MeteoAlarm (dag 2 tot dag 5).

Het rapport bevat tevens een uitgebreide beschrijving hoe te komen tot goed gedefinieerde, zoveel mogelijk objectieve risicoprofielen zowel voor professionele als niet-professionele (e.g. het algemene publiek) gebruikers(groepen). In het Discussie hoofdstuk wordt nader ingegaan op huidige en toekomstige ontwikkelingen van de gevaarlijk weer dienstverlening en wat de rol hierin zou kunnen zijn van een systeem zoals het PASCAL-systeem.

¹ Blaise Pascal (1623-1662) was een Franse wiskundige en filosoof, die de grondslag legde voor de moderne waarschijnlijkheidsrekening.

Inhoudsopgave

DEEL I	3
1. Inleiding	3
2. Eisen waaraan een (early) warning systeem moet voldoen	5
3. Maten voor de kwantificering van onzekerheidsinformatie	7
4. Overwegingen bij de keuze van het soort onzekerheidsinformatie	10
DEEL II	14
5. Korte beschrijving van het PASCAL-systeem	14
6. Objectieve bepaling van risicoprofielen	20
7. Risicoprofielen voor heterogene (niet-professionele) groepen gebruikers	26
DEEL III	30
8. Voorbeelden van eigenschappen	30
8.0. Introductie (gekozen presentatie)	30
8.1. Zowel modellen als kansen in uurstappen	34
8.2. Zowel over- als onderschrijdingskansen.....	36
8.3. Kansen in een time window; event probabilities.....	38
8.4. Overall window.....	42
8.5. Coïncidenties.....	44
8.6. Willekeurig aantal doorsneden (n) en/of verenigingen (U).....	48
8.7. Construeren van nieuwe elementen.....	50
8.8. Duur van single-variable events	55
8.9. Meerdaagse events	58
8.10. Codes geel, oranje en rood.....	64
8.11. Gebruik van deterministisch(e) model(len).....	66
8.12. Percentielen.....	69
8.13. Gebiedsbewerkingen.....	75
Deel IV	81
9. Samenvatting	81
10. Discussie	83
Referenties	89
Appendix A. Vragen t.b.v. Weather Sensitivity Analysis en Cost-Loss analyse voor waterschappen	95
Appendix B1. Gevoelstemperatuur	96
Appendix B2. Wet Bulb Globe Temperature (Heat Stress Index)	97
Appendix C. Het MeteoAlarm systeem	99
Appendix D. ProRail systeem	105

DEEL I

1. Inleiding

Iedere verwachting of waarschuwing bevat een component van onzekerheid. Deze onzekerheid is subjectief zowel als objectief te kwantificeren en heeft skill: er kan met skill onderscheid gemaakt worden tussen situaties die meer of minder (on)zeker zijn. Deze gekwantificeerde onzekerheid heeft een bewezen grote toegevoegde waarde voor gebruikers ten opzichte van deterministische of categorische verwachtingen. Belangrijker nog: terwijl deterministische of categorische verwachtingen per definitie gericht zijn op 1 specifieke gebruiker(sgroep) met een vooraf bepaalde of veronderstelde weergevoeligheid of cost-loss verhouding, is een probabilistische verwachting voor veel meer gebruikers(groepen) van waarde. Het belang hiervan geldt in versterkte mate bij gevaarlijk weer dat immers grote gevolgen kan hebben voor grote groepen in de samenleving. Probabilistische verwachtingen horen dan ook de basis te zijn van de meteorologische dienstverlening, en zeker ten aanzien van gevaarlijk weer.

De op het KNMI meest gangbare manier om probabilistische informatie uit modellen te extraheren is d.m.v. rechtstreekse bepaling van kansen uit een ensemble of door middel van post-processing van modeluitvoer (statistische gidsen) van zowel deterministische modellen als van ensembles. Terwijl bij statistische post-processing voor iedere conditie aparte vergelijkingen moeten worden afgeleid bevat een ensemble rechtstreekse kansinformatie in 4 dimensies (ruimte en tijd) voor alle modelvariabelen en een aantal hieruit afgeleide grootheden. Om deze veelheid aan informatie te comprimeren wordt meestal gekozen voor het presenteren van een selectie vaste combinaties van grootheden en drempels voor een aantal locaties. De presentatie per locatie is meestal in de vorm van pluimplaatjes waarin bijvoorbeeld een range van 50 en/of 75% waarschijnlijkheid getoond wordt, of in de vorm van stacked bars voor vaste tijdsintervallen of op vaste tijden. De ruimtelijke verdeling van de kansen wordt gepresenteerd in de vorm van kanskaarten waarin per grootheid voor een vaste fysieke grens de kans op overschrijding gegeven wordt in de vorm van kleuren of isolijnen van gelijke kans. Het betreft in vrijwel alle gevallen een beperkt aantal afgesproken grootheden en drempels op vaste tijden of tijdsintervallen.

Deze noodzakelijkerwijs beperkte keuze van het schier eindeloze aantal mogelijkheden is in veel situaties bij lange na niet voldoende, en zeker niet in situaties met dreigend gevaarlijk weer. Verschillende weeralarmcriteria zijn namelijk gedefinieerd in de vorm van (de kans op) het gelijktijdig voldoen aan of van het voldoen aan tenminste 1 van een aantal criteria. Zo is het criterium voor code oranje voor dag 0 en dag 1 voor “Sneeuw en Gladheid” gedefinieerd als *Op uitgebreide schaal gladheid door ijzel of bevriezing Of 5-15 cm sneeuw in 6 uur En/of 3-5 cm sneeuw in 1 uur En/of sneeuwval en/of driftsneeuw (>40 km per uur), leidend tot sneeuwduinen*. Dit moet optreden op een gebied met een bepaalde gebiedsgrootte met een kans van tenminste 60% (KNMI, 2019). Ensembles geven veel relevante informatie hiervoor maar een concrete kansschatting voor dit criterium is moeilijk rechtsreeks te bepalen. Een ander voorbeeld: wat is de kans dat een bepaalde (al of niet extreme) gebeurtenis op 3 achtereenvolgende dagen voorkomt, of op tenminste 3 van de 5 dagen? Of wat is de kans dat een gevaarlijk weer event optreedt ergens in een gebied, of ergens in een bepaald tijdsinterval, of ergens in een bepaald gebied ergens in een tijdsinterval? Tenslotte: wat is de kans op het (min of meer) gelijktijdig optreden van gebeurtenissen (concurrences)? Weersverschijnselen die ieder afzonderlijk geen gevaarlijke situatie opleveren kunnen namelijk in combinatie wel gevaarlijk zijn. Voorbeelden hiervan zijn gladheid veroorzaakt door de combinatie van al of niet bevroren (recente) neerslag met temperaturen rond of onder het vriespunt, en hittestress tijdens de Vierdaagse als gevolg van hoge temperatuur, veel zon en hoge vochtigheidsgraad.

Een ander type situaties waarin concurrences een rol spelen is bijvoorbeeld bij extreme neerslag in het wetterskip Fryslan. Hier ontstaan met name kritieke situaties bij een combinatie van veel neerslag en een beperkte mogelijkheid om het overtollige water te spuien naar IJsselmeer en Waddenzee. Dit komt voor bij situaties van langdurige wind uit westelijke tot noordwestelijke richting (die een groot verhang in de boezem creëert waardoor er weinig overtollig water gespuid kan worden) en een hoge wateropzet voor de Friese kust (met hetzelfde probleem). Door de kritieke toestand veel beter te specificeren d.m.v. extra condities wat betreft wind en opzet, kunnen veel onnodige waarschuwingen voor veel neerslag worden voorkomen (Kok et al., 2011a).

De kans dat een bepaalde situatie optreedt ongeacht precieze tijd kan zelden direct uit pluiminformatie afgeleid worden. Het event kan namelijk in verschillende ensemble leden op een andere tijd verwacht worden. Om deze zgn. *event probability* te bepalen moet dan ook vrijwel altijd gekeken worden naar de kans van optreden binnen een tijdwindow, in dit rapport *windowkans* genoemd. De grootte van het tijdwindow hangt af van het betreffende fenomeen en diens verwachtingsonzekerheid (en dus van de lead time).

Maar zelfs als juist de precieze locatie en tijd van belang zijn, is het vaak noodzakelijk om niet alleen de kans per punt en tijdstip te beschouwen, maar ook die in de omgeving van dat punt en in een tijdvenster rond het beoogde tijdstip. Dat heeft namelijk in veel gevallen een hogere skill en een grotere signaalfunctie. De grootte van de omgeving en van het tijdvenster zijn weer afhankelijk van de lead time en van het (de) betreffende element(en).

Tenslotte nog een voorbeeld waarin niet zozeer de gelijktijdigheid maar de vereniging van hazardous situaties een rol speelt. Dit doet zich voor bij weersafhankelijke inzet van meteorologen. Extra bemensing is te overwegen als de *gezamenlijke* kans op het voldoen aan meerdere waarschuwingscriteria binnen één dienst (e.g. hoge rivierstanden, hevige wind rond Schiphol aan het begin van de dienst, zware buien elders later in de dienst) een bepaalde kansdrempel overschrijdt.

Alle bovenstaande voorbeelden tonen aan dat ensembles veel meer (potentieel) relevante informatie bevatten die niet gevangen wordt in de meest gebruikte, gepresenteerde model output. De standaard manieren geven globale indicaties maar schieten duidelijk tekort met name in signaalfunctie voor gevaarlijk weer en in het tailoren ten behoeve van decision support voor users en forecasters. Het zou daarom handig zijn om op een flexibele, interactieve, snelle (situatie afhankelijke) en gemakkelijke manier veel meer tailor-made informatie te extraheren uit ensemble modeluitvoer (en eventueel nog uit deterministische modeluitvoer) door middel van willekeurig te bepalen uitsneden door de dimensies ruimte, tijd en element. Met precies dit doel is het PASCAL-systeem ontwikkeld. Het is speciaal gericht op early warnings voor high impact (adverse weather) situaties. Het systeem kan uiteraard ook gebruikt worden voor minder extreme situaties.

Het rapport bestaat uit 4 delen. Deel I begint (na de inleiding) met een korte opsomming van een aantal eisen waaraan ieder waarschuwingssysteem minimaal zou moeten voldoen. Deze eisen zijn mede bepalend geweest voor de ontwikkelde functionaliteit van het PASCAL-systeem. Daarna wordt in 2 hoofdstukken verder ingegaan op het niet te onderschatten belang van onzekerheidsinformatie bij waarschuwingen en op de verschillende manieren om deze te kwantificeren, en op enkele overwegingen voor de keuzes hierin in praktijksituaties. Deel II bevat de beschrijving van de huidige functionaliteit van het systeem (hoofdstuk 5), m.n. welke modellen gebruikt kunnen worden, welke elementen uit die modellen, en welke bewerkingen mogelijk zijn. In hoofdstuk 6 staan enkele overwegingen hoe modelinformatie objectief is te extraheren zodanig dat verwachtingen hiervoor het beste aansluiten bij beslisproblemen, i.e. het bepalen van zgn. *risicoprofielen*. Het systeem draagt nog sporen (vooral logistiek) van het zgn.

waterschapssysteem dat in 2003 in overleg met de Unie van Waterschappen ontwikkeld is (Kok et al. 2011a), maar is qua functionaliteit niet te vergelijken. In het derde deel wordt een groot aantal voorbeelden van de eigenschappen en mogelijkheden geïllustreerd d.m.v. geschikt gekozen risicoprofielen toegepast op verwachtingen van min of meer willekeurige model-runs (dagen). De nadruk in de voorbeelden ligt uiteraard op de probabilistische toepassingen, hoewel ook deterministische toepassingen mogelijk zijn. Voor de berekeningen van de kansen wordt gebruik gemaakt van het ECMWF EPS, maar het systeem kan met kleine aanpassingen ook geschikt gemaakt worden voor het gebruik van andere EPSen. Alle voorbeelden zijn gebaseerd op Nederland en hebben bijna allemaal betrekking op weerparameters aan de grond. Het systeem kan gemakkelijk uitgebreid worden met meer (hoogte)parameters. Het rapport sluit af in het vierde deel met een samenvatting en een discussie hoofdstuk.

2. Eisen waaraan een (early) warning systeem moet voldoen

In dit hoofdstuk wordt een aantal min of meer triviale eisen opgesomd, en in het kort toegelicht, waaraan een early warning system in ieder geval zou moeten voldoen. Deze zijn uitgangspunt geweest voor de ontwikkeling van het PASCAL-systeem. Zie voor meer informatie WMO 2012.

a. eenduidige definitie van events

Allereerst moet uiteraard duidelijk zijn voor welke events gewaarschuwd dient te worden. De events hebben meestal betrekking op (relatieve) extremen in meteorologische condities, zoals hoeveelheid en intensiteit (e.g. neerslag), windkracht, aantal bliksemontladingen, etc, en vaak ook zijn het combinaties van meerdere meteorologische condities die het event karakteriseren. Daarnaast is de duur van de onwenselijke situatie van belang. Deze events moeten, liefst lang van tevoren, op een eenduidige manier beschreven (gedefinieerd) en vastgelegd zijn volgens het zgn. *mece*-principe (*mutually exclusive and collectively exhaustive*; Murphy and Staël von Holstein, 1975; Wilks, 2011). Dit principe houdt in dat van iedere denkbare situatie het duidelijk is of die wel of niet tot het bedoelde event behoort². Zonder strikte definitie van de events is het niet mogelijk om objectieve verwachtingssystemen te maken die de kans van optreden optimaal bepalen, laat staan te verifiëren. Termen als “plaatselijk” of “op grote schaal” zijn zonder precieze definitie dan ook niet toegestaan.

Door lang van tevoren zoveel mogelijk mogelijke events te definiëren wordt bovendien in de hectiek van een naderend event geen kostbare tijd verloren (zie c.).

b. gebruik makend van de beste gegevens

Om voor de onder a. gedefinieerde events waarschuwingen te kunnen genereren zal gebruik gemaakt moeten worden van de beste beschikbare modellen en relevante waarnemingen. Dit kunnen op verschillende uren van de dag andere modellen of waarnemingen zijn. Bijvoorbeeld bij de keuze tussen het beste model dat 4 x daags draait en het kwalitatief net iets mindere dat 8x per dag draait, of omdat de hoeveelheid en soort waarnemingen niet gelijk zijn op iedere tijd van de dag. Tenslotte kan voor sommige events het beste model een gidsverwachting zijn die is gebaseerd op statistische nabewerking van de modeloutput eventueel aangevuld met recente waarnemingen, zoals bij het KOUW-verwachtingssysteem voor zwaar onweer (Schmeits et al., 2008). Bij het ontbreken van de gewenste modelvariabelen kan gezocht worden naar geschikte proxies.

² Dit wil uiteraard niet zeggen dat van een *opgetreden* situatie altijd duidelijk is of het aan de definitie van het event voldoet. Zie Kok (2005) hoe hiermee bijvoorbeeld in de verificatie omgegaan dient te worden.

c. *zo spoedig mogelijk*

Juist bij (dreigende) gevaarlijk weer events is het cruciaal dat een waarschuwing zo snel mogelijk (“early” warning) gegeven kan worden. In dat geval hebben gebruikers maximaal tijd om desgewenst maatregelen te treffen. Dit houdt vaak in (zie ook hoofdstuk 6) dat al bij een relatief lage kans gewaarschuwd moet worden (niet wachten op ‘zekerheid’); het zijn juist de low probability – high impact gevallen die het belangrijkste zijn in veel beslissingsproblemen (Palmer, 2002). Hierbij helpt het als alle mogelijke (te voorziene) events al vastgelegd zijn op een eenduidige, *mece*, manier (zie onder a.), en dat voor al deze events, liefst automatisch, first guess verwachtingen gegenereerd worden. Deze zouden bij overschrijding van bepaalde, vooraf vastgelegde, drempels (eventueel) rechtstreeks naar gebruikers gezonden kunnen worden (zoals bij het waterschapssysteem, Kok et al., 2011a), en in ieder geval ter alertering en ondersteuning naar de meteorologen op dienst. Zodra nieuwe modeluitvoer of relevante waarnemingen beschikbaar komen volgt automatisch een update.

d. *gekwantificeerde onzekerheidsinformatie*

Verwachtingen zijn alleen nuttig (hebben *waarde*) als ze gebruikt worden om er beslissingen op te baseren (Murphy 1993, 1994). Dit geldt nog sterker voor waarschuwingen. Onzekerheid is een inherent en essentieel onderdeel van iedere verwachting en biedt in kwantitatieve zin, bij voorkeur in de vorm van kansen (e.g. Morss et al., 2008), potentieel veel meer waarde voor gebruikers (en voor veel meer gebruikers) dan categorische of deterministische verwachtingen (e.g. Brier, 1950; Thompson, 1952; Murphy, 1977; 1991; 1993; Ramos et al., 2013). Ook in praktijk experimenten met gebruikers is de toegevoegde waarde van onzekerheid de laatste decennia veelvuldig aangetoond, o.a. door Roulston et al. (2006), Roulston and Kaplan (2009) en Joslyn and LeClerc (2012). Voor de bepaling van de onzekerheid kan gebruik gemaakt worden van EPSen, of van statistische post-processing technieken, desgewenst aangepast door forecasters³. Waarschuwingen louter in de vorm van kleurcodes (geel, oranje, rood, e.d.), zijn in wezen ‘categorisch’ en hebben dus beperktere waarde.

e. *goede communicatie*

Zonder goede communicatie kan een goede verwachting of waarschuwing weer teniet worden gedaan.

Communicatie naar gebruikers behelst veel facetten, in te delen o.a. naar vorm en inhoud. We beperken ons hier tot de inhoudelijke, meteorologische onderdelen⁴. Naast het precieze fenomeen (i.e. *mece* gedefinieerd, zie onder a.) waarvoor gewaarschuwd wordt en de verwachte *time until impact*, moet in ieder geval ook de onzekerheid of betrouwbaarheid gecommuniceerd worden, bij voorkeur in de vorm van kansen. “Geen verwachting is compleet zonder bijbehorende informatie over de onzekerheid van die verwachting” volgens Tennekes et al. (1987) en de National Research Council (NRC 2003 en 2006). Sinds Cooke (1906) en waarschijnlijk al veel eerder (zie Murphy, 1998) wordt hier al voor geijverd. Cooke geeft ook al suggesties in welke termen de onzekerheid gecommuniceerd zou kunnen worden. Informatie over de betrouwbaarheid biedt niet alleen veel toegevoegde waarde en leidt tot betere weather-related beslissingen⁵, maar ook tot meer vertrouwen in de provider van die verwachtingen (LeClerc and Joslyn, 2012). Uiteraard kan met specifieke gebruikers afgesproken worden om daarnaast (en niet in plaats van) een kleurcode te gebruiken als een afgesproken kansdrempel overschreden wordt.

³ Ook de subjectieve kansschattingen van forecasters hebben skill (zie e.g. Daan and Murphy, 1982; Murphy and Daan, 1984) en hebben in potentie dus toegevoegde waarde.

⁴ Communicatie over mogelijke impact is misschien nog een grotere uitdaging.

⁵ Forecast-related beslissingen is misschien een betere term.

3. Maten voor de kwantificering van onzekerheidsinformatie

Er bestaan veel bronnen van onzekerheid. Meestal wordt onderscheid gemaakt tussen *aleatorische* en *epistemische* onzekerheid (e.g. Beven, 2016, Kox et al., 2015). De eerste betreft onzekerheid die voortkomt uit het stochastische karakter (variabiliteit) van het fenomeen dat men beschrijft. Epistemische onzekerheid omvat het tekort of het gebrek aan data en kennis (inclusief de ‘unknown unknowns’) of onvoldoende precisie in de modellering. Het aleatorische deel is in het algemeen kwantificeerbaar, bijvoorbeeld door middel van een EPS. Het andere deel niet, maar kan op termijn wel verkleind worden door meer kennis, een hogere model resolutie, betere parametrisaties, e.d.. De in de meteorologie gebruikelijke en berekende onzekerheid betreft de aleatorische onzekerheid en is dus conditioneel aan de representatie van het fenomeen in een bepaalde modelstructuur en parametrisaties. Het aandeel van deze conditie op de totale onzekerheid van het optreden van het beschouwde fenomeen is niet te kwantificeren en wordt meestal genegeerd. Een (subjectieve) verdiscontering van de known unknowns door forecasters biedt potentieel toegevoegde waarde.

We beperken ons in het hele rapport tot de aleatorische onzekerheid.

De onzekerheid behorend bij een verwachting of waarschuwing kan o.a. gekwantificeerd worden in termen van over- of onderschrijdingskansen, betrouwbaarheidsintervallen en (minder vaak voorkomend) odds ratios.

a. Over- of onderschrijdingskansen

Deze kansen (meestal uitgedrukt in percentages) kunnen in het algemeen verdeeld worden in 4 ‘soorten’.

- Allereerst zgn. *puntkansen*, p_j , i.e. kansen voor 1 locatie j (of gridbox) en voor 1 tijdstip of vast tijdsinterval. Voorbeelden zijn de ECMWF pluimplots en de meeste standaard kanskaartjes. In formule:

$$p_j(q) = EP_j(q) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M B_{jm}$$

met B_{jm} een binair getal dat 1 of 0 is als een ensemble lid m wel resp. niet voldoet aan de conditie(s) q op locatie j . EP staat voor Ensemble Probability (Schwartz et al., 2010). Als het aantal ensemble leden M gelijk is aan 1 ontstaat de deterministische variant met puntkans 1 of 0.

- Door het gemiddelde te nemen van de puntkansen van een aantal naburige (grid)punten krijg je de *average point probability* of *gebiedsgemiddelde kans (area averaged probability)*:

$$\bar{p}_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N EP_j$$

met N het aantal gridpunten j in het gedefinieerde gebied. De drempel q is hier weggelaten. Deze grootheid wordt ook wel *neighborhood ensemble probability* (NEP, Schwartz et al., 2010) genoemd en is equivalent aan de verwachte gebiedsbedekking, de (*unconditional*) *areal coverage* (Curtiss (1968) en Winkler and Murphy (1976)). Dit is als volgt in te zien.

$$\bar{p}_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M B_{jm} =$$

$$= \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N B_{jm} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M C(m)$$

met $C(m)$ de coverage (bedekking, in fractie van het gegeven gebied) van ensemble lid m . Er geldt dus:

$$\bar{p}_j = \bar{C}_u$$

waarbij \bar{C}_u de gemiddelde coverage is over de ensemble leden (en \bar{p}_j gemiddeld over de punten).

De unconditional coverage is feitelijk geen kansverwachting maar een categorische omdat het geen uitspraak doet over de onzekerheid. Nog een andere voorkomende naam voor de gebiedsgemiddelde kans is dan ook de *fractional coverage of threshold exceedance* binnen een neighborhood.

De \bar{p}_j (ofwel NEP) wordt vaak gebruikt als maat voor de (punt)kans in het centrale punt. Deze methode werd door Theis et al. (2005) gebruikt om probabilistische informatie te extraheren uit de output van een deterministisch model in een aantal omgevingspunten. Dit wordt ook wel een *pseudo ensemble* genoemd. De middeling (of smoothing) van de kansen in het gebied leidt tot verandering van de kansverdeling van de verwachtingen. Hoe groot het gebied moet zijn waarin de kansen gemiddeld worden hangt af van de atmosferische circulatie en de lead time⁶. Voor een overzicht van neighborhood methoden waarin de spatiële en / of temporele onzekerheid verdisconteerd wordt, wordt verwezen naar Ebert (2008).

- Als derde de *gebiedskans* (*area probability*, p_A), de kans dat *ergens binnen een gebied* voldaan wordt aan de conditie(s).

$$p_A = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \max_{j \in A} B_{jm}$$

met M het aantal ensemble leden en j een index voor de gridpunten binnen het gebied A .

Deze kans wordt soms ook wel ook *neighborhood maximum ensemble probability* genoemd (NMEP, Schwartz et al., 2017). De gebiedskans is per definitie groter of gelijk aan de maximale puntkans in het gebied.

- Tenslotte, de *event probabilities*, of algemener: de kans dat een event optreedt *ergens in een tijdsinterval*. De kansen “ergens in een tijdsinterval” worden in dit rapport *windowkansen* genoemd en *event probabilities* als beoogd wordt dat het hele event binnen het window gevangen wordt. De event probability is in dat geval gelijk aan het maximum van de windowkansen.

In deze categorie vallen ook de situaties dat het event *ergens in een tijdsinterval én ergens in een gebied* optreedt, i.e. voor de bepaling van de kans wordt een bepaalde vrijheid in tijd én in plaats toegestaan. Deze categorie wordt in de literatuur soms wel *upscaling* genoemd (e.g. Ben Bouallègue and Theis, 2014) omdat de ruimtelijke en/of tijdschaal vergroot worden.

Gebiedskansen en (time)windowkansen zijn deels uitwisselbaar. Bij situaties waarbij buien ‘random’ voorkomen of bij een overtrekkend neerslagfront benadert de windowkans de

⁶ Blake et al. (2018) hebben aangetoond dat een adaptieve grootte van de neighborhood, bijv door gebruik te maken van de Ensemble Agreement Scale (Dey et al., 2016), een betere reliability oplevert dan puntkansen en dan NEP met een vast gekozen neighborhood.

(instantane) gebiedskans mits het tijdwindow groot genoeg is en er in het tijdwindow niet veel evolutie in de meteorologische situatie plaats vindt.

Behalve de puntkansen kunnen de andere 3 ‘soorten’ kansen gezien worden als een vorm van post-processing. Het PASCAL-systeem levert voor alle roosterpunten in het gedefinieerde gebied de puntkansen, en voor het gebied als geheel de gebiedskans en de area averaged kans. Dit desgewenst in een tijdwindow; in dat geval zijn de puntkansen dus windowkansen, en p_A en \bar{p}_j geven dan de p_A en \bar{p}_j binnen het tijdwindow. Bestaat het gebied uit 1 punt dan zijn EP, p_A en \bar{p}_j aan elkaar gelijk.

De verhouding tussen \bar{p}_j en p_A geeft belangrijke informatie over de uitgestrektheid (coverage) van het fenomeen (gedefinieerd door conditie(s) q) binnen het betreffende gebied. Dit is als volgt in te zien.

$$\begin{aligned}\bar{p}_j &= \frac{1}{NM} \sum_{m=1}^M \left(\sum_{j=1}^N B_{jm} \right) \\ &= \frac{1}{NM} \sum_{m_0=1}^{M_0} N C_{m_0}\end{aligned}$$

waarbij m_0 alleen die ensemble leden zijn met ergens in het gebied een roosterpunt j waar $B_{jm} = 1$ (i.e. de ‘niet-nul’ ensemble leden). M_0 is het totale aantal van die leden en C_{m_0} de coverage van ensemble lid m_0 , i.e. de fractie van het gebied met $B_{jm_0} = 1$.

$$\bar{p}_j = \frac{1}{M} M_0 \bar{C}_c = p_A \cdot \bar{C}_c$$

Hierin is \bar{C}_c de gemiddelde coverage van het gebied waarbij gemiddeld is over de leden waar ten minste 1 punt aan het gegeven criterium (of criteria) voldoet. Dit wordt ook wel de *conditional expected areal coverage*, of kortweg *conditional coverage*, genoemd (vandaar subscript c). Deze bedekkingsmaat is uiteraard altijd groter of gelijk aan de unconditional bedekkingsgraad (i.e. $\bar{C}_c \geq \bar{p}_j = \bar{C}_u$). Bovenstaande relatie is voor het eerst beschreven door Hughes (1965). Tevens geldt dus

$$p_A = \frac{\bar{C}_u}{\bar{C}_c} \quad (\text{mits } \bar{C}_c \neq 0)$$

De uitvoer van het PASCAL-systeem levert de area averaged probability (unconditional coverage) en de area probability in dezelfde grafiek (zie paragraaf 8.0) en de verhouding van die 2 geeft dus de conditionele coverage.

b. Onzekerheidsbanden / interval forecasts

‘Onzekerheidsbanden’ worden in de uitvoer van ensemble prediction systems gewoonlijk gerepresenteerd door middel van een 2-tal percentielen gecentreerd rond de mediaan voor individuele, continue grootheden. Vaak zijn dat de 25 en 75% percentielen, soms uitgebreid met de 10 en 90% percentielen en de mediaan (zie de KNMI-pluimplots). De intervallen tussen de percentielen, ook wel (*central*) *credible intervals* genoemd, geven de range aan van de betreffende grootheid met als bijbehorende kans het verschil tussen de procentwaarden van de

percentielen⁷. De intervallen hebben de dimensie van de grootheid en kunnen dus niet berekend worden voor combinaties van elementen. Daarnaast is het (per definitie) niet mogelijk credible intervals te geven voor discrete of nominale grootheden.

Het PASCAL-systeem voorziet in de berekening van willekeurige percentielen voor ieder beschikbaar element, waarop desgewenst allerlei bewerkingen zijn uitgevoerd, zoals gebieds- of tijdsgemiddelden, maximum en minimum in een gebied, tijdwindows en combinaties hiervan.

c. *Odds ratio*

Waarschuwingen voor gevaarlijk weer dienen ruim van tevoren uitgegeven te worden om gebruikers in staat te stellen voorzorgsmaatregelen te treffen. Maar voor langere forecast tijd is de onzekerheid van optreden van het event in het algemeen groot en is de verwachte kans noodzakelijkerwijs relatief laag hetgeen een negatief effect heeft op de bereidheid tot het nemen van actie (e.g. Demeritt et al., 2007, Kox et al., 2015). Dit terwijl lage kansen een belangrijke signaalfunctie hebben (WMO, 2012) en veel waarde hebben voor gebruikers (zie verder hoofdstuk 6). Een mogelijke oplossing hiervoor is om de waarschijnlijkheid uit te drukken ten opzichte van de klimatologische kans (e.g. “de kans is x maal groter dan de klimatologische kans”). Een nog grotere overtuigingskracht, namelijk een nog hoger getal, levert de odds ratio die veel in Engelstalige landen gebruikt wordt (Murphy, 1991; LeClerc and Joslyn, 2012). Dit getal is de verhouding tussen de forecast odds (i.e. kans op optreden gedeeld door kans op niet-optreden) en de klimatologische odds. Dit getal is in het algemeen hoger dan de verhouding tussen verwachte en klimatologische kans, en is hoger naarmate het fenomeen zeldzamer is:

$$\text{Odds Ratio} = \frac{\text{Forecast Odds}}{\text{Climatological Odds}} = \frac{p}{\pi} \frac{1 - \pi}{1 - p}$$

waarbij p en π resp. de forecast en klimatologische kansen zijn.

Omdat de klimatologische (gebieds- en/of window)kansen voor veel (combinaties van) weer-elementen niet beschikbaar is, zijn odds ratios niet beschikbaar in het PASCAL-systeem.

Daarnaast vonden Morss et al. (2008) dat onzekerheid uitgedrukt in kansen door niet-meteorologisch onderlegde gebruikers geprefereerd werd boven die in odds ratios.

4. Overwegingen bij de keuze van het soort onzekerheidsinformatie

In dit hoofdstuk worden enkele overwegingen gegeven die kunnen helpen bij de keuze welk soort onzekerheidsinformatie het beste gebruikt kan worden. Deze keuze welke kans in welke situatie te gebruiken wordt belangrijker naarmate de resolutie van het gebruikte model hoger is.

(gebiedsgemiddelde) puntkansen

Is men geïnteresseerd in de kans op een event op één specifieke plaats en één tijd dan ligt een puntkans waarschijnlijk het meest voor de hand. Betreft het echter een kleinschalig fenomeen bij een wat hogere lead time dan levert een area averaged probability een wat betere kansschatting voor die plaats op. Verwachtingen voor naburige roosterpunten kunnen namelijk,

⁷ NB. Een forecast zoals “de temperatuur varieert tussen x graden in het zuiden tot y graden in het noorden” is geen credible interval forecast.

onder bepaalde voorwaarden, gezien worden als mogelijke realisaties voor één roosterpunt⁸. Bijvoorbeeld bij een 50 leden tellend ensemble krijg je dan bij een gebied bestaande uit 3 roosterpunten in totaal 150 (uiteraard niet onafhankelijke) verwachtingen voor hetzelfde fenomeen. Op deze manier wordt de kansverdeling beter ‘gesampled’ (de pdf wordt door meer ensemble leden gevuld). In het algemeen geldt dat hoe lager de voorspelbaarheid is hoe meer ensemble leden nodig zijn om maximale skill te krijgen (Richardson, 2001). Voorwaarde is wel dat de (rooster)punten waarvan de ensemble leden samen genomen worden meteorologisch en geografisch gezien min of meer gelijksoortig zijn; bij wind of neerslag moeten geen landpunten samengevoegd worden met kust- of zeepunten. De keuze van area averaged kansen (\bar{p}_j) boven puntkansen (p_j) hangt dus af van de lead time, gridboxgrootte en de schaalgrootte van het fenomeen (m.n. van de verhouding tussen die laatste twee). Bij grootschalige fenomenen zijn deze kansen vrijwel gelijk.

windowkansen en event probabilities

Is het precieze tijdstip voor het optreden van een event minder belangrijk maar wèl of het binnen een bepaald tijdsinterval optreedt (e.g. vanavond, of komend weekend) dan ligt het gebruik van een windowkans voor de hand, met een window ter grootte van het beoogde tijdsinterval. Verschillende ensemble leden kunnen het event immers op andere forecasttijden verwachten. Is het beoogde interval klein en / of de lead time groot dan kan om dezelfde reden als hierboven overwogen worden ook omgevingspunten in de windowkans te betrekken, leidend tot een area averaged windowkans.

Maar in veel gevallen is men geïnteresseerd in de *event probability*. Dit is de kans dat het event optreedt ongeacht de precieze tijd en soms zelfs ongeacht de precieze plaats. In dit geval moet uiteraard ook een tijdwindow gekozen worden, dat afgestemd moet zijn op de grootte en duur van het event en in overeenstemming moet zijn met de voorspelbaarheid als functie van de lead time. De event probability is dan gelijk aan het maximum van de opeenvolgende windowkansen in de tijd. Bij waarschuwingen voor extreem of gevaarlijk weer gaat het vrijwel altijd om event probabilities.

In de praktijk zijn windowkansen dus in vrijwel alle gevallen te prefereren boven kansen op 1 tijdstip, met een window die voor erg korte lead times gelijk kan zijn aan de tijdsresolutie van het model maar snel groter wordt met toenemende forecasttijd. Bovendien geldt dat de skill van een windowkans groter is dan de skill van de kansen op tijdstippen binnen het time window.

time until (hazard) impact

Windowkansen hebben nog een andere belangrijke toepassing. Bij het berekenen van de event probability geven de windowkansen namelijk rechtstreekse informatie over de verwachte tijdsduur vóóordat het event optreedt. Deze “*time until (hazard) impact*” is belangrijk voor het kunnen treffen van voorzorgsmaatregelen, en is een onmisbaar onderdeel in een cost-loss analyse (zie hoofdstuk 6) en dus voor de bepaling van de waarde van een waarschuwing. Deze verwachte duur is uiteraard weer probabilistisch en wordt in PASCAL uitgedrukt in aantal hele uren vanaf het laatste hele uur sinds de start van de PASCAL-run. De kansverdeling van de time until impact is equivalent met die van de *time of onset*, i.e. de tijd (bijv. in UTC) wanneer het event begint. Deze is rechtstreeks af te lezen in de kansplots.

⁸ De sub-grid variabiliteit is in veel weersituaties minstens van de orde van grootte als de variabiliteit tussen naburige gridboxen (Göber et al., 2008).

Het verband tussen windowkansen en de kansverdeling van time until impact is als volgt in te zien. We beschouwen vanaf $t = t_0$ (t is tijd) de windowkans op een bepaald event waarbij de windowkans gepresenteerd wordt op het laatste uur van het window. Zolang bij toenemende (forecast)tijd die kans gelijk aan 0 is, is de kans 100% dat het event niet optreedt. Zodra bij $t = t_1$ de kans ongelijk aan 0 is, zeg p_1 , dan is de kans dat in de tijd $(t_1 - t_0)$ het event niet optreedt $1 - p_1$. Analoog geldt dat de kans dat het event uitblijft tot $t = t_2$ gelijk is aan $1 - p_2$ (waarbij even aangenomen is dat $p_2 > p_1$). De afname in kans bij ieder volgend uur (until impact) wordt dus gegeven door het increment per tijdstap van de windowkansen (en niet van dat van de instantane kans!). De (cumulatieve) kansverdeling van de time until impact (i.e. van $t - t_0$) is dus gelijk aan $1 - \text{windowkansen}(t)$, en loopt tot aan het maximum van de windowkansen. Een afnemende windowkans betekent dat er ensemble leden zijn waarin het event al voorbij is.

gebiedskansen

Gebiedskansen (i.e. de kansen dat het event ergens in het gebied optreedt) worden veelal gekozen bij gevaarlijk weer events maar ook bij kleinschalige fenomenen als mist(banken) en onweer. De gebiedskans is in het algemeen groter dan de gemiddelde puntkans in het gebied en mede hierdoor zijn er vaak betere verwachtingsmethoden voor beschikbaar (e.g. Schmeits et al., 2008). Gebiedskansen worden bij hogere lead times vaak gebruikt ter alertering van een mogelijk event, waarbij de precieze locatie minder belangrijk is of waarvoor de voorspelbaarheid voor kleine schalen te gering is. Bij kortere lead times kunnen kleinere gebieden genomen worden. Vaak echter wordt de grootte en de vorm van het gebied bepaald door wensen van de (beoogde) gebruiker(sgroep). In het algemeen neemt het nut voor een individuele gebruiker af bij toenemende grootte van het gebied. Individuele gebruikers zijn in het algemeen meer gebaat bij (gebiedsgemiddelde) puntkansen of windowkansen.

De verhouding tussen gebiedskans en gebiedsgemiddelde kans is in het algemeen groter naarmate de schaal van het event (binnen het gebied) kleiner is en ook naarmate het event extremer is. Door ze beide te presenteren kan hiervan een indruk verkregen worden (zie de voorbeelden in hoofdstuk 8).

Vooralsnog wordt er weinig gebruik gemaakt van kansen op een event *ergens in een gebied* in combinatie met *ergens in een tijdsinterval*, hoewel dat juist bij kleinschalige en kortdurende fenomenen meerwaarde kan opleveren. Dergelijke fenomenen kunnen het ene uur in een deel van het gebied voorkomen in een deel van de ensemble leden, en het volgende uur in een ander deel van het gebied in andere leden, waardoor de gebiedskans in dit tijdwindow (maximaal) de som kan zijn van de gebiedskansen voor de afzonderlijke uren. Systemen die hier wél gebruik van maken zijn die voor de dag 2 tot dag 5 waarschuwingen t.b.v. MeteoAlarm, en die voor de waarschuwingen t.b.v. de second opinion voor ProRail (resp. Appendices C en D). Het belang van zo'n upscaling (in ruimte en tijd) wordt groter naarmate de resolutie van modellen toeneemt.

intervalkansen

Interval forecasts (pluimen), tenslotte, hebben als voordeel dat er geen keuze gemaakt hoeft te worden wat betreft de (fysieke) drempelwaarde die van belang is voor de individuele gebruiker, en zijn daarom voor een bredere gebruikersgroep van waarde (Murphy and Winkler, 1974; Joslyn et al. 2013; Grounds et al. 2017). Ze zijn ook prima geschikt bij de verwachtingen voor extreme weerfenomenen omdat ze meer informatie verschaffen over de totale kansverdeling dan 'alleen' een overschrijdingskans (e.g. Peterson et al., 1972). Dit geldt nog sterker als die kansverdeling predictands betreft in tijdwindows en / of gebieden (zie ook paragraaf 8.12).

gebiedsgrootte als extra criterium

Vaak wordt pas overgegaan tot het uitgeven van een waarschuwing als verwacht wordt dat een grote groep (e.g. het “algemene publiek”) last zal krijgen van het weer. Met andere woorden, niet de heftigheid of gevaarlijkheid van het weer is leidend maar de potentiële impact of zelfs het gevaar op maatschappij ontwrichting. Dit vertaalt zich vaak in een extra criterium over de grootte van het bedreigde gebied. Dat gebied moest bijvoorbeeld bij de KNMI-weeralarmsystematiek tenminste “een standaard gebiedsgrootte” (SGG) hebben. Deze was gedefinieerd als een gebied van 50 bij 50 km of een coherente band (is niet *mece* gedefinieerd) van tenminste 50 km lengte.

In PASCAL is het extra gebiedscriterium gemakkelijk te toetsen aan de hand van de (unconditional) coverage die automatisch bepaald wordt bij het gebruik van een gebiedskans (zie ook paragraaf 8.0). Door nu het alert niet te baseren op de andere, fysische, condities (i.e. op de gebiedskans) maar op de coverage dan wordt het gebiedscriterium automatisch verdisconteerd. Weliswaar is de coverage de percentuele bedekking van het opgegeven gebied en is dus niet een oppervlakte, maar als de grootte van het gebied bekend is kan gemakkelijk een drempelwaarde voor de coverage uitgerekend worden om als criterium ingesteld te worden. Deze drempelwaarde van de coverage (i.e. een *percentage*) neemt hiermee de functie over van de *kansdrempel* die gebruikelijk is in alle risicoprofielen zonder gebiedsgrootte criterium. De coverage beschrijft niet een aaneengesloten deel van het gebied, laat staan een coherente band. Het is een gemiddelde over alle ensemble leden en zegt dus ook niet of een vast deel (vaker) aangedaan wordt en het resterende deel (vrijwel) niet. De uitvoer van PASCAL geeft voor dit laatste nog wel enige informatie (paragraaf 8.0).

Door de gebiedskans te combineren met een time window wordt de coverage gelijk aan het totale percentage van het gebied dat aangedaan wordt in de uren van het tijdvenster.

Bij alle risicoprofielen die betrekking hebben op gebieden (meer dan 1 roosterpunt) kan een gebiedsgrootte criterium op dezelfde manier als boven toegepast worden.

DEEL II

In dit deel wordt in hoofdstuk 5 een kort overzicht gegeven van de functionaliteit van het PASCAL-systeem. In hoofdstukken 6 en 7 wordt op een aantal onderdelen dieper ingegaan; deze kunnen desgewenst overgeslagen worden.

5. Korte beschrijving van het PASCAL-systeem

5a. Hoofdcomponenten

Aspecten zoals die in de vorige hoofdstukken beschreven zijn hebben geleid tot een configuratie van het waarschuwingssysteem zoals die in dit deel in het kort beschreven wordt.

Het PASCAL alertstelsel bestaat uit 3 hoofdcomponenten (Fig. 5.1). Allereerst moeten de situaties waarvoor eventueel gewaarschuwd moet worden zo goed mogelijk gedefinieerd worden en vertaald worden in modelcriteria die hiervoor zo goed mogelijke verwachtingen kunnen genereren. Deze criteria worden vastgelegd in zgn. *risicoprofielen* waarin, gecodeerd, de kritische drempelwaarde(n) staan van de relevante meteorologische elementen (incl. wateropzet), de kansdrempel waarboven en de tijd van te voren waarop gewaarschuwd dient te worden. Ze kunnen bestaan uit een doorsnee en / of vereniging van verschillende subcondities (*subprofielen*) die tezamen de kritische situatie zo goed mogelijk beschrijven. De bepaling van de risicoprofielen kan gebaseerd zijn op een intuïtieve schatting maar kan ook gebaseerd zijn op een uitgebreide weather sensitivity analysis (WSA) ter bepaling van de kwetsbaarheid van het betreffende lijdend voorwerp, en op een cost-loss (C-L) analyse ter bepaling van de kansdrempel waarboven het profijtelijk is voorzorgmaatregelen te treffen. Hier wordt uitgebreid op ingegaan in hoofdstuk 6.

De waarschuwingstijd is meestal zo gekozen dat bij een waarschuwing (alert) er nog genoeg tijd is om de gewenste voorzorgmaatregelen te treffen, maar niet vroeger dan nodig om maximaal te kunnen profiteren van de toenemende skill (bij kortere lead times) van de gebruikte meteorologische informatie.

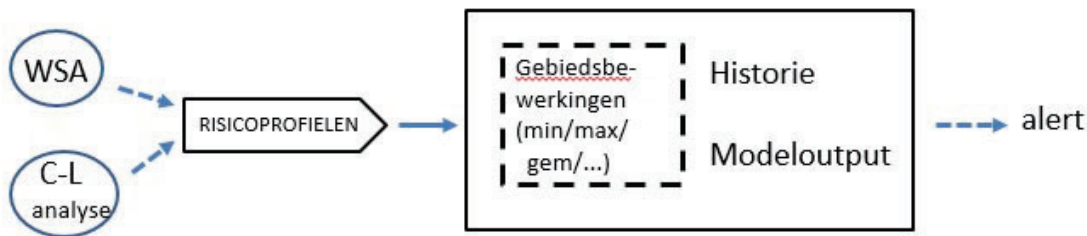


Fig. 5.1 Hoofdcomponenten van het PASCAL-systeem. De eerste component bestaat uit de risicoprofielen, al of niet bepaald door middel van een weather sensitivity analysis (WSA) en / of cost-loss analyse. De tweede component betreft de keuze van het (de) model(len) waarmee de profielen getest worden incl. de eventuele gebiedsbewerkingen. De laatste component is het alert dat volgt als voldaan is aan tenminste een van de profielen.

De tweede component bestaat uit de meteo informatie (verwachtingen en eventueel recente waarnemingen) waarmee de risicoprofielen getoetst worden. Hierin wordt de keuze van het (de) model(len) vastgelegd: alleen een deterministisch model of alleen een probabilistische model, of een deterministisch model voor het begin van de forecast range gevolgd door een (ander) deterministisch of probabilistisch model voor het laatste deel. Hier wordt ook vastgelegd of de modelinformatie eerst nog een gebiedsbewerking (en welke) moet ondergaan alvorens de risicoprofielen er op toegepast moeten worden. De voorlopige lijst met bewerkingen bestaat uit

het gemiddelde, maximum en minimum in een willekeurig te specificeren gebied. In de operationele toepassing vindt de toetsing plaats met de meest recente modelinformatie en (desgewenst) neerslaghistorie en kan bijvoorbeeld uurlijks plaatsvinden of zodra er nieuwe informatie beschikbaar komt.

Als de toetsing aangeeft dat het criterium overschreden wordt dan kan er een alert uitgegeven worden door middel van een emailverzending, waarschuwingscode op internet of anderszins, vergezeld van de berekeningen die leidden tot het alert en de informatie over de onzekerheid, zowel in tekst als in een kansplot als functie van de voorspeltijd. Voorbeelden van de kansplots worden gegeven in deel III.

In de volgende 2 paragrafen wordt nader ingegaan op de eerste 2 componenten van het systeem.

5b. Risicoprofielen

Risicoprofielen bevatten de informatie (modelinstructies) die het betreffende fenomeen (of combinatie van fenomenen) zo goed mogelijk beschrijven (kunnen dus ook proxies zijn), hoe lang van tevoren er bij voorkeur gewaarschuwd moet worden, i.v.m. de responstijd die nodig is om voorzorgsmaatregelen te treffen, en tenslotte bij welke zekerheid (kans) er gewaarschuwd moet worden. Zo'n kanspercentage is idealiter gebaseerd op een zgn. cost-loss analyse waarbij de kosten (costs) ter voorkoming of vermindering van de schade vergeleken worden met de verliezen (losses) die optreden door het (extreme) weer als er geen voorzorgsmaatregelen getroffen zijn (Bilham, 1922; Bijvoet en Bleeker, 1951; Katz and Murphy, 1997; Richardson, 2000). Is de kans hoger dan de gevonden kansdrempel dan is het profijtelijk om actie te ondernemen. Een cost-loss analyse zou idealiter voor iedere gebruiker en voor ieder beslisprobleem uitgevoerd moeten worden. Zie verder hoofdstuk 6c.

Een risicoprofiel mag bestaan uit een willekeurig aantal (voorlopig gezet op maximaal 70) subcondities waarbij per subconditie aangegeven wordt of deze de vereniging dan wel doorsnede is met het voorgaande subcriterium of met het voorgaande blok van subcriteria. Het aantal risicoprofielen dat met PASCAL onderzocht kan worden is vrijwel onbeperkt. De dagen of perioden in het jaar waarin het risicoprofiel (al of niet automatisch) getoetst moet worden zijn op te geven in hele dagen.

Diverse bewerkingen op de modelgrootheden zijn mogelijk, zoals sommen of gemiddelden over een willekeurig aantal uren (e.g. intensiteiten). Per subprofiel kan een willekeurige time window opgegeven worden en over de combinatie van de subprofielen desgewenst nog een aparte ('overall') time window. Bij een time window wordt gekeken of het criterium resp. de combinatie van criteria optreedt op een van de uren binnen het time window. Bestaat het risicoprofiel uit 1 criterium dan is het effect van een time window voor het criterium gelijk aan dat van het overall window. De eigenschappen van en de toegestane bewerkingen in de (sub)profielen staan samengevat in Tabel 5.1. Er zijn geen beperkingen wat betreft de combinaties van de bewerkingen binnen een (hoofd)profiel. De subprofielen worden altijd op dezelfde tijden en model(len) toegepast. Daarom is bijvoorbeeld de combinatie van een conditie op de deterministische run en een op een ensemble binnen 1 risicoprofiel niet toegestaan.

Binnen het PASCAL-systeem is het mogelijk om willekeurige percentielen van modelgrootheden te bepalen, waarvan desgewenst eerst het gemiddelde, minimum of maximum bepaald is over willekeurige uren en op willekeurige gebieden. De percentielen zijn te definiëren in het risicoprofiel. Er is echter geen alertfunctie gekoppeld aan de waarde van de percentielen.

algemene eigenschappen van de risicoprofielen

profielen worden berekend t.o.v. laatste hele uur voor de start van PASCAL
periode in het jaar waarvoor profielen gelden is vrij te kiezen (in hele dagen) willekeurig aantal perioden
profiel mag combinatie zijn van groot aantal condities (genaamd 'subprofielen') e.g. coincidenties
profielen mogen bestaan uit vereniging of doorsnede van willekeurig aantal (blokken van) (sub)condities
naast een tijdwindow voor subprofielen kan per (hoofd)profiel ook een 'overall' tijdwindow aangegeven worden waaraan het totaal aan subprofielen moet voldoen

mogelijke bewerkingen in de (sub)profielen

zowel overschrijdingskansen als onderschrijvingskansen (bijv. kans op droogte)
hiermee ook kansen op intervallen (bijv. kans op temperaturen tussen +2 en -2 graden)
kansen in een tijdwindow (kansen dat er ergens in een periode aan conditie voldaan wordt)
sommen en gemiddelden over aantal uren; dus ook intensiteiten (bijv. meer dan 10mm / 5 uur) dus bijv. ook pieken in een tijdwindow
duur dat aan criterium (criteria) voldaan wordt
meerdaagse events (e.g. hittegolf, hitteplan)

Tabel 5.1. Overzicht van de algemene eigenschappen van het systeem (boven) en van de toegestane bewerkingen in de (sub)profielen.

De karakteristieken en bewerkingen uit Tabel 5.1 kunnen toegepast worden op 1 punt (leidend tot puntkansen) maar ook op gebieden (leidend tot gebieds- en gebiedsgemiddelde kansen), en ook op bewerkingen toegepast op de gebieden, e.g. op het gemiddelde of het maximum van een gebied.

Op de overwegingen die belangrijk zijn voor de bepaling van de risicoprofielen voor professionele gebruikers en voor het algemene publiek wordt nader ingegaan in resp. hoofdstuk 6 en 7.

5c. Gebruikte meteo informatie

Risicoprofielen kunnen in de huidige versie worden gedefinieerd op de termijn van maximaal 5 dagen in het verleden (voor alleen neerslag) tot ruim 14 dagen in de toekomst voor een groot aantal meteorologische elementen, en voor wateropzetten tot ruim 9 dagen (zie Fig. 5.2). De 4 componenten die gebruikt kunnen worden bij het toetsen van de risicoprofielen zijn in volgorde van (forecast)tijd: Neerslaghistorie (tot 5 dagen) – Radarextrapolatie (neerslag vanaf 'nu' tot +2 uur) – Deterministische model output (vanaf 'nu' tot +360 uur vanaf analysetijd) – Ensemble model output (vanaf 'nu' tot +360 uur vanaf analysetijd). Welke (combinatie) van deze componenten gebruikt worden (wordt) is vrij te kiezen. Met 'nu' wordt bedoeld het laatste hele uur voor de start van PASCAL.

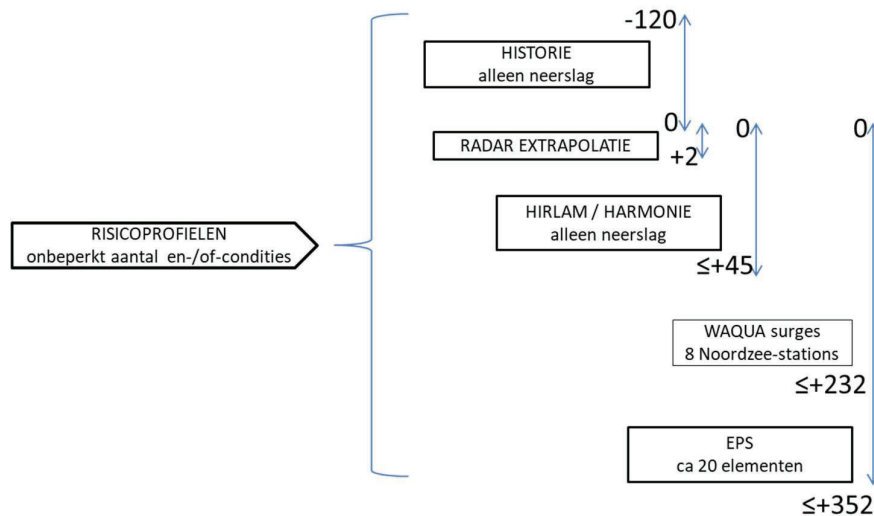


Fig. 5.2. De historische en forecast tijden van de (neerslag)waarnemingen en de model-informatie die toegestaan zijn in de risicoprofielen.

Deterministische modeluitvoer kan afkomstig zijn van Hirlam of Harmonie, tot een maximum van 48 uur minus de uren die sinds de analysetijd reeds verstreken zijn, maar kan ook afkomstig zijn van de operationele of control run van het ECMWF, of van het ensemble gemiddelde (Tabel 5.2). Van Hirlam en Harmonie is vooralsnog alleen neerslag beschikbaar, van de ECMWF-suite zijn ca 20 (meest surface) elementen beschikbaar (Tabel 5.3); dit aantal kan gemakkelijk uitgebreid worden. Het probabilistische deel wordt uitsluitend geleverd door het EPS, desgewenst aangevuld met wateropzet informatie afkomstig van WAQUA voor een 8-tal stations langs de Nederlandse kust die berekend zijn op dezelfde ensemble leden. GLAMEPS is niet langer beschikbaar en HarmonEPS is nog niet standaard beschikbaar in het PASCAL-systeem. In operationele toepassing wordt altijd de actuele resolutie van de gekozen modellen gebruikt. Voor het EPS is dat op dit moment het octahedral grid. Alle gridpunten boven Nederland zijn beschikbaar. Voor hindcast runs wordt automatisch gekozen voor de in die tijd beschikbare resoluties (zie Tabel 5.2).

De tijdresolutie is altijd in uren. Dit betekent dat de radarneerslag die opgebouwd is uit 5-minuten beelden eerst geaggregeerd wordt naar uurlijkse sommen, zowel voor de historische hoeveelheden als voor de radarextrapolatie. De uitvoer van alle gebruikte modellen wordt (zo nodig) lineair geïnterpoleerd naar uren, ook al zijn de data beschikbaar in tijdstappen van 3 uur (zoals bij het EPS tot aan +144)⁹ of langer. De surge gegevens zijn gegeven in hoog- en laagwaters met de daarbij horende (forecast) tijdstippen en deze worden lineair geïnterpoleerd naar uurlijkse opzethoogtes. De tijdresolutie van het gebruikte element hoeft uiteraard niet uurlijks te zijn: zo zijn maxima en minima in EPS meestal berekend over tijdintervallen van 6 uur.

Hindcasts kunnen gedraaid worden op data teruggaand (met onderbrekingen) tot januari 2000. De data van waaraf de runs in locale archieven beschikbaar zijn staan in de tabel. In de periode vóór 2007 zijn de EPS-runs op andere resoluties beschikbaar op een 9-tal stations in Nederland. Als niet in hindcast-mode gedraaid wordt, wordt er gebruik gemaakt van de meest recente modeluitvoer. Hirlam en Harmonie uitvoer is beschikbaar circa 3 uur na analysetijd. ECMWF-uitvoer is in het gunstigste geval pas beschikbaar 7 uur na analysetijd. Bij afwezigheid van de beoogde run wordt automatisch de meest recente aanwezige run genomen.

⁹ Inmiddels zijn er ook uurlijkse EPS-gegevens beschikbaar.

deterministisch

Hirlam

voor termijn van +3 tot +48 4x / dag ververst

HARMONIE

voor termijn van +3 tot +48 8x / dag ververst

ECMWF in verschillende resoluties (zie onder probabilistisch)

ECMWF_Oper van +8 tot +240 2x / dag ververst

ECMWF_Control van +8 tot +360 „

ECMWF_Ens Mean van +8 tot +360 „

probabilistisch

EPS (ECMWF)

van 0 tot +360 2x / dag ververst

in stappen van 3 uur tot aan +144 daarna in stappen van 6 uur tot +360

- **NNL-files** sinds mei 2019

afkomstig van octahedral grid beschikbaar op alle 242 punten boven NL

- **ENL-files** sinds aug 2013

afkomstig van Gauss grid N320 beschikbaar op alle 67 punten boven NL

- **VNL-files** sinds april 2007

afkomstig van Gauss grid N200 beschikbaar op alle 23 punten boven NL

WAQUA

van +8 tot +240 2x / dag ververst

beschikbaar voor 8 stations langs de NL-kust¹⁾

¹⁾ WAQUA stations: Vissingen (06520), OS 11 (06314; Roompot Buiten?), Hoek van Holland (06514), IJmuiden (06522), Den Helder (06512), Harlingen (06513), Delfzijl (06511), Huibertsgat (06285)

Tabel 5.2. Overzicht van de modellen en modelversies die gebruikt kunnen worden bij het toetsen van de risicoprofielen. De forecasttijden zijn t.o.v. de analysetijd van de betreffende modellen.

welke elementen mogen in de risicoprofielen voorkomen

in Hirlam alleen neerslag

in HARMONIE neerslag

in ECMWF_Oper, ECMWF_Control en ECMWF_EnsMean: 20 elementen ²⁾

in EPS: 20 elementen ²⁾ voor alle ensemble leden

wateropzet (afkomstig uit **WAQUA**)

(evt. t.z.t. rivierstand)

alle elementen die berekend kunnen worden uit bovenstaande elementen,

bijv. gevoelstemperatuur

heat index WBGT

gidsen op ensemble leden

projecties van windsnelheid en windgusts naar willekeurige richting

alle mogelijke combinaties van alle bovenstaande elementen (compound events)

²⁾ de 20 Direct Model Output elementen zijn: neerslaghoeveelheid, wind (u10m, v10m, snelheid en richting), wind gusts, T2m, dauwpuntstemp (dauwpuntsdepressie), Tmax, Tmin, relatieve vochtigheid, bewolgingsgraad, sneeuwhoeveelheid, convectieve neerslaghoeveelheid, zonneshijnduur, CAPE, CAPE-SHEAR, verdamping, zicht en lightning.

Tabel 5.3. De variabelen die in de risicoprofielen opgenomen mogen worden.

Zowel de neerslaghistorie als de radarextrapolatie voor een opgegeven gebied worden berekend op een (bij benadering) 1x1 km rooster (Holleman, 2007). Gebiedsneerslag van Hirlam en Harmonie worden berekend door interpolatie vanuit het modelrooster naar het 1x1 km grid waarna wordt gemiddeld over alle punten waaruit het gevraagde gebied bestaat. Er is alleen gebiedsgemiddelde neerslaghoeveelheid beschikbaar. Gebieden mogen willekeurig van grootte en vorm zijn. Alleen waterschappen en sommige deelgebieden hiervan zijn op dit moment op het 1x1 km rooster gedefinieerd.

Voor het ECMWF model worden de willekeurig te kiezen gebieden beschreven door samenstelling van de gridboxen die het gebied (grotendeels) bedekken. Hier wordt dus niet geïnterpoleerd naar een dichter rooster.

5d. Externe settings

De componenten waar een risicoprofiel uit opgebouwd is moeten vooralsnog handmatig gezet worden. Deze staan cursief en in blauwe kleur aangegeven in Tabel 5.4. De modellen die gekozen kunnen worden staan in Tabel 5.2. Gebieden moeten gedefinieerd zijn of gedefinieerd worden als een lijstje roosterpunten van het (de) gekozen model(len). Zodra dat meer is dan 1 roosterpunt worden naast de kansen per punt ook de gebiedskans en de unconditional en conditional coverage bepaald. De fysische elementen waaruit gekozen kan worden staan in Tabel 5.3 en moeten uiteraard weer in overeenstemming zijn met wat in het (de) model(len) beschikbaar is.

Level = 1 is het standaardniveau waarin vrijwel alle risicoprofielen getest kunnen worden. Er zijn aparte levels gedefinieerd voor percentielen (level 2), meerdaagse events (level 4), duren (level 6) en bijvoorbeeld voor het toevoegen van speciale functies of gidsen (level 5). In het algemeen zijn voor alle levels alle bewerkingen zoals aangegeven in Tabel 5.1 mogelijk. Voor level 6 zijn nog extra (externe) settings nodig. Voor de overige instellingen zie tekst.

Externe settings	
<i>forecast periode</i>	van PASCAL-run
<i>model(s)</i>	bij meer dan 1 model: <i>forecasttijd van de overgang</i>
<i>punt/ gebied</i>	gebied is gedefinieerd als verzameling punten
Voor ieder risico profiel:	
<i>periode</i>	mmdd-begin, mmdd-eind (default = 'altijd')
voor alle subcondities:	
<i>element</i>	> 0 overschrijdingskans (> fysische drempel) < 0 onderschrijdingskans (≤ fysische drempel)
<i>level</i>	(default = 1)
<i>som / duur of gemiddelde</i>	(aantal uur, als = 1 dan DMO)
<i>window</i>	(aantal uur, als = 1 dan 'instantane' kans)
<i>fysische drempel</i>	
<i>kansdrempel</i>	
als > 1 subcondities:	
<i>vereniging of doornede met eerdere conditie(s)</i>	(default = doornede)
<i>overall window</i>	window op combinatie van subcriteria (default = 1)
Voor aparte gebiedsbewerkingen (optioneel):	
<i>bewerking</i>	'max', 'min', 'gem'

Tabel. 5.4. Overzicht van de externe settings (in blauw en cursief) die gezet moeten worden om het systeem te kunnen draaien. Mogelijke keuzes hiervoor staan in Tabellen 5.1 t/m 5.3.

6. Objectieve bepaling van risicoprofielen

In dit hoofdstuk wordt meer in detail besproken hoe risicoprofielen voor weer-gerelateerde beslissingen (weather-related decisions) op een min of meer objectieve manier bepaald kunnen worden. Een schematische voorstelling hiervan wordt gegeven in Fig. 6.1. Het procedé hiervoor kan gesplitst worden in 4 stappen, niet noodzakelijk disjunct of chronologisch. Deze worden besproken in de volgende paragrafen.

In het volgende wordt gesproken over “de gebruiker”. De gebruiker kan hier ook gezien worden als een hele (beroeps)groep, tot en met “de maatschappij” (wat daar ook maar mee bedoeld wordt).

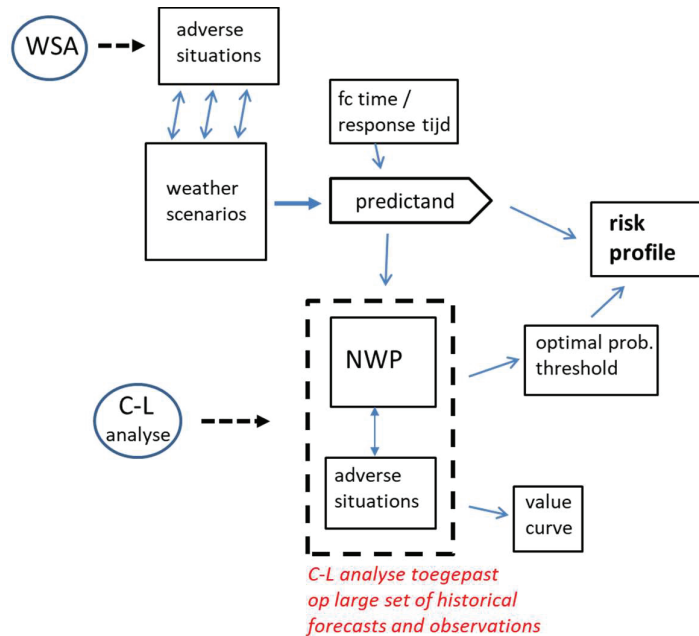


Fig. 6.1. Schematische weergave van hoe gekomen zou kunnen worden tot een objectief risicoprofiel.

a. weather sensitivity analysis

De eerste stap in de bepaling van een risicoprofiel is een weather sensitivity analysis (WSA), (ook wel impact assessment). Deze bestaat uit het nagaan voor welke weer-gerelateerde situaties een specifieke gebruiker gevoelig is en gewaarschuwd wil worden om eventuele nadelige gevolgen te kunnen voorkomen of verkleinen. Deze weergevoeligheid (of “vulnerability”) kan vaak uitgedrukt worden in fysische grenzen die aangeven wat de maximale belastbaarheid is van het betreffende lijdend voorwerp (mens, constructie, systeem, e.d.). De fysische grens kan simpelweg de maximale windstoot zijn voor een constructie of voertuig, of het temperatuurminimum voor fruit in een boomgaard. Maar vaak is de belastbaarheid een functie van meerdere meteorologische factoren (e.g. temperatuur en vochtigheid bij hittestress bij de mens) en sterk afhankelijk van de uitgangssituatie. Zo is bij waterschappen de maximaal te verwerken hoeveelheid neerslag sterk afhankelijk van de mogelijkheid tot berging van het overtollige water (is er recent al veel neerslag gevallen?). Een ander bekend voorbeeld is de seizoensafhankelijke belastbaarheid van loofbomen voor wind(stoten).

Een voorbeeld van welke vragen bij een WSA voor waterschappen aan de orde kunnen zijn staat in Appendix A. Deze vragenlijst is toegepast bij het bepalen van de risicoprofielen voor

een aantal waterschappen in het kader van het project Gevaarlijk Weer voor Waterbeheer in samenwerking met de Unie van Waterschappen in 2003. Zie ook voorbeelden in paragraaf 8.5 en 8.11.

Een ander type weergevoelige situaties doet zich voor bij festiviteiten in de open lucht die door veel mensen bezocht worden (e.g. popfestivals, Koningsdag). De mogelijk massale blootstelling (“exposure”) aan adverse weather maakt specifieke criteria voor bijvoorbeeld windstoten, onweer en eventueel neerslag noodzakelijk, voor ieder element afzonderlijk maar mogelijk ook voor (meerdere) combinaties. Een combinatie van condities die afzonderlijk niet extreem zijn kunnen gezamenlijk toch voor grote problemen zorgen. Tenslotte moet ook de duur van de blootstelling in de analyse meegenomen worden als die de kwetsbaarheid mede bepaalt (zie voorbeeld in paragraaf 8.8).

In deze eerste stap wordt vaak ook al meegenomen hoe lang van te voren men op de hoogte wil zijn van de slechte weercondities opdat nog voorzorgsmaatregelen getroffen kunnen worden (i.e. de response time). Zie verder onder c.

b. vertaling WSA (vulnerability) naar beschikbare meteo (i.e. predictand definitie)

In deze stap wordt de vertaling gemaakt naar welke modeloutput (en eventueel waarnemingen) het meest geschikt is om verwachtingen (waarschuwingen) met voldoende skill te maken voor de weergevoelige situaties gevonden in de WSA. Deze situaties matchen namelijk zelden precies met de beschikbare informatie (zowel waarnemingen als verwachtingen). Ze zijn vaak zeer lokaal, veel kleiner dan de gridboxen van de fysische modellen, of wijken duidelijk af van de gemiddelde condities waar een model mee rekent. Denk bijvoorbeeld aan de voorkeur voor het ontstaan van mist of nachtvorst bij bepaalde grondsoorttypen. Deze representativiteits-’fouten’ zijn in het algemeen groter naarmate het betreffende event extremer is (Göber et al., 2008).

Daarnaast zijn vaak niet alle benodigde elementen beschikbaar in de modeluitvoer en moet er gezocht worden naar (combinaties van) grootheden die de gevoelige situatie zo goed mogelijk beschrijven. Dit kan zelfs aanleiding zijn om de in de a) gevonden grenzen aan te moeten passen. Bijvoorbeeld bij het niet beschikbaar zijn van verwachtingen voor minimum temperatuur aan de grond zou overwogen kunnen worden om de model 2 meter temperatuur te nemen met een hogere drempelwaarde in combinatie met een criterium voor de bewolgingsgraad. Een ander voorbeeld van een element dat niet of niet met voldoende kwaliteit aanwezig is, is onweer waarvoor in dat geval een proxy gedefinieerd moet worden. Soms zijn er systematische ‘fouten’ bekend van het gebruikte model waarvoor een correctie toegepast zou kunnen worden (zie voorbeeld van een gids voor de maximum temperatuur, paragraaf 8.7c).

Een andere veel voorkomende reden waarom eventueel de fysieke grenzen aangepast zouden kunnen worden, is als de uitvoer van de modellen beschikbaar is gekomen na interpolatie (of andere bewerking) van de uitvoer. Interpolatie heeft in het algemeen als effect dat modelextremen afgevlakt worden wat de kans op overschrijding van een hoge drempel drastisch kan verkleinen. Analoog voor onderschrijding van lage extremen. In dat geval is het beter om de fysieke drempel aan te passen en niet de kansdrempel.

Deze vertaling van weergevoeligheid naar modelinformatie wordt neergelegd in een of meer condities en wordt ook wel de predictand definitie genoemd. Hierbij is het van belang om alle meteo scenario’s die kunnen leiden tot dezelfde hazardous situatie in het profiel meegenomen worden (zie voorbeeld 8.9 en verder onder c.). Niet alleen alle scenario’s die leiden tot dezelfde fysieke drempel maar ook verzachtende of verzwarende condities die leiden tot conditionele drempels. Zo kan het zijn dat voor een waterschap een neerslaghoeveelheid van 20 mm per dag alleen een probleem oplevert als door de hoge zeewaterstand er niet genoeg mogelijkheid is om

overtollig water naar zee te spuien. Een waarschuwing voor 20 mm per dag zou dan op zijn plaats kunnen zijn maar hoeft niet in alle gevallen tot actie te leiden. Beter is het dan om bijvoorbeeld een extra conditie over surge mee te nemen in het risicoprofiel. Zie het voorbeeld in paragraaf 8.5.1 en sectie c.

In deze stap wordt ook bepaald welk ‘soort’ kansen gebruikt wordt. Hierbij spelen overwegingen een rol zoals gemeld in hoofdstuk 4. In veel gevallen wordt gezocht naar de kans van optreden van een event, i.e. de event probability, wat neerkomt op een windowkans. Afhankelijk van de forecasttijd (en modelresolutie) zullen daarnaast gebiedskansen soms de voorkeur hebben, zelfs als het om lokale gevoeligheid gaat (hoofdstuk 4).

Door bovenstaande argumenten is het mogelijk dat bij verandering van de keuze van het gebruikte (atmosfeer)model, of bij veranderende resolutie, het risicoprofiel aangepast moet worden.

c. *cost-loss analyse*

Iedere verwachting heeft een inherente onzekerheid. Een cost-loss analyse kan uitsluitel geven bij welke mate van onzekerheid het profijtelijk is actie te ondernemen. Hierin worden voor ieder beslisprobleem de kosten (costs C) ter voorkoming of vermindering van de schade vergeleken met de verliezen (losses L , of liever alleen de avoidable losses (Mylne, 2002)) die optreden door het (extreme) weer als er geen voorzorgsmaatregelen getroffen zouden worden (Bilham 1922, Bijvoet en Bleeker, 1951, Thompson and Brier (1955), Katz and Murphy, 1997, Richardson, 2000). Ook immateriële kosten (e.g. imago-schade, mensenlevens) en kosten die nodig zijn om getroffen maatregelen weer ongedaan te maken als het event uitblijft (deze worden soms avoidable costs genoemd) moeten zoveel als mogelijk in de berekeningen worden meegenomen.

In zo'n cost-loss analyse wordt een verificatie uitgevoerd op een grote historische set kansverwachtingen van de betreffende (binaire) predictand (die dus combinatie kan zijn van een aantal criteria) voor de bijbehorende forecasttijd (zie later), en levert als uitkomst een kansdrempel waarboven het voordeliger is actie te ondernemen en waaronder het voordeliger is af te wachten. Deze “optimale” kansdrempel is in het algemeen verschillend voor ieder beslisprobleem, en iedere cost-loss verhouding en forecasttijd. Tijdens de analyse wordt de waarde (*value*) van de verwachtingen berekend als functie van C/L . Deze waarde wordt uitgedrukt als percentage te behalen winst ten opzichte van het gebruik van alleen klimatologische informatie (i.e. is 0 bij geen toegevoegde waarde en 100% bij perfecte forecasts) en wordt de Relative Economic Value genoemd (Richardson, 2000)¹⁰. Deze is sterk afhankelijk van de skill van de verwachtingen (e.g. Roebber and Bosart, 1996)¹¹ en kan dusdanig zijn dat het voor gebruikers met een beslisprobleem met een erg kleine C/L (of juist een erg grote C/L) geen toegevoegde waarde biedt ten opzichte van al of niet actie ondernemen met alleen klimatologie als leidraad.

Zijn de kansverwachtingen volledig reliable (en met voldoende spreiding) dan is de gevonden optimale kansdrempel gelijk aan C/L . Een systematische afwijking (bias) in de gegenereerde kansen resulteert in een verschuiving ten opzichte van C/L met een waarde gelijk aan de bias. Overigens heeft Murphy (1977) al aangetoond dat ook niet-reliable systemen veel waarde kunnen hebben.

Een effect dat een veel grotere rol speelt, niet alleen voor de kansdrempel maar ook voor de waarde, is het volgende. In de gebruikelijke $C-L$ analyses worden vrijwel altijd de

¹⁰ Deze score wordt ook wel de Value Score (VS) genoemd, naar Wilks (2001).

¹¹ De relatie tussen skill en value is echter erg ingewikkeld; zo geven Murphy and Ehrendorfer (1987) een voorbeeld waarin toename van de skill gepaard kan gaan met afname in value.

kansverwachtingen van de predictands geverifieerd tegen waarnemingen die passen bij die predictands, i.e. de standaard manier van modelverificatie (e.g. modelneerslag tegen gridded neerslag, 2m temperatuur tegen gridbox gemiddelde), maar niet tegen de meest relevante waarnemingen voor het betreffende beslisprobleem (e.g. tegen de temperatuur in een specifieke boomgaard). Hoewel het eerste een eerlijke manier is om de potentiële waarde van het gebruikte model voor een beslisprobleem te bepalen is het beter om in de C-L analyse zoveel mogelijk de tweede manier te gebruiken. Het verschil tussen de twee doet zich niet alleen voor bij representativiteits- of subgrid issues maar ook bij andere zaken. Als namelijk niet alle factoren meegenomen worden in het risicoprofiel dan kan, zelfs bij (vrijwel) perfecte verwachtingen, de waarde voor het beslisprobleem gering zijn en tot een misleidende kansdrempel leiden. Zo zullen er in het eerder genoemde voorbeeld in sectie b zelfs bij perfecte verwachtingen voor 20 mm per dag veel gevallen zijn waarin er geen reden is tot het ondernemen van actie en deze dus eigenlijk gezien moeten worden als false alarms (zie ook paragraaf 8.5).

Eenzelfde hazardous situatie kan vaak ontstaan als gevolg van meerdere meteorologische scenario's. Zo kan wateroverlast ontstaan door langdurige regen, of door een kortdurende plensbui met grote hoeveelheid neerslag, of door allerlei tussenvormen. Het is van belang om al deze situaties in de analyse te betrekken en in 1 risicoprofiel te verenigen. De kans op het voldoen aan tenminste een van de criteria is (waarschijnlijk) groter dan die voor de aparte criteria. Om dezelfde reden is het soms zelfs te prefereren om situaties die totaal verschillend zijn maar die wel tot dezelfde voorzorgsmaatregelen aanleiding geven ook te verenigen in hetzelfde risicoprofiel.

Een grotere discrepantie tussen predictand definitie en wat voor de gebruiker de schade veroorzaakt resulteert altijd in een lagere skill (geverifieerd tegen de voor de gebruiker relevante waarnemingen). Dit betekent dat de verwachtingen minder waarde hebben en bovendien waarde voor minder gebruikers (i.e. kleinere range van positieve C/L) met soortgelijke beslisproblemen.

Dit onderstreept wederom het grote belang van de moeite die gestoken moet worden in stap b. De waarde van de verwachtingen en waarschuwingen is er cruciaal van afhankelijk.

Zoals gezegd gaat het in de waarschuwingssystematiek in vrijwel alle gevallen om de event probability, zelden om de kans op een vast tijdstip (de instantane kans). In de cost-loss analyse moet dan ook de event probability gebruikt worden en deze moet berekend worden op de forecasttijd die bij waarschuwing voldoende tijd biedt (responstijd) om alle benodigde voorzorgsmaatregelen te kunnen treffen. Die keuze is echter niet triviaal. Als de forecasttijd namelijk precies gelijk gekozen zou worden aan de tijd die nodig is voor voltooiing van de voorzorgsmaatregelen dan zal blijken dat er in veel gevallen juist niet genoeg tijd is bij een waarschuwing. Want al vóór dit tijdstip is de kans van optreden vaak al groter dan 0. De *effectieve* (beschikbare) response tijd is af te leiden uit de kansverdeling van de *time until impact* (zie hoofdstuk 4). Stel t_1 de forecast tijd waarop voor het eerst de kritieke kansdrempel overschreden wordt¹² dan is de verwachte effectieve response tijd

$$t_1 - \int_0^{t_1} P_w(t) dt$$

met P_w de windowkans. Hoe de kansverdeling van de time until impact er uitziet hangt af van de verwachte onzekerheid in de timing van het event. De keuze van de response tijd (i.e. forecasttijd) in de cost-loss analyse zal dus in het algemeen groter moeten zijn dan de minimale tijd die nodig is voor het uitvoeren en voltooiën van de voorzorgsmaatregelen. Het verschil tussen deze 2 tijden moet toenemen naarmate de benodigde voorbereidingstijd, en (dus) de

¹² Als de kritieke drempel niet overschreden wordt is de responstijd niet van belang.

forecasttijd waarop gewaarschuwd moet worden, groter wordt. Dit komt doordat als gevolg van de beperktere voorspelbaarheid bij hogere voorspeltermijnen de windowkans in het algemeen minder snel naar zijn maximale waarde groeit.

Voor veel beslisproblemen geldt dat de kosten voor het treffen van voorzorgsmaatregelen in meer of mindere mate toenemen als er later gewaarschuwd wordt. Bovendien kan in dat geval mogelijk een kleiner deel van de losses voorkomen worden; de avoidable losses nemen af. Beide situaties hebben als effect dat de optimale kansdrempel stijgt en dat daarmee de neiging om actie te ondernemen daalt. Dit is de aanleiding voor Magnusson et al. (2014) en Magnusson (2019) te veronderstellen dat C-L analyses op de middellange termijn misschien wel net zo belangrijk zijn als op de korte termijn. De optimale kansdrempel is dan relatief laag.

Daartegenover staat echter dat de skill van verwachtingen korter voor een event in het algemeen groter is en een beslissing over het treffen van maatregelen juist minder onzeker wordt. Welk effect de overhand heeft is afhankelijk van veel factoren. Het is dan ook aan te bevelen om een aantal cost-loss analyses uit te voeren voor dezelfde predictand maar met verschillende forecasttijden en de daarbij horende cost-loss verhoudingen.

Een uitbreiding van de standaard cost-loss theorie, voorgesteld door Jewson et al. (2021), maakt wél gebruik van de verwachte skill als functie van de forecasts¹³. Door meer informatie te ontleen aan de kansverdeling van de verwachtingen op meerdere forecasttijden konden ze aantonen, zowel in een theoretisch model als in actuele verwachtingen, dat het in bepaalde gevallen toch kan lonen om actie uit te stellen en te wachten op de volgende forecast ondanks dat de kans groter is dan de optimale kansdrempel. De standaard cost-loss benadering maakt immers geen gebruik van de totale kansverdeling maar kijkt alleen of het deel van de pdf boven (c.q. onder) de fysieke drempel groter is dan de in de analyse berekende kansdrempel.

Tot slot nog enkele opmerkingen.

- De bepaling van de exacte kosten van voorzorgsmaatregelen en van de losses die geleden worden, is in de praktijk vaak slechts bij benadering mogelijk (zoals de kosten van een mensenleven). Het meenemen van deze onzekerheid is een wezenlijk onderdeel van de C-L analyse. Dit kan gebeuren door een range, of liever nog een pdf, van cost-loss verhoudingen door te rekenen op het effect op de verwachte totale kosten (expected expense). Dit kan leiden tot een andere optimale kansdrempel.

- In bovenstaande beschrijving van de standaard cost-loss analyse is uitgegaan van een zgn. *statisch* cost-loss probleem, waarin het al of niet handelen geen effect heeft op een volgende soortgelijke situatie. In veel gevallen is dit echter niet zo, en spreekt men van zgn. *dynamische* cost-loss problemen (ook wel *single-stage* resp. *multistage* genoemd). Wat te doen, bijvoorbeeld, bij een aantal nachten achtereen kans op nachtvorst? Twee opeenvolgende nachten met kansen kleiner dan C/L wil niet zeggen dat de kans op een van de 2 nachten nachtvorst niet groter is dan C/L. Een serie related decisions mogen niet beschouwd worden als een serie statische cost-loss problemen. Manieren hoe daar mee om te gaan zijn te vinden in Katz et al. (1982), Murphy et al. (1985), Epstein and Murphy (1988), Wilks (1991), en meer recent in Roulin (2007). Het leidt in het algemeen tot andere actie-strategieën en andere optimale kansdrempels dan wat bij een statische analyse het geval zou zijn. Zo leidt het meenemen van persistentie van het verwachte weer tot een lagere expected expense, een effect dat groter is bij hogere C/L (Epstein and Murphy, 1988, zie ook Katz, 1993). Een overzicht van generalisaties van het single-stage cost-loss model is gegeven in Wilks (2014).

- De losses zijn in de praktijk vaak een functie van hoe extreem het fenomeen is en niet slechts van of een fenomeen optreedt of niet. Bijvoorbeeld, de losses voor een fruilteler zijn groter

¹³ Het Jewson et al. paper kan gezien worden als uitbreiding op het paper van Murphy and Ye (1990) waarin zij hetzelfde aantonen in een theoretisch model voor gecalibreerde categorische verwachtingen.

naarmate de temperatuur verder beneden 0 graden komt. In het geval van strenge vorst betreft het een ander risicoprofiel met in het algemeen een andere (lagere) optimale kansdrempel. Afhankelijk van de actuele verwachting kan het voorkomen dat alleen de drempel voor strenge vorst overschreden wordt en niet die voor lichte vorst, en andersom.

- In het verlengde hiervan ligt de generalisatie van het traditionele cost-loss framework naar een zgn. *N-action, N-event* framework (Murphy, 1985), met $N > 2$, waarbij de N actions verschillende niveaus van protectie representeren behorend bij N adverse weer events. De costs en de losses mogen voor iedere combinatie van action en event verschillend zijn. De events moeten uiteraard weer *mece* gedefinieerd zijn. De oorspronkelijk formulering van dit framework is afkomstig van Epstein (1969).

- In vrijwel elke cost-loss analyse wordt uitgegaan van een rationele decision-maker die louter afgaat op wat de analyse suggereert. Dit is in de praktijk echter zelden het geval. Door gebruik te maken van een model van het menselijk gedrag ontleend aan de psychologie komt Millner (2009) op een uitdrukking voor de value die een factor is van die uit het standaard cost-loss model. Deze factor, altijd kleiner dan 1, blijkt hoger bij intermediale waarden van de cost-loss verhouding en de observed climatology, en is hoger naarmate de skill van de waarschuwingen door de gebruiker hoger ingeschat wordt.

Matte et al. (2017) stellen zelfs voor om het hele cost-loss framework te vervangen door een nieuw framework waarin de mate van risk-aversion per gebruiker(sgroep) expliciet wordt meegenomen in de bepaling van de waarde van een verwachtingssysteem. In de cost-loss analyse wordt namelijk impliciet uitgegaan van een risk-neutral decision-maker terwijl dit in de praktijk zelden of nooit het geval is; bijna iedereen blijkt in meer of mindere mate risk-averse te zijn. Dit blijkt zelfs een intrinsieke eigenschap van ieder persoon en iedere organisatie te zijn en is door middel van onderzoek min of meer objectief vast te stellen. De methodes van zowel Millner als van Matte et al. geven een beter beeld van de werkelijke waarde van verwachtingssystemen dan de waarde die berekend wordt met de standaard cost-loss aanpak.

d. trigger: keuze bij welke kansdrempel gewaarschuwd moet worden

Voor gebruikers met een specifiek weergegerelateerd beslisprobleem is de keuze van de kansdrempel in het algemeen (min of meer) gelijk aan de drempel die gevonden is in de cost-loss analyse voor dat probleem (mits die analyse is uitgevoerd), met inachtneming van de opmerkingen uit paragrafen b en c. De waarde van die drempel is uiteraard afhankelijk van de specifieke karakteristieken van het probleem, maar is in de praktijk in het algemeen relatief laag. Katz and Murphy (1997) beschrijven een groot aantal meteorologische beslisproblemen en kwamen op cost-loss ratios meest tussen 0 en 0.2. Van Andel et al. (2008) kwamen in een hindcast studie over het economisch nut van de dag 3 tot dag 9 EPS neerslagverwachtingen voor waterschap Rijnland tot de conclusie dat de beste strategie was om pas actie te ondernemen bij een relatief hoge verwachte neerslaghoeveelheid en een relatief lage kans hierop van ca 5%. In het waarschuwingssysteem voor (grote hoeveelheden) neerslag ten behoeve van de waterschappen in Nederland (Kok et al., 2011a), variëren de door de waterschappen zelf gekozen kansdrempels van 20 tot 35%. Deze getallen zijn tot stand gekomen door middel van een min of meer heuristische cost-loss analyse uitgevoerd in samenwerking met onderzoekers en forecasters van het KNMI. Een laatste voorbeeld betreft de waarschuwingssystematiek ten behoeve van de second opinion taak van het KNMI ten aanzien van de weerwaarschuwingen ten behoeve van de dienstregeling van ProRail (zie ook Appendix D). ProRail wil al gewaarschuwd worden voor “enige” sneeuwval bij een gebiedskans van 10%.

De vaststelling van de (getal)waarde van de trigger is zelfs bij goed gedefinieerde problemen voor 1 specifieke gebruikersgroep niet triviaal. Zo was het in een experiment met professionals

van emergency services in Duitsland niet mogelijk om consensus te bereiken over de waarde van de trigger om voorbereidende mitigatie maatregelen te treffen (Kox et al., 2015). Daarnaast bleek in deze en andere studies dat veel professionele gebruikers terughoudend zijn om actie te ondernemen bij lage kansen (in de orde van 20% of lager) ondanks dat uit analyses blijkt dat dat gewenst zou zijn. Onder andere de WMO (WMO, 2012) waarschuwt er juist voor dat het negeren van lage kansen leidt tot het missen van de belangrijkste events, de zgn. low probability – high impact situaties. Zie ook Palmer (2002).

De keuze van de trigger en vooral of men er op acteert of niet bepaalt in belangrijke mate de value van de waarschuwingen. In bovenstaande voorbeelden werd gezocht naar bij welke drempels het profijtelijk zou worden om actie te ondernemen c.q. werden waarschuwingen gegenereerd op basis hiervan. Het zijn alle voorbeelden van zgn. *prescriptive* studies c.q. systemen, die uitgaan van een optimale strategie en daardoor niet alles zeggen over het feitelijk te verwachten profijt (of de waarde) voor gebruikers. De echte waarde voor gebruikers wordt namelijk bepaald door hoe en of gebruikers op waarschuwingen reageren (e.g. Millner, 2009). Dit kan veel verschillen van de optimale strategie en leidt in het algemeen tot een lagere waarde (nooit tot een hogere). Deze feitelijke waarde wordt bepaald met behulp van zgn. *descriptive* analyses. Een uitgebreid overzicht van descriptive studies is gegeven in Stewart (1997). Overigens geldt dat, voor zover het afwijkende (i.e. niet-optimale) gedrag van gebruikers te objectiveren is, dit al meegenomen dient te worden in de cost-loss analyse, resulterend in een soort tussenvorm tussen prescriptive en descriptive analyses.

7. Risicoprofielen voor heterogene (niet-professionele) groepen gebruikers

De bepaling van een passend risicoprofiel voor heterogene groepen gebruikers is nog veel lastiger dan voor professionele gebruikers. Wat zijn bijvoorbeeld de keuzes die gemaakt moeten worden voor ‘het algemene publiek’ (hoe is deze gedefinieerd?) wat betreft de ‘gevaarlijke’ weersituaties, voor welke zekerheid (kansdrempel) moet gekozen worden alvorens te waarschuwen en hoe lang van tevoren (respons tijd)? Zie Fig. 6.1. Dit zijn essentiële en vaak conflicterende keuzes; zo gaat een keuze voor grote zekerheid ten koste van de response tijd en vice versa. Op deze aspecten zal in dit hoofdstuk nader worden ingegaan.

Predictand definitie

Voor de bepaling c.q. het definiëren van een beoogd event (i.e. de predictand) moeten ook voor niet-professionele gebruikers de stappen a en b uit het vorige hoofdstuk doorlopen worden, i.e. er dient een grondige analyse gemaakt te worden van de kwetsbaarheden van te kiezen subgroepen (of van een (soort van) grootste gemene deler?) van de totale groep, uiteindelijk leidend tot een of meerdere *mece* predictand definities, waarin weerelement(en), intensiteit, duur, etc. vastgelegd worden (zie hoofdstuk 2). Dit uiteraard in innige samenwerking met die gebruikers of hun vertegenwoordigers. Als gevolg van de heterogeniteit zal uiteraard niet de hele groep zich kunnen vinden in de keuze van de predictand(s), hetgeen consequenties heeft voor de mate van compliance wanneer er gewaarschuwd wordt. Zie aparte sectie hieronder.

Vaker dan bij professionele gebruikers zal er naast de fysische criteria ook een criterium over de gebiedsgrootte deel uitmaken van de predictand definitie. De grootte van het (te verwachten) aangedane gebied bepaalt namelijk in het algemeen in belangrijke mate het aantal mensen dat mogelijk getroffen wordt. Bij het ‘algemene publiek’ als doelgroep zal de grootte vrij groot zijn (zie bijvoorbeeld de Standaard Gebiedsgrootte in de vroegere weeralarmsystematiek) maar ook dan ligt het voor de hand om de grootte een functie te laten zijn van de zwaarte van de verwachte impact: hoe ‘gevaarlijker’ het verwachte weer des te kleiner de schaal die vereist wordt alvorens

een waarschuwing uit te geven. Dit resulteert dan in meerdere predictands met verschillende combinaties van fysieke en gebiedsgrootte (unconditional coverage) criteria. Nogmaals moet benadrukt worden dat deze predictands een directe relatie moeten hebben met de bepaalde of geschatte weergevoeligheid. Een waarschuwingscriterium zoals “in 2 van de 5 kuststations” (als gebiedsgrootte of impact criterium in de vroegere weeralarmsystematiek) is uiteraard uit den boze.

Categorische benadering

Is bij professionele gebruikers met goed bepaalde beslisproblemen via een cost-loss analyse de keuze van de response tijd en van de kansdrempel (trigger) nog op een min of meer objectieve manier te bepalen, bij meer heterogene, ‘algemene’ gebruikers(groepen) is dit niet het geval. Voor het waarschuwen voor de vastgestelde events wordt voor deze groepen in de praktijk tot nog toe vaak gekozen voor een ‘categorische’ benadering in de vorm van waarschuwingsniveaus, bijvoorbeeld groen, geel, oranje en/of rood. De grenzen tussen deze niveaus zijn vaak impliciet of expliciet gebaseerd op kansdrempels, met hogere drempels voor hogere waarschuwingsfasen. Soms zijn ook de criteria verschillend voor verschillende codes (en hebben we dus eigenlijk te maken met verschillende predictands), maar met een onderlinge transitieve relatie, i.e. situaties die voldoen aan de criteria van een hogere fase voldoen automatisch ook aan die van een lagere fase. De KNMI waarschuwingsystematiek vormt hierop een uitzondering.

Optimum tussen false alarm, hits en responstijd

De voorspelbaarheid van ‘extreme’ weersituaties is relatief laag, hetgeen bij waarschuwingen onvermijdelijk resulteert in relatief veel false alarms en / of misses (e.g. Barnes et al., 2007; Kok, 2000). De enige manier om deze beide te verminderen is, als de predictand eenmaal vast ligt, langer wachten met waarschuwen tot men meer zeker is, i.e. een hoge kansdrempel hanteren. Hiermee erodeert echter de waarde van het betreffende waarschuwingsstelsel (zie hoofdstuk 2)¹⁴. Prioriteit geven aan hits, uit angst om in ieder geval niks te missen leidt tot overforecasting, keuze om zo weinig mogelijk false alarms te geven uit angst voor non-compliance (het niet handelen na een waarschuwing), ofwel het *cry wolf effect* (e.g. Roulston and Smith, 2004), leidt tot underforecasting, en beide leiden tot lang wachten voordat gewaarschuwd wordt. Er moet dus gezocht worden naar een optimum tussen het aantal hits, het aantal false alarms en de tijdigheid van waarschuwen.

Verschuiven bestaande waarschuwingsstelsels gaan hier verschillend mee om. In de KNMI waarschuwingsstelsel (geldig tot maximaal +48 uur) is tot voor kort gekozen voor het minimaliseren van het aantal false alarms door middel van een extreem hoge kansdrempel ten koste van de response tijd (KNMI, 2010). Gelijktijdig zijn met hetzelfde doel de gebieden waarvoor gewaarschuwd wordt verkleind van heel Nederland naar provincieschaal.

In de (experimentele) uitbreiding van de MeteoAlarm systematiek naar dag 2 tot dag 5, voor min of meer dezelfde elementen als die in de weeralarmsystematiek (zie Appendix C), is gekozen voor veel lagere (gebiedskans)drempels voor gebieden ter grootte van enkele provincies. Ook in systemen voor specifieke (professionele) gebruikersgroepen zijn de kansdrempels meestal (ver) beneden 50% juist ten behoeve van de response tijd en het beperken van het aantal misses. Misses zijn voor de meeste gebruikers namelijk veel kostbaarder dan false alarms. In veel van de Met Office defence warnings wordt een waarschuwing met een lead time van minder dan 3 uur in de verificatie geïnterpreteerd als een miss omdat de response tijd

¹⁴ False alarms zijn een inherent deel van een goed waarschuwingsstelsel; het weinig voorkomen van false alarms is juist een teken van een slecht systeem.

voor de gebruikers te kort is (Stephenson et al., 2010). De waarschuwingen van het Amerikaanse Storm Prediction Center voor een aantal gevaarlijk weer fenomenen (tornado's, storms) worden al uitgegeven bij een kansdrempel, afhankelijk van element en forecasttijd, variërend van 10 tot 40% (www.spc.noaa.gov). Dit soort waardes is veel meer in overeenstemming met de drempels waarop er maximaal (economisch) effect van het treffen van voorzorgsmaatregelen te verwachten is en geeft gebruikers bovendien meer tijd.

Het keurslijf van de 'categorische' benadering in de waarschuwingssystematiek zorgt ervoor dat prioriteit geven aan een van de 3 zaken per definitie ten koste gaat van een of meer van de andere, en dus ten koste gaat van gebruikers die juist daarvoor gevoelig zijn.

Het bepalen van goede triggers zal daarom onvermijdelijk deels een subjectief karakter hebben. Dit is dan ook nog weer een extra reden om vooral ook de kansen inclusief de onderliggende informatie te communiceren. Ook als daarnaast een waarschuwingscode wordt uitgegeven. Een ieder binnen de gebruikersgroep kan dan zijn / haar eigen afweging maken.

Compliance or complacency

De waarde van een waarschuwing of verwachting wordt bepaald door hoe die de decision-making (positief) beïnvloedt. Als dit niet het geval is dan heeft een waarschuwing geen waarde, hoe groot de skill ook is (Murphy, 1993; Murphy, 1994; Roebber and Bosart, 1996). De hoop is dan ook dat als meer gevolg gegeven wordt aan de waarschuwingen (compliance) het aantal slachtoffers en de schade vermindert. Er is onder beleidsmakers en forecasters grote angst dat het te vaak onterecht waarschuwen op den duur leidt tot het negeren van die waarschuwingen (non-compliance; en zelfs tot complacency) en daarmee juist tot te voorkomen schade en slachtoffers. Dit vermeende zgn. cry wolf effect (e.g. Roulston and Smith, 2004; LeClerc and Joslyn, 2015) heeft echter als groot risico het te lang wachten voordat een waarschuwing wordt uitgegeven (zie eerder).

Er is veel onderzoek gedaan naar de redenen voor non-compliance, vooral met betrekking tot waarschuwingen voor zeer extreem weer (bijv. tornado's) (e.g. Kox and Thielen, 2017; Lim and Liu, 2019). Hierbij spelen zaken een rol zoals skill (en met name de perceptie ervan), aantal false alarms, communicatie, past experience, etc. Hoewel het voor Nederland gaat om minder heftige verschijnselen spelen dezelfde argumenten waarschijnlijk ook een rol.

Er is inderdaad enig bewijs voor het feit dat teveel false alarms de compliance negatief beïnvloeden, met name als er meerdere achter elkaar voorkomen, maar het effect is zeer klein (Joslyn and LeClerc, 2013; LeClerc and Joslyn, 2015). Er is blijkbaar een grote "False Alarm tolerantie" waarbij het aantal false alarms (mits niet te buitensporig!) geen invloed heeft op het vertrouwen in de provider en op de compliance rate (Roulston and Smith, 2004). Verhoging van de compliance rate wordt vooral gezocht in betere en / of andere communicatie, waaronder informatie over "handelingsperspectief", betere visualisatie, of het benadrukken van de uitzonderlijkheid van het verwachte weer, bijvoorbeeld door gebruik te maken van odds ratios (Murphy, 1991; LeClerc and Joslyn, 2012) of van verwachtingen uitgedrukt ten opzichte van klimatologie. Maar bij vrijwel ieder onderzoek hierover van de laatste decades hoort daar de communicatie van de kans (onzekerheid) van optreden bij, liefst in kwantitatieve vorm. Dit wordt zelfs gezien als noodzakelijke voorwaarde om de compliance rate te verhogen. Daarnaast verhoogt het het vertrouwen in de provider en de kwaliteit van de genomen beslissingen op grond van die waarschuwingen (Joslyn and LeClerc, 2013; LeClerc and Joslyn, 2015). Het geven van advies wat te doen (handelingsperspectief) bij de waarschuwing heeft weinig effect als dat niet vergezeld gaat van onzekerheidsinformatie, zelfs als het advies goed is (Joslyn and LeClerc, 2012). Door te kiezen voor (louter) een waarschuwingsfase moet men zich realiseren dat hiermee impliciet niet alleen een aanname gedaan wordt over de cost-loss ratio van 'de' gebruiker (zie boven) maar ook over de compliance rate van die gebruiker (Roulston and Smith,

2004). Gebruikers met een andere cost-loss ratio of andere compliance rate worden hiermee dus genegeerd of op zijn minst tekort gedaan.

Een deel van de non-compliance (of zelfs de complacency) wordt hoogstwaarschijnlijk ook veroorzaakt door het feit dat een groot deel van de mensen zich niet aangesproken voelt door de definitie van de predictand. In veel gevallen wordt die namelijk te algemeen gevonden (e.g. hoe verhoudt zich een waarschuwing voor een gebied zich tot de risico's op een vaste plaats in dat gebied?) en is vaak bedoeld voor een te grote (en dus heterogene) groep. Dit is niet altijd te vermijden maar een exactere formulering (i.e. *mece*) en specifieke(re) waarschuwingen gericht op veel meer gebruikersgroepen zal de compliance waarschijnlijk doen toenemen. Zie verder in het Discussie hoofdstuk.

Impact

De waarschuwingen voor gevaarlijk weer vinden in toenemende mate plaats op grond van niet louter meteorologische criteria, conform de aanbevelingen van de WMO (WMO, 2015). De verwachte impact, c.q. de mate van maatschappij-ontwrichting, die het weer zal hebben wordt meegenomen en is soms zelfs leidend.

De potentiële impact van het extreme weer is voor een deel al verdisconteerd in de predictand definitie door middel van de fysische grens (of grenzen) tezamen eventueel met criteria over de duur van de blootstelling en een minimale gebiedsgrootte, en is gebaseerd op een soort van consensusbeeld van de geschatte gemiddelde kwetsbaarheid (“*vulnerability*”) van de doelgroep (o.a. ‘de samenleving’) en / of van de infrastructuur. Deze kan een functie zijn van het jaargetijde en zelfs van het uur op de dag. De impact wordt echter in veel gevallen (mede) bepaald door niet-meteorologische factoren (e.g. vakantiespits, popfestivals), m.n. de mate waarin mensen (of de voertuigen waarin ze zitten) worden blootgesteld aan de verwachte weercondities, i.e. de “*exposure*”.

Zonder expliciet verwachtingen voor de exposure te hoeven maken (of verkrijgen van andere instanties) kan dit deel van de potentiële impact door kleine aanpassingen (verder) in de standaard waarschuwingssystematiek opgenomen worden. Dit kan door enkele speciale predictands te definiëren voor bovengenoemde gelegenheden en hiervoor tijdig verwachtingen te genereren. Gedacht kan worden aan andere (combinaties van) weerelementen, lagere fysische grenzen of de keuze van een puntkans (of NEP, een gemiddelde ‘omgevingspuntkans’, zie hoofdstuk 3) in plaats van een gebiedskans, al of niet met een lage(re) drempelwaarde. Als bestaande predictands al volstaan dan kan de kansdrempel (trigger) verlaagd worden waarop een waarschuwing naar betrokkenen gaat. Ook kan de responstijd desgewenst aangepast worden (in samenhang eventueel met aanpassing van de kansdrempel) om tijd voor beschermende of mitigatie maatregelen mogelijk te maken (zie ook hoofdstuk 2). Maar in alle gevallen dient naast een exacte formulering van de predictand ook de kans van optreden gecommuniceerd te worden (zie hierboven). Zie verder in het Discussie hoofdstuk.

DEEL III

8. Voorbeelden van eigenschappen

8.0. Introductie (gekozen presentatie)

In dit deel wordt een aantal belangrijke mogelijkheden van het PASCAL-systeem gedemonstreerd aan de hand van min of meer willekeurige voorbeelden. Hierbij ligt de nadruk minder op de relevantie van de gekozen risicoprofielen voor de specifieke weersituaties of tijdstippen. Niet alle voorbeelden hebben dus betrekking op extreme situaties. Alle voorbeelden kunnen door middel van externe commando's gegenereerd worden; er hoeven binnen het programma geen veranderingen aangebracht te worden.

In de voorbeelden worden verschillende risicoprofielen getest met behulp van actuele verwachtingen afkomstig van verschillende modelkeuzes. In alle ensemble voorbeelden wordt het ECMWF EPS gebruikt. De uitkomst is in alle gevallen een tijdserie van kansen (al of niet per gebied, punt of window) die aangeven of aan het criterium of combinatie van criteria uit het risicoprofiel is voldaan. De kansen zijn gegeven per uur; de gebruikte model uitvoer is hiervoor zo nodig geïnterpoleerd naar uurlijkse waarden. Zie paragraaf 8.1. De alerdrempel, als onderdeel van het risicoprofiel, is arbitrair en hiermee dus ook of het versturen van een alertmail opportuun zou zijn geweest. De forecasttermijn speelt in de voorbeelden ook geen rol en is willekeurig gekozen.

Uitleg van de gekozen presentatievorm

De kansen worden gepresenteerd geldend voor het opgegeven gebied, maar kunnen desgewenst ook gepresenteerd worden voor ieder roosterpunt binnen het gebied. Een gebied kan ook bestaan uit 1 punt (of gridbox). De presentaties voor een punt en een gebied zijn verschillend.

Puntkans plot. In de kansplot voor een punt (of gridbox) staan, als functie van de forecasttijd, de kansen (over- of onderschrijdend, al of niet in een time window) voor alle subcriteria apart, alsmede de gecombineerde kans (die een vereniging of doorsnede van de subcriteria kan zijn). De volgorde van de subcriteria bepaalt de kleur van de betreffende lijnen, in de volgorde rood – groen – blauw – lila – paars – De gecombineerde kans is altijd in zwart, en iets dikker getekend. De puntkans plot is daarnaast vaak te herkennen aan het nummer van het betreffende roosterpunt rechts boven de plot.

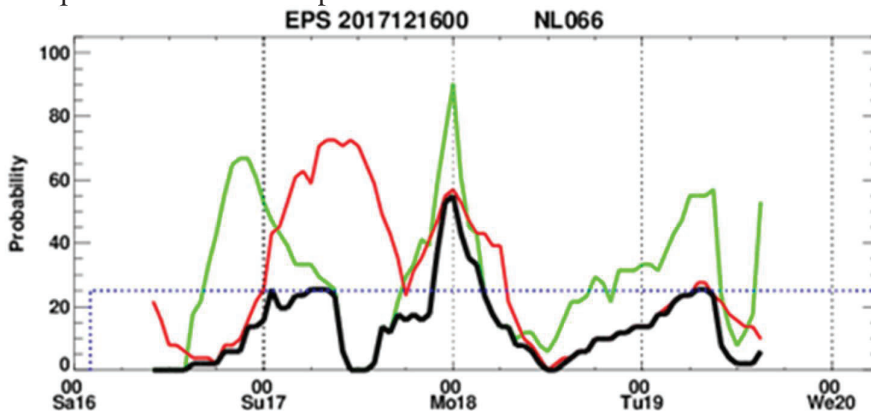


Fig. 8.0.1 Voorbeeld van een puntkans plot met als criteria $T_n \leq 1.5^\circ$ (in rood) en $T-T_d \leq 1^\circ$ (in groen). De gecombineerde kans is aangegeven in zwart. Het betreft de EPS-run van 16 december 2017 00 UTC voor een punt ten oosten van Groningen.

Het voorbeeld in Fig. 8.0.1 betreft een run van 16 dec 2017 om 11 GMT, die gebruik maakt van de laatst beschikbare EPS-run van 00 GMT tot aan de PASCAL-forecasttijd van 78 uur. Op de x-as staat de tijd in UTC en begint bij de tijd van de gebruikte model-run; de kanslijnen beginnen op de tijd van de start van de PASCAL-run om 11 uur en eindigen 78 uur later. Er is geen time window toegepast. De kansdrempel (horizontale stippellijn) is hier 25% gekozen. In rood staat de kans dat de minimum temperatuur lager is dan $+1.5^{\circ}\text{C}$, in groen de kans dat de dauwpuntsdepressie minder is dan 1° , in zwart de kans dat aan beide criteria tegelijk is voldaan. Er zijn globaal 3 periodes in de nacht of vroege ochtend waarvoor dit in grotere mate geldt.

Gebiedskans plot. De gebiedskans, p_A , (al of niet met time window of met andere opties) als functie van de forecasttijd wordt gegeven d.m.v. een dikke *zwarte lijn*. Zie als voorbeeld Fig. 8.0.2. In *groen* wordt de gebiedsgemiddelde kans \bar{p}_j , met j de punten in gebied A , ofwel de averaged point probability, gegeven. Deze valt uiteraard samen met de gebiedskans als het gebied uit 1 roosterpunt bestaat. De verhouding tussen \bar{p}_j en p_A is gelijk aan de gemiddelde verwachte conditionele bedekking van het gebied \bar{C}_c , i.e. gemiddeld over de ensemble leden die het event verwachten (zie hoofdstuk 3), terwijl de \bar{p}_j equivalent is aan de unconditional bedekking van het gebied, \bar{C}_u . We hebben gezien dat altijd $p_A \geq \bar{p}_j$ (zelfs dat $p_A \geq$ maximale puntkans); het gelijkteken doet zich voor als in alle gridpunten de puntkans gelijk is aan de gebiedskans. Dit laatste betekent dat voor alle ensemble leden geldt dat óf ieder punt in het gebied voldoet aan het criterium óf geen enkel punt. Dit is uiteraard in overeenstemming met de conditionele coverage van 100%. Als de gebiedskans 100% is dan zijn de conditional en unconditional coverage aan elkaar gelijk, maar deze kunnen nog alle waarden tussen $1/M$ en 100% hebben, met M het aantal ensemble leden.

De *rode lijn* geeft het percentage gridpunten aan waarin tenminste 1 ensemble lid aan het (gecombineerde) criterium voldoet, i.e. het percentage punten met kans $\geq 1/M$ ¹⁵. Het complement geeft dus aan het deel van het gebied dat volledig gevrijwaard wordt van het event, i.e. op die punten kans = 0. Situaties waarin in slechts 1 of enkele ensemble leden het criterium gehaald wordt, maar dan wel in het hele gebied resulteren dus in een lage p_A en een rode lijn van 100%. Ook de conditionele coverage is dan 100%. Situaties waarin in veel ensemble leden het criterium gehaald wordt op steeds een zelfde klein deel van het gebied resulteren in een hoge p_A en een relatief lage rode lijn en een lage \bar{C}_c . Als de gebiedskans op een bepaald tijdstip 0 is dan ligt ook de rode lijn op de X-as.

De groene en rode lijnen geven dus summary informatie over de verdeling van de verwachtingen van het event binnen het gebied. In de gebiedskans plot staat geen informatie meer of aan de afzonderlijke subcriteria voldaan is of niet, alleen over de combinatie van de subcriteria. Boven de plot staat de naam van het betreffende gebied.

In Fig. 8.0.2 staat de gebiedsplot voor hetzelfde risicoprofiel als voor het geval hierboven. De zwarte lijn is de gebiedskans voor Noord Nederland voor de combinatie van de 2 subcriteria en is uiteraard groter dan (of gelijk aan) de kans voor roosterpunt NL066. Noord Nederland bestaat in dit voorbeeld uit 12 roosterpunten. De gemiddelde kans per roosterpunt is nergens hoger dan 20%. De conditionele coverage, i.e. het deel van het gebied waarin aan de (gecombineerde) conditie gemiddeld is voldaan als het event optreedt (i.e. in dit geval als aan beide subcriteria voldaan is) is op geen enkel forecasttijd groter dan $1/3$. Op zondagmiddag is er enkele uren in het hele gebied geen enkel punt waar aan de criteria is voldaan, terwijl dat op andere uren in 20 tot 80% van de punten zo is (rode lijn). In de resterende punten voldoet tenminste 1 lid.

¹⁵ De drempelwaarde van $1/M$ kan eventueel vervangen worden door de alertdrempel of een andere relevante drempel. Ook de conditionele coverage is een optie. Dit kan in de huidige configuratie echter niet interactief.

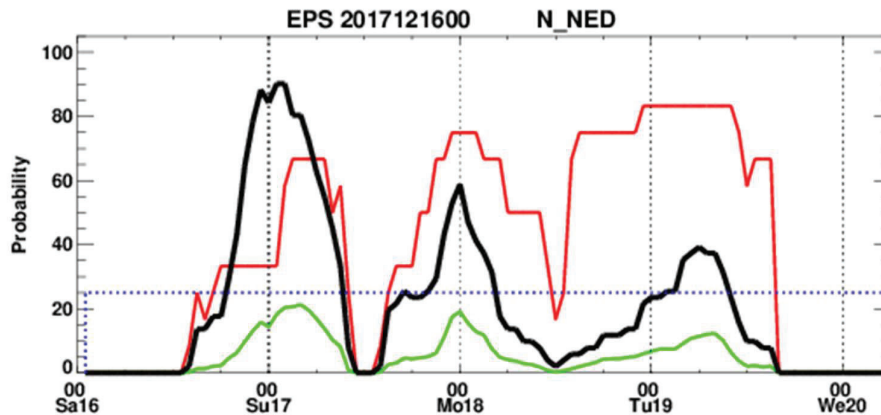


Fig. 8.0.2. Voorbeeld van een gebiedskans plot. Het betreft dezelfde EPS-run en criteria als in Fig. 8.0.1. Het gebied is Noord Nederland, hier bestaande uit 12 roosterpunten. De gebiedskans is aangegeven in zwart, in groen staat de gemiddelde puntkans en in rood de kans dat er minstens 1 ensemble lid voldoet aan de 2 criteria.

De punt- en gebiedskansen kunnen ook berekend worden in een tijdwindow in plaats van op vaste tijdstippen (zie paragrafen 8.3 en 8.4). Bij deze zgn. windowkansen zijn in de plots de kansen aangegeven op het tijdstip aan het eind van het window. In de plots wordt niet aangegeven hoe groot het betreffende window is.

Overige presentatievormen

De kansen of ergens op een dag (i.e. van 00 tot 24 UTC) aan de criteria is voldaan, hier dagkansen genoemd, hebben een iets afwijkende presentatievorm: voor ieder uur op de dag wordt dezelfde kans gepresenteerd (i.e. een horizontale lijn ter lengte van 24 uur). De betekenis van de kleuren in de plots voor punten en gebieden is hetzelfde als hierboven vermeld. Voor voorbeelden zie paragraaf 8.9.

De presentatie van percentielen (zie paragraaf 8.12) wijkt niet af van die van de punt- en gebiedskansen. Het enige verschil is dat het geen kansen staan op de y-as maar fysieke waarden. De schaal wordt automatisch aangepast op de waarden van de betreffende percentielen.

Voorbeeld van het stapsgewijs toevoegen van (sub)criteria

In het volgende stukje breiden we het risicoprofiel van het eerdere voorbeeld uit met een paar extra (sub)criteria (leidend tot nieuwe profielen). Als eerste met het criterium van een 6-uurs neerslagsom van meer dan 1.5 mm. Dit wordt weergegeven op de 2^e rij links in Fig. 8.0.3 met de blauwe lijn. Op de bovenste rij staan copieën van de 2 bovenstaande plaatjes (Figs. 8.0.1 en 8.0.2). De kansen voor het punt NL066 staan in de linkerkolom, de gebiedskansen in de rechter. De extra conditie zorgt ervoor dat de derde periode met kansen boven de alertdrempel min of meer verdwijnt terwijl de andere 2 perioden vrijwel dezelfde kansen behouden. Dit betekent dat voor die perioden de neerslagconditie samenvalt (i.e. in dezelfde ensemble leden voorkomt) met een (of meer) van de andere criteria.

Na toevoeging van nog een vierde criterium, te weten bewolkingsgraad minder dan 40% (onderste 2 panels), verdwijnt ook de 2^e periode. Dit geldt niet alleen in de plot voor roosterpunt NL066, maar blijkt voor alle punten in het gebied aangezien de gebiedskans 0 geworden is (panel rechtsonder). De kans voor de eerste periode blijft vrijwel hetzelfde. Het gelijktijdig

voldoen aan de 4 (sub)criteria, die tezamen een proxy zouden kunnen zijn voor de kans op gladheid, i.e. ‘temperatuur onder of net boven 0, kleine dauwpunts-depressie, tenminste een kleine hoeveelheid neerslag in de voorafgaande periode en minder dan half bewolkt’, is in de eerste nacht het geval voor meer dan 80% van de ensemble leden.

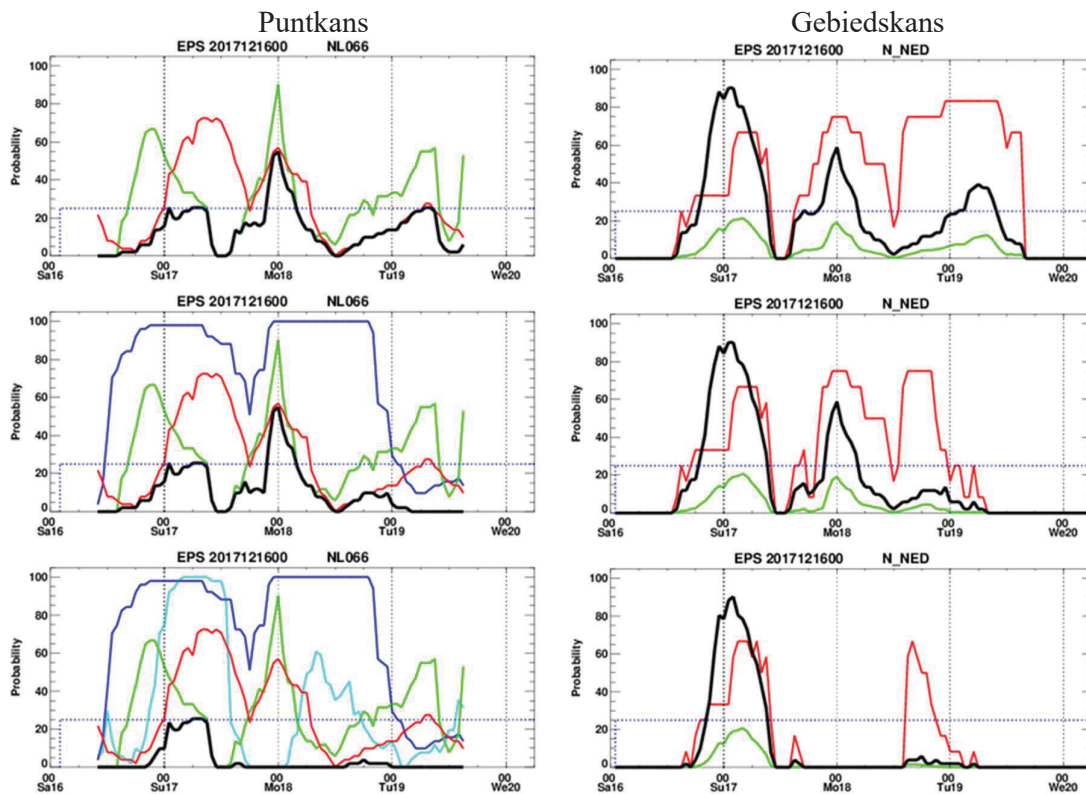


Fig. 8.0.3. In de linker plaatjes staan de puntkansen voor een punt ten oosten van Groningen voor de volgende subcriteria: in bovenste panel $T_n \leq 1.5^\circ$ (rood) en $T-T_d \leq 1^\circ$ (groen), in middelste panel aangevuld met 6-uurs neerslag $> 1.5\text{mm}$ (blauw), en in onderste panel $N \leq 40\%$ (lila). De kansen voor de combinatie van subcriteria staan in zwart. In de rechter plaatjes staan de overeenkomstige gebiedskansen (zwart) voor het gebied N-Nederland, in groen de gemiddelde puntkansen. In rood het percentage punten waarin tenminste 1 ensemble lid aan de criteria voldoet.

In de voorbeelden in de volgende paragrafen zijn soms alleen de locatieplot en soms alleen de gebiedsplot weergegeven. De paragrafen zijn ingedeeld naar karakteristieke eigenschappen en mogelijkheden van het systeem.

8.1. Zowel modellen als kansen in uurstappen¹⁶

De tijdsresolutie in de huidige setting is in uren. Als de gebruikte modellen een tijdsresolutie hebben die groter is, dan wordt voor alle in de risicoprofielen gevraagde elementen lineair geïnterpoleerd naar uurlijkse waarden. Hoeveelheden (e.g. neerslag) worden zoveel mogelijk gelijkmatig verdeeld over de uren. Hierna worden pas de kansen berekend; deze worden dus niet geïnterpoleerd. Vanwege de tijdsresolutie van 3 c.q. 6 uur in het EPS zijn alleen op die uren de kansen gelijk aan de ‘echte’ EPS-kansen. Voor de radarneerslag die opgebouwd is uit 5-minuten beelden wordt geaggregeerd naar uurlijkse sommen, zowel voor de historische hoeveelheden als voor de radarextrapolatie.

Als voorbeeld staan in het onderste panel van Fig. 8.1.1 de lopende (i.e. voor ieder uur) overschrijdingskansen van de 24-uurssommen voor 1, 3 en 10 mm. Bij de dagovergangen zijn deze 3 kansen identiek aan de stacked bars in het bovenste panel. De plot kan daarom gezien worden als “lopende” stacked bars plot¹⁷.

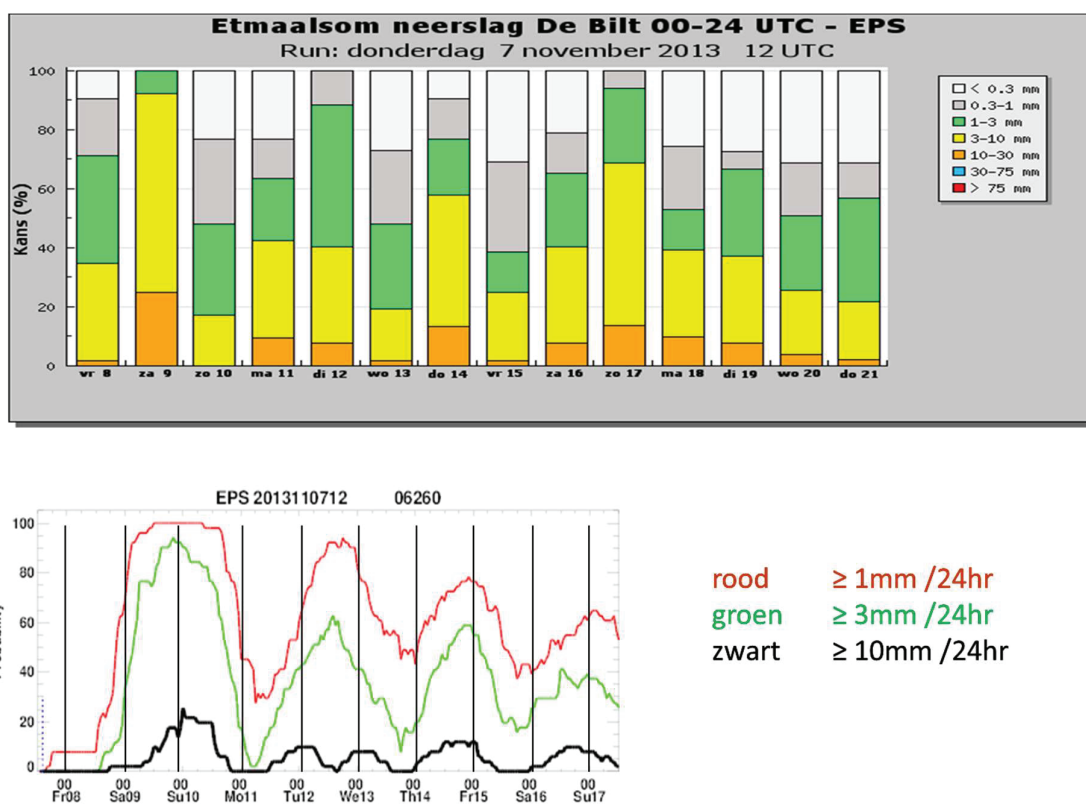


Fig. 8.1.1. Overschrijdingskansen van 24 uren neerslagsommen voor De Bilt afkomstig van de EPS-run van 7 november 2013, weergegeven iedere 0 UTC over de afgelopen 24 uur in het top panel (in de vorm van stacked bars, gemaakt door Nico Maat) en ieder uur in het onderste panel gebaseerd op ‘lopende’ 24 uursommen. Op 0 UTC zijn de kansen in de 2 panels gelijk.

De pieken in het lopende stacked bars voorbeeld liggen niet altijd rond 0 uur hetgeen betekent dat er 24-uurssommen zijn met een (veel) grotere kans van optreden dan de stacked bars plot laat zien. Ter illustratie: voor de etmaalsom is de kans op meer dan 3 mm voor zowel maandag

¹⁶ Andere tijdsincrementen van de invoer (en daarmee de uitvoer) zijn in principe mogelijk (e.g. stappen van 5 minuten) maar alle plaatjes in de huidige setting zijn gebaseerd op uurlijkse data.

¹⁷ De gelijkens zou verder verhoogd kunnen worden door de waarden tussen de lijnen van gelijke kans dezelfde kleur te geven als in de stacked bars plot, e.g. geel tussen de groene en zwarte lijn en oranje onder de zwarte lijn.

11 als dinsdag 12 november net iets groter dan 40%, terwijl de kansen ca 20 en 60% zouden zijn als de 24-uursommen 12 uur eerder berekend zouden zijn.

Een groot nadeel van de presentatie in stacked bars is dat extreme kansen volledig gemist kunnen worden. Zo kan op 2 opeenvolgende etmalen de kans op extreme neerslag 0% zijn, terwijl binnen deze periode de ‘lopende’ 24-uurskans op dezelfde hoeveelheid neerslag wel 100% kan zijn. Stel bijvoorbeeld dat in de middag van de ene dag alle members een 12-uurs neerslagsom geven die net onder de drempel blijft (terwijl de ochtend volledig droog blijft) en in de volgende ochtend hetzelfde. De 24-uurskans om 12 uur de tweede dag is dan 100%. Soortgelijke extreme verschillen kunnen zich voordoen bij alle stacked bars plots waarin gesommeerd is over tijdintervallen die groter zijn dan de (beschikbare) tijdsresolutie van de modellen. Bij elementen waar niet gesommeerd wordt (dus niet neerslag of sunshine duration) speelt het ook een rol maar minder extreem. Daar kan de kans in een lopende stacked bars plot maximaal de som zijn van de 2 afzonderlijke stack-waarden.

Daarnaast bevat een lopende 24-uursplot nog meer informatie die in een stacked bars plot grotendeels verborgen blijft. Zo stijgt in Fig. 8.1.1 de kans op > 3mm op de dinsdag ochtend terwijl de kans op meer dan 10 mm juist daalt (om 12 uur zou de oranje categorie verdwenen zijn en de gele zou 60% groot zijn). Dit komt in de rest van de forecast niet of nauwelijks voor. Dit soort informatie kan een indicatie zijn voor het karakter van de neerslag.

Overigens zien we in beide plots dat verschillen tussen de kansen in 2 opeenvolgende 24-uurs perioden kleiner worden bij toenemende forecasttijd (i.e. het ‘afvlakken’ van de kansen), waarschijnlijk voor een belangrijk deel het gevolg van groeiende faseverschillen tussen de ensemble leden.

Een lopende stacked bars plot is vooral nuttig (of noodzakelijk) voor grootheden zoals neerslag, omdat overlast voor neerslag niet gebonden is aan de vaste etmaal definitie, maar is minder of niet zinnig voor grootheden als zonneshijnduur en in mindere mate voor maximum temperatuur. Voor minimum temperatuur is de grens van 0 uur meestal niet zo zinvol en is het handiger om stacked bars te berekenen op (een) ander(e) tijdstip(pen).

Zie voor stacked bars de maatstaven van Nico Maat op de KNMI-site:

<https://www.knmi.nl/nederland-nu/weer/waarschuwingen-en-verwachtingen/kansverwachtingen>.

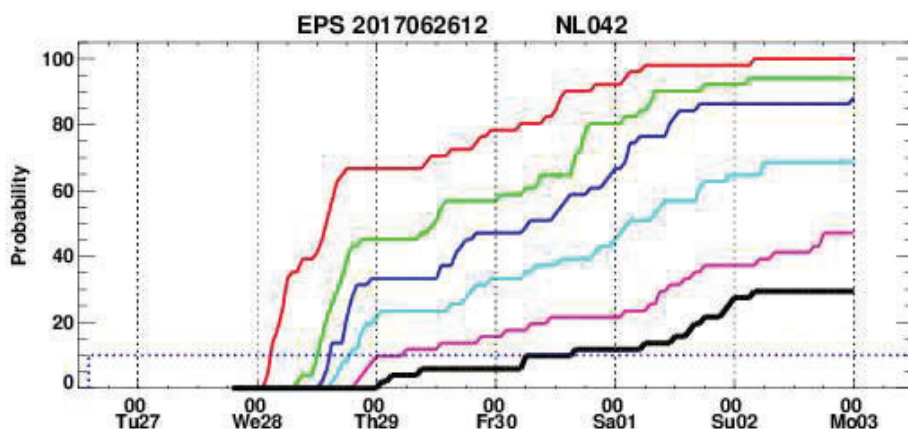


Fig. 8.1.2. Overschrijdingskans op een cumulatieve neerslagsom van meer dan (van boven naar onder) 10, 15, 20, 30, 40 en 50 mm vanaf 27 juni 2017 19 UTC voor een EPS roosterpunt in de buurt van Heerenveen.

Alle standaard pluimen zoals we die kennen van het EPS, krijgen in PASCAL uurlijkse tijdstappen. In Fig. 8.1.2 staan de kansen op een cumulatieve neerslagsom boven 10, 15, 20, 30, 40 en 50 mm vanaf dinsdag de 27^e 19 uur voor een gridpunt in de buurt van Heerenveen. De

curve verloopt niet vloeiend als gevolg van het feit dat de 3 uursstappen omgezet zijn naar uurlijks door de neerslaghoeveelheden door 3 te delen en af te ronden op tienden van mm's. Analooq na +144 als de tijdstappen per 6 uur zijn. De bibberingen kunnen desgewenst gemakkelijk weggefilterd worden. De plot is eigenlijk weer een soort lopende stacked bars plot maar nu met neerslagsom beginnend vanaf de starttijd van PASCAL en doorlopend over de opgegeven forecasttijd, en met stacks van zwaar naar lichte hoeveelheid van onder naar boven. Accumulaties mogen over willekeurige accumulatie periodes berekend worden en op ieder moment in de forecast beginnen.

Voor de presentatie van de neerslag- andere pluimen binnen PASCAL wordt verwezen naar paragraaf 8.12 (percentielen).

8.2. Zowel over- als onderschrijdingskansen

De voorbeelden in paragraaf 8.1 hebben betrekking op overschrijdingskansen. Onderschrijdingskansen komen in de praktijk ook vaak voor, niet alleen apart maar ook in combinatie met een overschrijdingskans, leidend tot een kans op een interval. In deze paragraaf geven we een aantal voorbeelden. In PASCAL zijn overschrijdingen altijd gedefinieerd door middel van 'groter dan' ($>$) en onderschrijdingen door 'kleiner dan of gelijk aan' (\leq).

droogte

In Fig. 8.2.1. worden de onderschrijdingskansen gegeven voor hoeveelheden minder dan 20 (in blauw), 10 (groen) en 5 mm (zwart), geaccumuleerd van begintijdstip in de middag van de 29^e maart 2012 (top panel). Het betreft 1 gridbox, ergens in de buurt van Cabauw; de EPS-resolutie was toen ca 30 x 30 km. De curves zijn monotoon niet-stijgend. In het onderste panel staan de onderschrijdingskansen voor de 120 uur ("lopende") neerslagsom van minder dan 20 (nu in groen!) en minder dan 10mm (in zwart), met uiteraard aanzienlijk hogere kansen dan in het top panel en niet meer monotoon niet-stijgend. Voor gebieden kunnen analoge kansen berekend worden.

kans berekend op interval

Door over- en onderschrijdingen te combineren kan de kans op een interval berekend worden. In Fig. 8.2.2 staat de kans op een minimum temperatuur tussen -2 en +2 graden (in zwart) die bepaald is door middel van 2 condities, t.w. de minimum temperatuur (in EPS beschikbaar in stappen van 6 uur) is lager dan of gelijk aan +2°C (rood) en is groter dan -2°C (groen). De lijnen in de figuur zijn misschien beter te begrijpen aan de hand van het volgende. Als conditie 1 (bijvoorbeeld) $T < c_1$ is, met T temperatuur, en conditie 2 $T > c_2$, en $c_2 < c_1$ dan zoeken we de kans dat aan beide condities voldaan is, dus de kans dat $c_2 < T < c_1$, i.e. $P(C_1 \cap C_2)$, met verzamelingen ensemble leden C_1 en C_2 waarvoor geldt $C_1 : T < c_1$ en $C_2 : T > c_2$. Als $P(C_1) = 100\%$ dan $P(C_1 \cap C_2) = P(C_2)$, en idem met 1 en 2 verwisseld. Dan volgt dus als de rode of de groene lijn in de plot 100% is dat dan de zwarte lijn gelijk is aan de andere kleur. De zwarte lijn kan alleen van de rode en de groene lijn verschillen als zowel de rode als de groene lijn verschilt van 100%. Zo is op zaterdagmiddag in 90% van de ensemble leden aan C_1 voldaan, i.e. 10% lag boven c_1 dus buiten het interval, en ook in 90% van de ensemble leden is aan C_2 voldaan, i.e. 10% lag beneden c_2 dus buiten het interval, en hiermee dus 80% in het gevraagde interval.

Er geldt $P(C_1 \cup C_2) = P(C_1) + P(C_2) - P(C_1 \cap C_2)$ en de vereniging van de condities is hier 100%. Hierdoor is de gezochte $P(C_1 \cap C_2)$, de zwarte lijn in de figuur, gelijk aan $P(C_1) + P(C_2) - 100\%$.

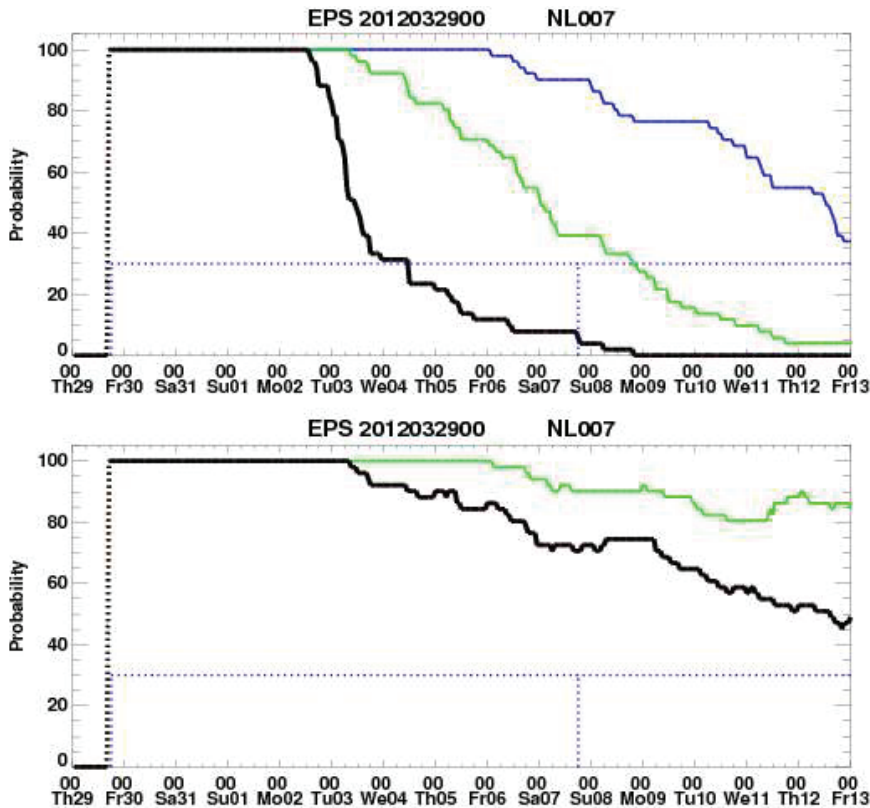


Fig. 8.2.1. Bovenste figuur: de kans dat de cumulatieve neerslag (vanaf donderdag 29 maart 2012 18 uur) minder is dan 20 mm (blauw), 10 mm (groen), 5 mm (zwart). Onderste figuur: de kans dat over de afgelopen 120 uur minder dan 20 mm (groen) c.q. 10 mm (zwart) valt. De curves zijn gebaseerd op 1 gridpunt van het EPS. De alerddrempel is 30%.

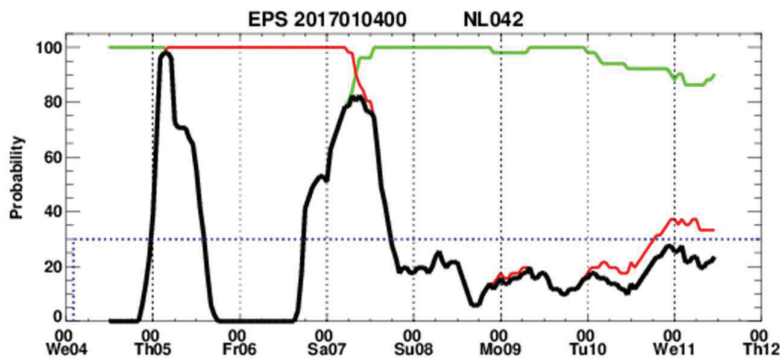


Fig. 8.2.2. PASCAL-run van 4 januari 2017 om 11 uur gebaseerd op de EPS-run van 00 UTC, met condities $TN \leq +2^\circ$ (rode lijn) en $TN > -2^\circ$ (groene lijn), voor een punt ergens in Friesland. In zwart de kans op het interval rond 0° .

kans berekend buiten interval

Het bovenstaande voorbeeld betrof de doorsnee van 2 condities, hier volgt een voorbeeld van de vereniging. Het is ontleend aan een vroegere vuistregel (uit de “Mureau tabellen”) waarin *mist* niet of verminderd zou optreden bij zuidoostelijke windrichting. Conditie 1 zou dan $dd \leq 90$ graden kunnen zijn en conditie 2 $dd > 180$ graden. De hier gevraagde $P(C_1 \cup C_2)$, aangegeven door de zwarte lijn in Fig. 8.2.3, is gelijk aan $P(C_1) + P(C_2)$, de afzonderlijke kansen zijn aangegeven door resp. de rode en groene lijn.

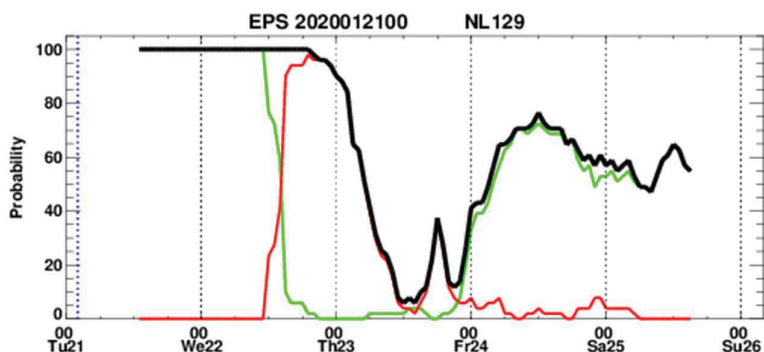


Fig. 8.2.3. Puntkans voor een EPS roosterpunt in de buurt van De Bilt gebaseerd op de PASCAL-run van 13 UTC op de 21^e januari 2020 onder de condities: windrichting ≤ 90 graden (in rood) of windrichting > 180 graden (in groen). In zwart staat de kans dat de wind niet zuidoost is.

8.3. Kansen in een time window; event probabilities

Misschien wel de meest belangrijke functionaliteit, zeker voor early warning systems, is de time window optie. We maken onderscheid tussen een tijdwindow toegepast op de afzonderlijke subprofielen (beschreven in deze paragraaf) en die toegepast op de combinatie van subprofielen (in paragraaf 8.4). Bij de berekening van de kans in een time window wordt de kans berekend dat voldaan wordt aan de gezochte conditie(s) *ergens in een tijdvenster*. Het is het equivalent van gebiedskans maar dan in de tijd.

Extreme weersituaties zijn vaak gekoppeld aan relatief kleinschalige fenomenen (fronten e.d.) waarvan de precieze tijd van passeren zeker bij hogere lead times erg onzeker is. Op deze termijnen is het precieze tijdstip in veel gevallen ook vaak minder belangrijk en ligt de focus meer op het al of niet voorkomen van het event.

De time window-optie verdisconteert de onzekerheid in de timing van het (extreme) weer (soms ook wel fase“fout” genoemd). Door gebruik van deze optie wordt ook duidelijk of de “instantane” kansen op opeenvolgende tijdstippen in het EPS gegenereerd worden door verschillende ensemble leden, en dus tot 1 event gerekend kunnen worden met een timing verschil, of tot meerdere events, een essentieel verschil in het kader van waarschuwingen. Bij een goed gekozen window is de *event probability*, de kans dat het event optreedt ongeacht tijd, gelijk aan de maximale windowkans.

Zonder toepassing van een window worden bij toenemende forecasttijd de kansen in de tijd “uitgesmeerd” (e.g. de verdeling van de categorieën in stacked bars plots steeds homogener) en ontstaat de indruk dat extremen niet voorkomen of een erg lage kans hebben. Dit is niet alleen het gevolg van *regression to the mean* maar tevens in belangrijke mate het gevolg van het groeiende verschil in fase tussen de ensemble leden bij toenemende forecasttijd.

Een time window kan in PASCAL gegeven worden per criterium en als het risicoprofiel bestaat uit meerdere subcriteria dan kunnen ook deze ieder een time window bevatten. Deze mogen verschillend zijn voor elk subprofiel. Door de windows hoeft er niet meer exact op hetzelfde tijdstip aan deze subcriteria voldaan te zijn.

De 3 hieronder beschreven voorbeelden zijn indertijd gemaakt om het nut van het gebruik van windowkansen voor de waterschappen onder de aandacht te brengen. De voorbeelden tonen de 3 meest opvallende eigenschappen van windowkansen. Door de betere skill en hogere resolutie van het huidige EPS zullen de getoonde effecten iets minder prominent zijn maar zijn nog steeds aanwezig.

1. windowkansen signaleren events eerder

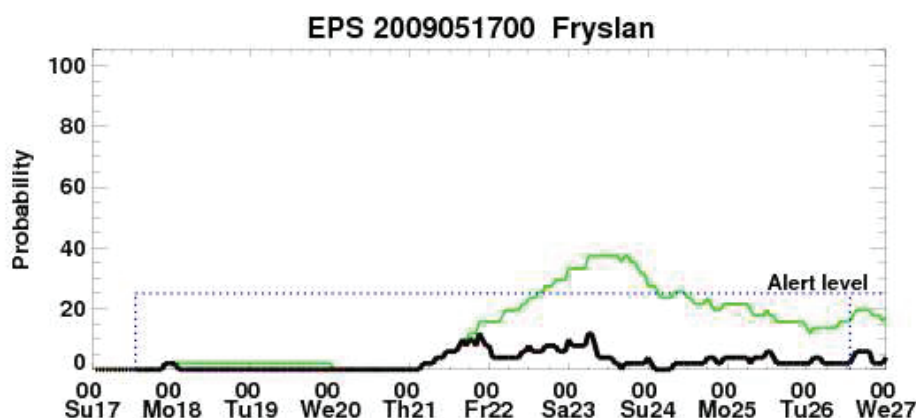


Fig. 8.3.1. In zwart de kans op tenminste 10mm per 12 uur, in groen de kans op dezelfde intensiteit maar in een time window van 48 uur. Het betreft de EPS-run van 17 mei 2009 00 UTC voor een representatief roosterpunt binnen wetterskip Fryslan.

Het eerste voorbeeld (Fig. 8.3.1) betreft een situatie waarin over een lange tijd in de forecast de ‘instantane’ kans op neerslag van 10 mm per 12 uur (zwarte lijn) laag maar niet 0 is en ruim beneden de kritieke drempel van 25% ligt. Het betreft 1 representatief EPS roosterpunt in het wetterskip Fryslan. Bedenk dat de gridboxen van het EPS in 2009 een grootte hadden van ca 50 x 50 km. De time windowkans (groene lijn) met een window van 48 uur bereikt echter een factor 4 hogere waarde en deze ‘event probability’ overschrijdt de drempel ruimschoots. Blijkbaar wordt het criterium gehaald in veel verschillende leden maar op verschillende tijdstippen. Door alleen te kijken naar instantane kansen bestaat het gevaar dat mogelijke events zwaar onderschat worden en niet of te laat gesignaleerd worden, met potentieel desastreuze gevolgen voor het treffen van voorzorgsmaatregelen.

Een time window van 48 uur lijkt erg lang maar was op een forecast range van ca een week of langer blijkbaar vaak zinvol in 2009. Voor het hedendaagse EPS volstaat meestal een window van 12 tot 24 uur tot aan dag 10, maar is sterk afhankelijk van het doel (gebruiker) en de grootte (voorspelbaarheid).

2. windowkansen zijn minder springerig

In dit voorbeeld kijken we naar 2 opeenvolgende EPS-runs voor hetzelfde roosterpunt in wetterskip Fryslan, weer uit 2009 met een window van 48 uur en een criterium voor neerslagintensiteit van 10 mm in 12 uur.

Er is een groot verschil in instantane kansen tussen de 2 opeenvolgende runs. De piek rond de 11^e juni is veel groter geworden en die rond de 15^e juist lager. De windowkans varieert veel minder, is in beide runs maximaal ca 30% voor de 2 ‘events’, en is in de 00-uur run (ruim) 3 keer hoger dan de instantane. Blijkbaar is er grote onzekerheid over het tijdstip van optreden, die echter in de latere run voor het eerste event volledig is verdwenen. De 5% van de gevallen (2 leden) aan het eind van donderdag de 11^e betrof dus blijkbaar leden die ook al op een eerder tijdstip tenminste 10 mm in 12 uur hadden gegeven. Voor het tweede event lijkt de onzekerheid in de timing juist toegenomen, maar niet de kans op het halen van het criterium ergens in een 48-uurs interval.

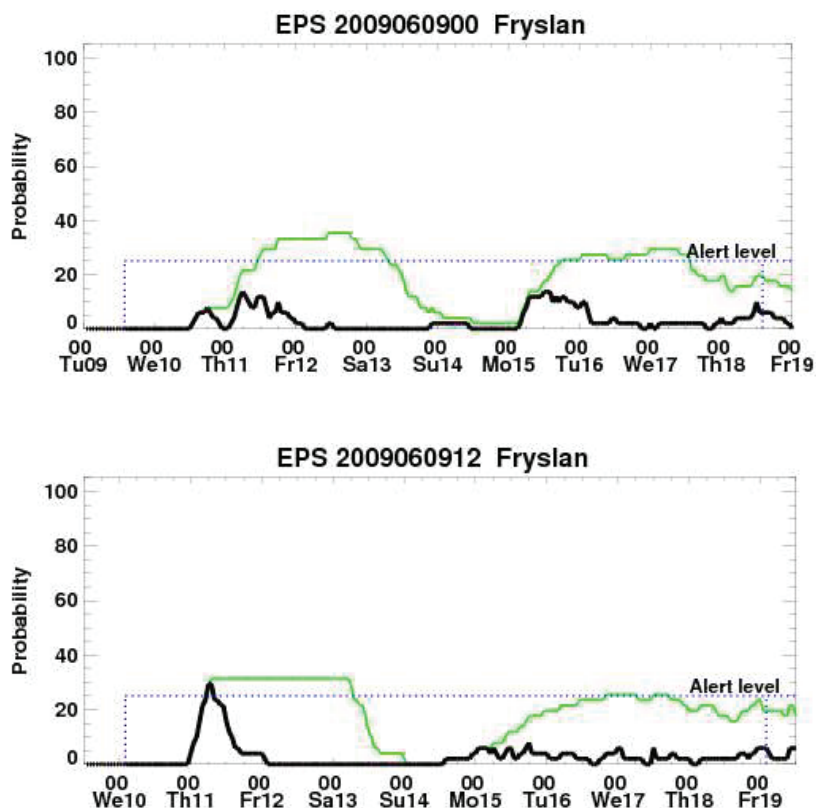


Fig. 8.3.2. De instantane (zwart) en windowkansen (groen) op meer dan 10 mm / 12 uur gebaseerd op de EPS-runs van 00 (boven) en 12 UTC (beneden) van 9 juni 2009 voor een representatief roosterpunt in wetterskip Fryslân. Het time window is 48 uur. De alertdrempel is 25%.

3. de window en instantane kansen naderen elkaar bij kortere lead times

Tenslotte een voorbeeld (Fig. 8.3.3) van 4 opeenvolgende EPS-runs uit 2007 voor de kans op meer dan 10 mm per 12 uur wederom voor het roosterpunt in Fryslân, maar nu met een time window van 24 uur (in groen). De instantane kans is weer gegeven in zwart.

We zien wederom dat de (maximale) windowkansen (de event probability) veel minder varieert in de opeenvolgende runs. De instantane kans groeit voor kortere lead times stapsgewijs naar de windowkansen en is hier op dag 5 in de forecast al vrijwel even groot. Meestal gebeurt dit pas op veel kortere lead times (zie ook Fig. 8.3.2).

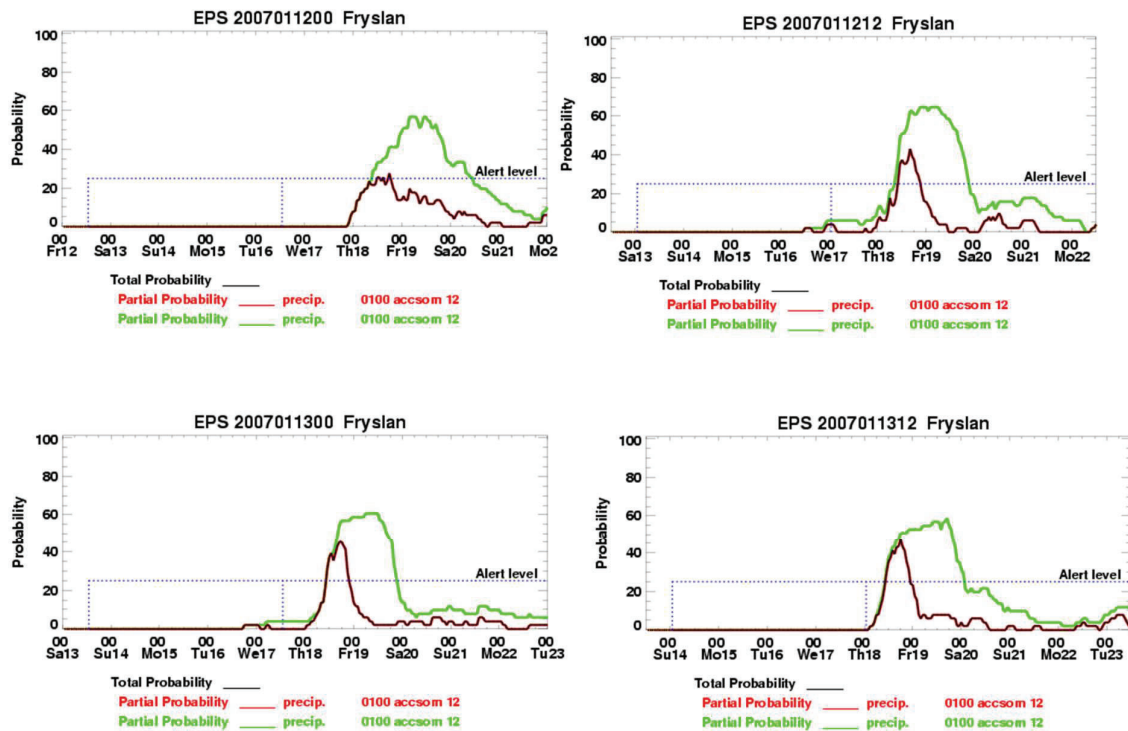


Fig. 8.3.3. Instantane (zwart) en windowkansen (groen) op meer dan 10 mm / 12 uur voor een roosterpunt in Fryslan voor 4 opeenvolgende EPS-runs van 12 en 13 januari 2007 (van links boven naar rechts onder). Het time window is 24 uur en de alertdrempel is 25%.

time until impact

Zoals in hoofdstuk 4 beschreven is leveren windowkansen directe informatie over de beschikbare tijd voordat het fenomeen optreedt. In Fig. 8.3.4 wordt een willekeurig voorbeeld gegeven van de gebieds(window)kansen op onweer voor ‘open water’ (voornamelijk het IJsselmeer). De kans op onweer wordt in dit voorbeeld bepaald door een combinatie van CAPE en convectieve neerslag. De event probability is 50%. Het alert level van 30% is idealiter het resultaat van een cost-loss analyse of een andere min of meer objectieve afweging. Hierin zal ook de tijd meegewogen zijn die het kost om die maatregelen uit te voeren en effect te laten hebben (e.g. boten van het water te krijgen). Het alert level wordt bereikt rond 11 UTC, ca 11 uur na de start van de run. De tijd tot het optreden van het event ergens in het gebied is mogelijk veel korter dan die tijd. De voorbereidingstijd is minimaal 5 uur (om 06 UTC is de windowkansen namelijk niet meer 0) en de zekerheid van een langere tijd neemt langzaam af tot een 70% kans op een voorbereidingstijd van 11 uur. In praktijksituaties zal voor deze korte voorspeltijd uiteraard gebruik gemaakt worden van meer lokale kansinformatie.

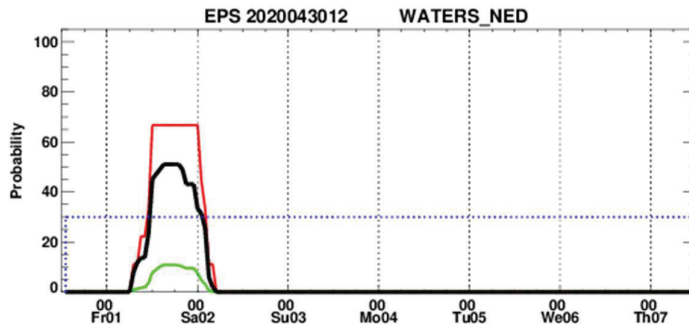


Fig. 8.3.4. Gebiedskans (in zwart) voor onweer voor ‘open water’ (vnl. IJsselmeer). In groen staat de gemiddelde puntkans. In rood het percentage punten waarin tenminste 1 ensemble lid aan de criteria voldoet.

8.4. Overall window

Overall (time) windows kunnen gebruikt worden om de onzekerheid van een event te beschrijven dat gedefinieerd is door meerdere (sub)condities. Deze condities kunnen zelf ook weer een window bevatten (zie paragraaf 8.3). Een voorbeeld hiervan is neerslag gevolgd of voorafgegaan door uitstraling, zoals bijvoorbeeld horend bij een koufrontpassage. De keuze van de afzonderlijke time windows wordt bepaald door de tijden waarin in ieder ensemble lid de neerslag en de uitstralingscondities van elkaar mogen verschillen. De onzekerheid van bijvoorbeeld de timing van het koufront wordt verdisconteerd door het overall window. De onzekerheid van events die bepaald zijn door condities die op hetzelfde moment gelden (bijvoorbeeld hoge temperatuur en vochtigheidsgraad bij hittestress) wordt ook verdisconteerd door een overall window (en niet door aparte windows op de subcondities). Als het risicoprofiel bestaat uit 1 criterium dan geeft het gebruik van een time window en het overall window hetzelfde resultaat.

In het volgende voorbeeld (Fig. 8.4.1) wordt het effect van een overall window geïllustreerd met een risicoprofiel bestaande uit 2 (sub)criteria met wel of niet een time window. In alle 6 panels betreft het dezelfde fysische criteria: 2-meter temperatuur van $\leq +1^\circ\text{C}$ (de kansen daarop zijn aangegeven in rood) en een 6 uursom van vloeibare neerslag (RR) van meer dan 0.3mm (in groen), maar met verschillende combinaties van time windows en overall windows (aangegeven onder ieder panel). De combinatie van deze 2 criteria kan gezien worden als indicatie voor het voorkomen van gladheid. Alle windows zijn 1 of 6 uur; een window van 1 betekent dat de instantane kans wordt berekend¹⁸. Alleen in de 2 onderste panels is een overall window (windowall) toegepast. De linker 3 panels hebben geen time window voor neerslag, de rechter 3 panels wel. In de middelste rij en in het laatste panel heeft T2m een window, in de rest niet. In zwart staat de kans dat aan beide criteria is voldaan, met hierin de windows verwerkt. Het betreft een EPS-run van 16 december 2017 voor een roosterpunt in het centrum van Nederland.

Het eerste panel toont de instantane kansen, waarbij er vrijwel geen overlap in de tijd is tussen de neerslag en temperatuur beneden 1°C , resulterend in een gecombineerde kans van minder dan 10%. In het tweede panel staan we toe dat de neerslagsom voor verschillende leden bereikt mag zijn op uren binnen een tijdwindow van 6 uur. Hiermee worden ook situaties meegenomen waarin het al iets langer geleden is dat de neerslag gevallen is; met andere woorden, situaties waarin het wegdek nog nat zou kunnen zijn als de temperatuur het vriespunt nadert. Blijkbaar

¹⁸ Dus effectief geen time ‘window’ omdat 1 uur de kleinste tijdstap van het PASCAL-model is (zie §8.1).

was dat in ca de helft van de leden het geval. In het derde panel passen we een window van 6 uur toe op de T2m en niet op neerslag. Dit heeft geen gevolgen voor de kans voor zondagmorgen, maar wel voor op het eind van de dag. Het gaat hier dus om situaties waarbij het eerst koud was en de neerslag valt op koude grond, met mogelijke gladheid tot gevolg. In het vierde panel is zowel een window toegepast op temperatuur als op neerslag. Dit verdisconteert situaties waarin het erg koud is geweest en er neerslag valt ongeacht of de neerslag nu voor of na de lage temperaturen optreedt. De kans is nu de vereniging van panels 2 en 3.

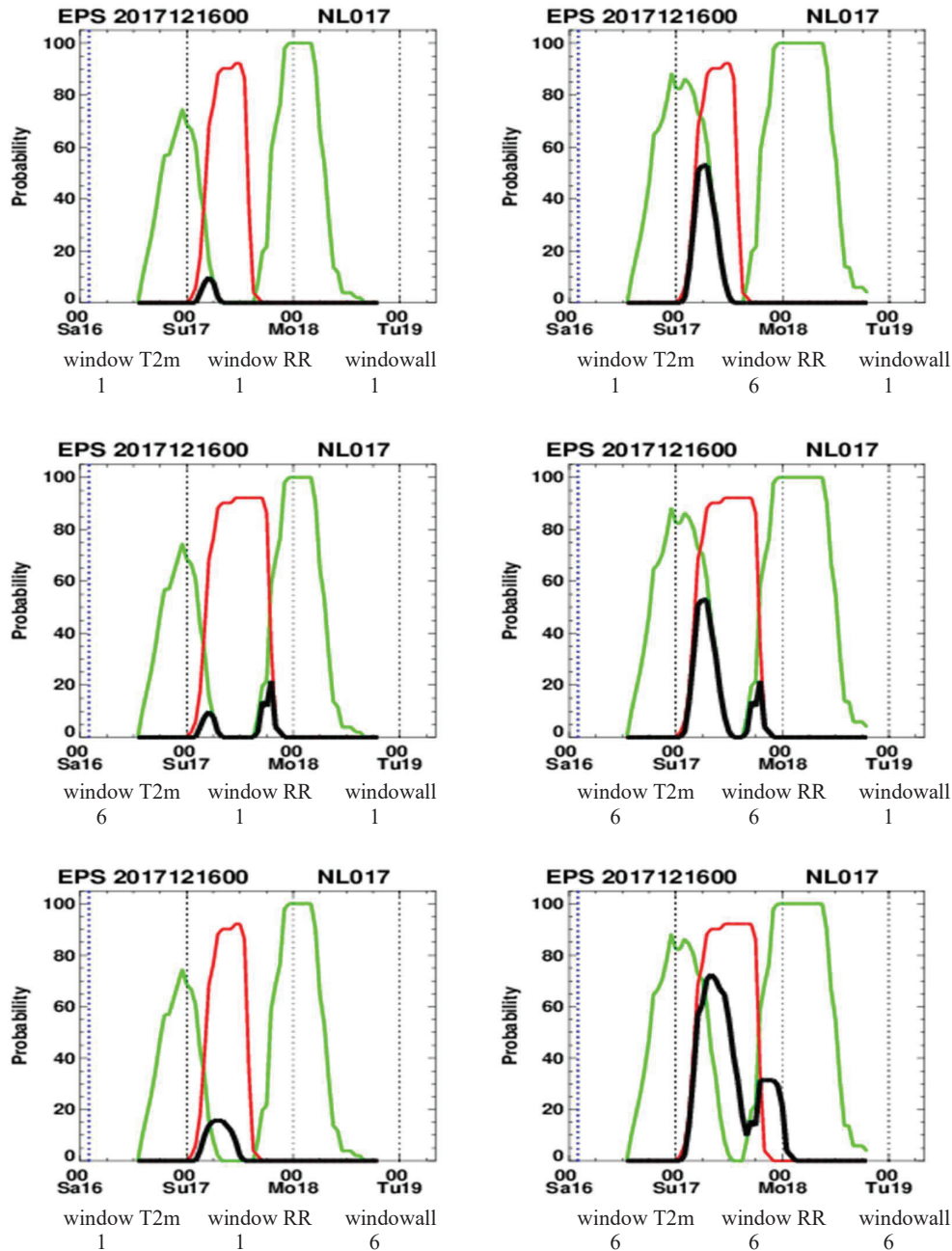


Fig. 8.4.1. De kansen dat aan 2 (gladheids)criteria voldaan wordt onder de volgende time window condities: instantane kansen (top linker panel), een windowkans voor alleen neerslag (RR, rechts boven) en alleen T2m (midden links) en voor beide (midden rechts). Tenslotte een overall window toegepast op de situaties in panels 1 en 4 resp. Zie verder de tekst.

In de onderste 2 panels staat het effect van een overall window van 6 uur toegepast op de subcriteria samen met in beide subcriteria resp. geen en wel een time window. Het effect is te zien door vergelijking van panel 5 met panel 1, en van panel 6 met panel 4. In het eerste geval verhoogt de overall window de maximale kans met ca 5%, i.e. slechts 2 nieuwe leden voldoen aan de criteria. In het tweede geval is het effect veel groter, zowel voor de zondagochtend als voor de avond, en stijgt de event kans van 50 naar 70%.

Dit (geïdealiseerde) voorbeeld laat zien dat simpelweg door combinaties van criteria voor temperatuur en neerslag te bekijken waar niet meer gelijktijdig aan voldaan hoeft te worden, hetgeen zeer realistisch is voor de kans op gladheid, de event probability aanzienlijk hoger is dan de instantane EPS-kans laat zien; hier van 10 naar ca 70% bij een tijdvenster van 6 uur.

Alle voor- en nadelen van time windows zoals besproken in hoofdstukken 3 en 4 en bij de voorbeelden uit paragraaf 8.3 gelden onverminderd voor het overall window.

8.5. Coïncidenties (doorsnedes en verenigingen van condities)

Coïncidenties zijn gebeurtenissen die gelijktijdig optreden of waarvan de effecten gelijktijdig gevoeld worden. Te denken valt aan 2 of meer fenomenen die meteorologisch aan elkaar gekoppeld zijn of elkaar snel opvolgen, maar ook aan een ‘toevallige’ (niet-causale) samenloop van fysische omstandigheden die potentieel aanleiding geven tot extra alertheid of extra maatregelen. De focus ligt uiteraard op coïncidenties die relatief grote gevolgen kunnen hebben. Niet alleen als gevolg van het samenkomen van 2 (of meer) extreme situaties (e.g. hoge rivierstanden en veel regen in aangrenzende waterschappen) maar ook als gevolg van 2 (of meer) min of meer ‘alledaagse’ verschijnselen die alleen in samenhang heftige gevolgen kunnen hebben (e.g. een beetje regen bij temperaturen net onder 0).

In de simpelste vorm kunnen coïncidenties beschreven worden als een verzameling condities waaraan al of niet gelijk voldaan wordt; ieder (deel)event kan weer bestaan uit meerdere subcriteria. In PASCAL is het aantal op te geven condities vrijwel onbeperkt waardoor events in principe zeer goed te definiëren zijn.

Hieronder geven we 3 voorbeelden van coïncidenties.

1. *combinatie van neerslag, wind en opzet t.b.v. wetterskip Fryslan*

Voor een waterschap is een grote hoeveelheid neerslag minder problematisch als die gemakkelijk geloosd kan worden. Door de lozingsmogelijkheden, voor zover meteorologisch, te verdisconteren in de risicoprofielen kan er veel beter gewaarschuwd worden voor de situaties waarvoor het echt nodig is. Dit was de achtergrond van een experiment uitgevoerd samen met het wetterskip Fryslan (Kok et al, 2011a).

Na een relatief droge periode kan het wetterskip Fryslan een 2-daagse neerslagsom van wel 40 mm (gebiedsgemiddeld) gemakkelijk verwerken, mits het maar niet te snel achter elkaar valt. Maar als er bijvoorbeeld enkele dagen lang een sterke wind uit noordwestelijke richtingen waait dan kan het zgn. verhang in de boezems van het wetterskip tot meer dan een meter oplopen (pers. comm., Pier Schaper), d.w.z. dat de waterstand in de boezems in het noordwesten veel lager is dan normaal en in het zuidoosten juist hoger. Dit beperkt de spui mogelijkheden naar Waddenzee en IJsselmeer waar Fryslan in hoge mate van afhankelijk is om het overtollige water kwijt te raken. De situatie verergert nog als er gelijktijdig sprake is van hoge opzet langs de kust.

In Fig. 8.5.1 staat een voorbeeld, gebaseerd op de EPS-run van 15 januari 2007 12 UTC, met een risicoprofiel bestaande uit 3 (sub)condities voor neerslagsom, opzet en voor wind uit het NW. De drempel voor cumulatieve neerslag is 25 mm beginnend vanaf dinsdag de 16^e om 00 UTC, en het criterium voor wind is een 48-uur gemiddelde windvector uit NW van meer dan 10 m/s. Daarnaast een criterium voor de opzet in Harlingen van meer dan 1.5 meter boven NAP, als proxy voor de (on)mogelijkheid om op de Waddenzee te kunnen spuien. Als aan deze 3 condities tegelijk voldaan wordt ontstaat een gevaarlijke situatie voor het wetterskip. De extra condities naast de neerslagconditie voorkomen in het algemeen dat er te vaak overbodig gewaarschuwd wordt (vergelijk rode met zwarte lijn). In dit experiment werd nog 1 centraal in Friesland gelegen gridpunt van het EPS gebruikt dat toen een resolutie had van ca 50 x 50 km.

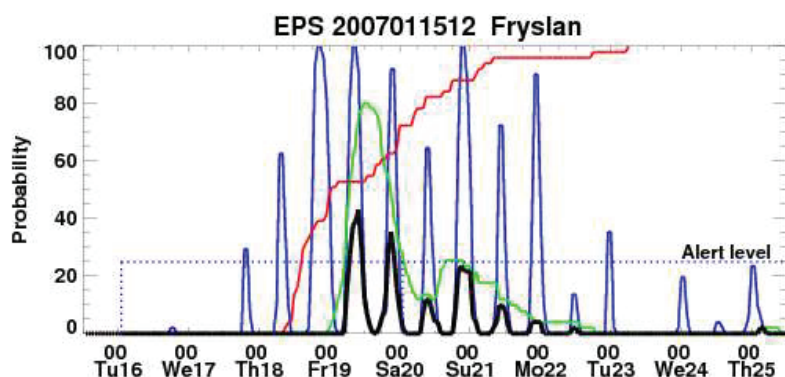


Fig. 8.5.1. Overschrijdingskans (in zwart) op het gelijktijdig voorkomen van geaccumuleerde neerslag van > 25 mm (rood), aanhoudende NW-elijke wind > 10m/s (groen) en een waterstand in Harlingen van > 1.5 meter +NAP (blauw). Alertdrempel 25%. Het betreft 1 roosterpunt in het wetterskip Fryslan. (Overgenomen uit Kok et al., 2011a)

Het is beter om niet de geaccumuleerde neerslag in het risicoprofiel op te nemen omdat een deel van de neerslag meestal tussentijds geloosd of weggepompt kan worden. Een ‘lopende’ neerslagsom criterium dat hiermee rekening houdt is daarom realistischer. In het onderstaande voorbeeld van een neerslag event in Fryslan met veel opzet (Fig.8.5.2) is als criterium genomen een maximale hoeveelheid neerslag van 25 mm per 48 uur (rode lijn). De PASCAL-run is van 28 september 2019 om 19 UTC en gebruikt de EPS-run van 00 UTC. De plot begint dus om 19 uur, maar de 48-uurssom neerslag maakt in dit geval ook gebruik van reeds gevallen neerslag tot dit tijdstip, gebaseerd op gebiedsgemiddelde radarwaarnemingen (zie ook paragraaf 8.11). Het opzet criterium is hier 1.20 boven NAP¹⁹, met de kans daarop in groen. In dit risicoprofiel is geen windcriterium opgenomen en er is geen gebruik gemaakt van time windows.

Bij dit risicoprofiel wordt er dus van uitgegaan dat tot een hoeveelheid neerslag van 25 mm per 48 uur er geen problemen zullen optreden mits er maar voldoende gespuid kan worden, en men gewaarschuwd wil worden als er onderbrekingen hiervan zijn met een kans van 25% of hoger. In zwart staat dus de kans dat er niet gespuid kan worden bij Harlingen op de tijden dat er in de 48 uur daar voorafgaand meer dan 25 mm gevallen is. In de 2^e periode van mogelijk veel recente neerslag (dinsdag t/m woensdag) zeggen de instantane kansen weinig over de totale kans op een of meer spuibeperkingen. Bij de 1^e periode (zondag en maandag) wel omdat daar de kans 100% is op tenminste 1 onderbreking. Aan het einde van de verwachtingstermijn worden er ook spui beperkingen verwacht maar wordt er geen kritische hoeveelheid neerslag verwacht.

¹⁹ In dit voorbeeld is de 1.20 boven NAP wel veel te hoog genomen daar de target waterstand in de boezem in Fryslan -50 cm is (Janssen, 2015).

Een relevanter risicoprofiel is om naast een neerslagcriterium een criterium op te nemen voor de duur van de spuibeperkingen in 1 of meerdere getijcycli (zie paragraaf 8.8).

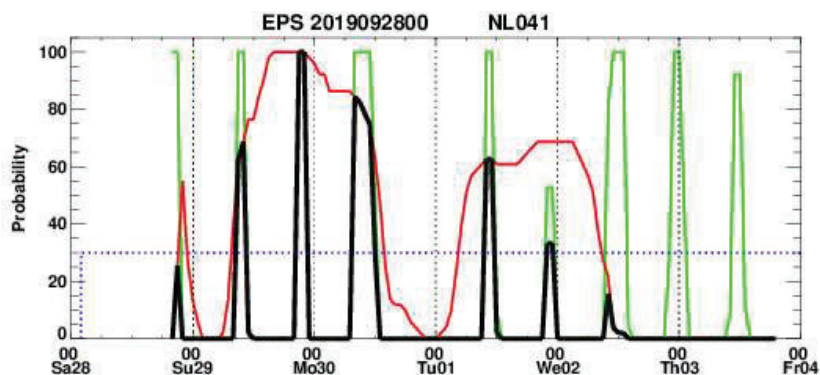


Fig. 8.5.2. Gecombineerde kans op meer dan 25 mm neerslag in de afgelopen 48 uur (in rood) en een waterstand van meer dan 1.20 m bij Harlingen (in groen) voor een roosterpunt in het NW van Fryslan, gebaseerd op de EPS-run van 28 september 2019.

De neerslagsituatie in de betreffende week was dusdanig dat het Woudagemaal moest worden bijgeschakeld.

2. combinatie van weersituaties lijdend tot gladheid

Het code Oranje criterium voor gladheid in de MeteoAlarm-module (Appendix C) voor dag 2 t/m dag 5 is een combinatie van subcriteria voor minimum temperatuur, dauwpuntsdepressie, neerslag en bewolking, waar tegelijk aan voldaan moet zijn:

$$\begin{aligned} TN &\leq +0.5^{\circ}\text{C} \\ T-T_d &\leq 1.0^{\circ}\text{C} \\ RR &> 0.3 \text{ mm in 6 uur} \\ N &\leq 40\% \end{aligned}$$

Bovendien wordt er een overall time window toegepast van 12 uur (en uiteraard geen time window voor de 4 afzonderlijke criteria).

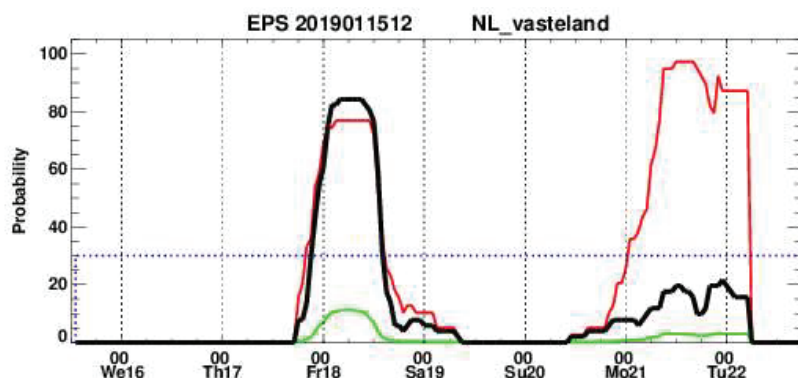


Fig. 8.5.3. Gebiedskans (in zwart) voor Nederland (minus Waddenzee en IJsselmeer) voor het MeteoAlarm criterium voor code Oranje, gebaseerd op 4 criteria (zie tekst) met een overall window van 12 uur. In groen staat de gemiddelde puntkans van de roosterpunten van het gebied, in rood de kans dat minstens 1 ensemble lid voldoet aan de combinatie van criteria.

In Fig. 8.5.3 staat de gebiedskans voor het hele vasteland van Nederland (is geen apart MeteoAlarm gebied) gebaseerd op de EPS-run van 15 januari 2019 12 UTC. Code oranje werd voor verschillende MeteoAlarm gebieden gehaald. De gebiedskans is extreem hoog op vrijdag de 18^e maar als de gladheid optreedt (in de verwachting volgens het criterium) dan wordt maar een beperkt gebied aangedaan: de conditionele coverage is slechts ruim 10%.

3. combinatie van sneeuw en wind gusts (t.b.v. ProRail)

De dienstregeling van de treinen in Nederland kan o.a. ontregeld worden door sneeuw, onweer, veel wind en hitte. Om op problemen te kunnen anticiperen wil ProRail zo vroeg mogelijk gewaarschuwd worden. Voor bijvoorbeeld sneeuw is dit al bij een kans van 10% op “enige sneeuw” ergens in een van hun 5 hoofdregio’s. Zie Appendix D. Maar in de meeste gevallen is sneeuwval tot enkele centimeters per uur geen enkel probleem. Alleen in combinatie met veel wind kunnen er problemen ontstaan met wissels die niet meer sneeuwvrij gehouden kunnen worden. Daarom ligt het meer voor de hand om een risicoprofiel te definiëren waarin beide criteria samen genomen worden.

In het voorbeeld zijn de criteria: meer dan 5 cm sneeuw in 12 uur tijd en wind gusts van meer dan 12 m/s. In Fig. 8.5.4a staat de gebiedskans voor Regio Zuidoost, in Fig. 8.5.4b staan de puntkansen voor de 3 gridboxen waar deze regio in 2010 door ‘bedekt’ werd. Roosterpunt NL004 is het meest westelijke punt, roosterpunt NL005 ligt oostelijk hiervan 4 en roosterpunt NL001 ligt ten Z van roosterpunt NL005. De PASCAL-run is van 23 dec 2010 om 01 UTC en maakt gebruik van de EPS-run van de middag van de dag daarvoor.

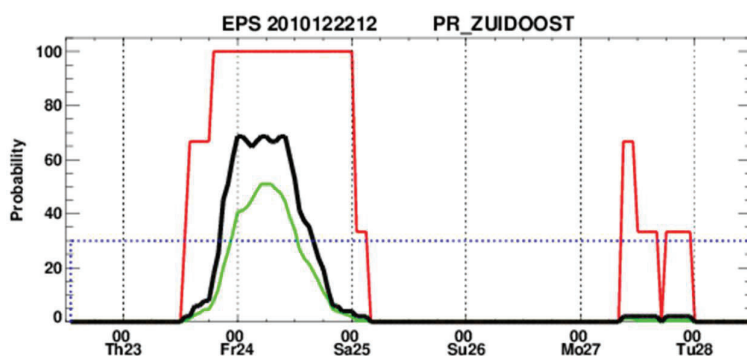


Fig. 8.5.4a. Gebiedskans voor ProRail regio ZO (in zwart), gebaseerd op criteria voor sneeuw en wind gusts afkomstig van de EPS-run van 22 dec 2010 12 UTC. De unconditionele coverage staat gegeven in groen en de kans dat minstens 1 ensemble lid voldoet in rood.

Zoals te zien is in Fig. 8.5.4b nam de kans op sneeuw van meer dan 5 cm toe vanuit het ZO. De kans op windstoten > 12 m/s was veel groter in de noordelijke roosterpunten (4 en 5) en het grootst in het NW-punt (4). Het gelijktijdig voldoen aan beide criteria vindt het eerst plaats in het N en waar ook de kansen het hoogst zijn. De gebiedskans op het voldoen aan beide criteria is uiteraard groter dan de 3 puntkansen.

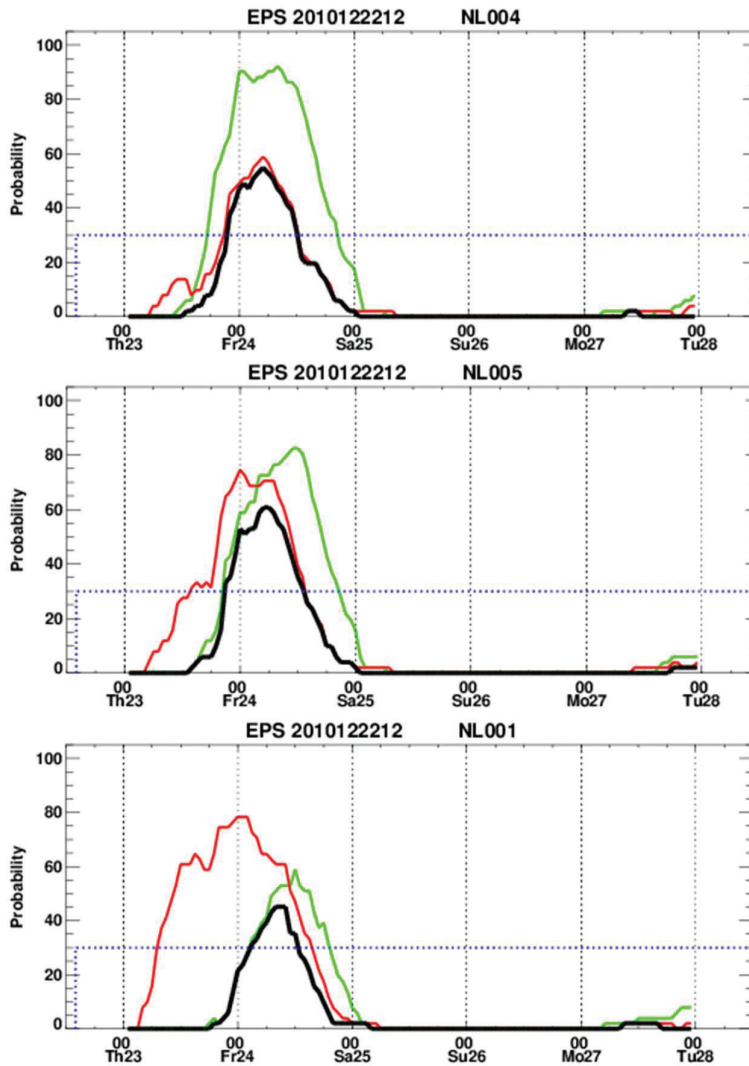


Fig. 8.5.4b. Puntkansen voor de 3 roosterpunten van de ProRail regio ZO. In rood de kans op meer dan 5 cm sneeuw in 12 uur, in groen de kans op wind gusts van meer dan 12 m/s. In zwart de gecombineerde kans. Er is geen time window toegepast. Roosterpunt 4 is het meest westelijke punt, roosterpunt 5 ligt oostelijk van 4 en roosterpunt 1 ligt ten Z van roosterpunt 5.

8.6. Willekeurig aantal doorsneden (\cap) en/of verenigingen (\cup) per risicoprofiel

algemeen

Een risicoprofiel mag bestaan uit een willekeurig aantal subprofielen (condities) - voorlopig gezet op 70 - en deze mogen bestaan uit willekeurige (blokken van) doorsneden en verenigingen. Zo'n risicoprofiel zou er dus in zijn algemene vorm als volgt uit kunnen zien:

$$(A_1 \cap A_2 \cap (A_3 \cup A_4)) \cup (B_1 \cap B_2) \cup (C_1 \cap C_2 \cap C_3 \cup C_4) \dots \dots$$

met als voorbeeld voor een winters risicoprofiel:

$$(sneeuw\ criterium) \cup (gladheid\ criterium) \cup (extreme\ kou\ criterium)$$

met A_i subcriteria voor sneeuw, B_i de subcriteria voor gladheid, etc.

Deze optie zou ook gebruikt kunnen worden als de kans bepaald moet worden op het voorkomen van gladheid die veroorzaakt wordt door alle mogelijke winterse omstandigheden, zoals uitstraling, op- of aan-vriezing, sneeuw, vorst na regen, etc. (zie weeralarmcriterium). Dit kan samengevoegd worden in 1 risicoprofiel dat er als volgt uit kan zien:

$(\text{gladheid agv sneeuw}) \cup (\text{agv andere neerslag}) \cup (\text{agv uitstraling}) \cup (\text{agv aanvriezing})$

met tussen de haken de afzonderlijke criteria voor de 4 blokken (die ook weer doorsneden en/of verenigingen van criteria kunnen zijn). Deze 4 blokken zouden ook eventueel weer gebruikt kunnen worden als gladheids criterium in het bovenstaande winterse risicoprofiel.

Een analogon in de zomer kan zijn:

$(\text{hitteplan criterium}) \cup (\text{hittedag criterium})$
eventueel aangevuld met
 $(\text{hevig onweer criterium}) \cup (\text{zware neerslag criterium})$

weersafhankelijke (extra) inzet²⁰

Bovenstaande voorbeelden zouden gebruikt kunnen worden voor de bepaling of weersafhankelijke (extra) inzet nodig is, in respectievelijk winter en zomer: als de kans op het voorkomen van ten minste een van de gevaarlijk weer criteria (zonder te bepalen welke) boven een bepaalde afgesproken drempel is (e.g. 'multi-hazards') zou iemand extra op dienst geroepen kunnen worden. De criteria zijn in dit geval de criteria waarvoor extra inzet gewenst is. Dit kunnen de criteria zijn voor code geel, oranje of rood, eventueel per onderdeel verschillend, en zijn afhankelijk van of en hoeveel extra menskracht nodig is bij welke alarmcode en gevaarlijk weer item. Maar ook als voor geen van de items een code gehaald wordt kan alsnog de combinatie wel aanleiding zijn tot extra bemensing op dienst. Tenslotte kunnen naast de gevaarlijk weer criteria zo nodig extra criteria toegevoegd worden voor situaties die ook extra menskracht vereisen. Als er situaties bestaan waarin niet 1 maar 2 extra mensen opgeroepen zouden moeten worden dan is het handig om hiervoor aparte risicoprofielen te maken, ieder bestaande uit de vereniging van situaties waarvoor 1 c.q. 2 mensen extra nodig zijn.

Uiteraard moet er gebruik gemaakt worden van time windows; het gaat bij weersafhankelijke inzet niet om instantane kansen maar om de kans dat het tekort aan inzet zich voordoet binnen 1 dienst. Het time window hangt dus samen met de duur van de shifts van de forecasters. Dit komt neer op ca 12 uur, rekening houdend met het feit dat EPS-gegevens om de 3 uur, en voor lead times vanaf +144 om de 6 uur beschikbaar zijn.

De kansdrempel in het risicoprofiel moet idealiter bepaald worden uit een cost-loss analyse waarin een schatting gemaakt wordt van de losses die geleden worden als er geen of niet op tijd extra mensen aanwezig zijn als dat nodig blijkt (e.g. niet op tijd alle klanten kunnen bedienen en waarschuwen, boze klanten, pr-schade, etc.). De kosten zijn de kosten van het opgeroepen personeel. De responstijd, de tijd die nodig is om voorzorgsmaatregelen te treffen, is hier de tijd die het (minimaal) duurt voordat extra personeel beschikbaar kan zijn.

²⁰ Een zeer voorlopige, verkennende studie naar het gebruik van kansverwachtingen voor weersafhankelijke inzet is in 2004 uitgevoerd i.s.m. Marcel Molendijk.

8.7. Construeren van nieuwe elementen

In het PASCAL-systeem bestaat de mogelijkheid om met behulp van de elementen die aanwezig zijn in het ensemble nieuwe grootheden te construeren. Dit is bijvoorbeeld gedaan voor de gevoelstemperatuur en de hitte stress index (sub a. en b.) die beide weer als tijdserie over de hele forecast range als nieuw ‘ensemble lid’ beschikbaar zijn. Ook de projectie van de wind op een willekeurige windrichting is standaard beschikbaar (zie sub d.).

Daarnaast bestaat de mogelijkheid om correcties op bestaande EPS elementen uit te voeren mits die correcties geen gebruik maken van andere dan EPS elementen. De simpelste vorm is het toepassen van bias correcties. We geven onder c. een voorbeeld van een ‘gids’ voor de maximum temperatuur, die een correctie geeft onder zonnige (model)condities. Deze functionaliteit kan mogelijk ook gebruikt worden om andere zgn. *member-by-member* methodes (e.g. Van Schaeybroeck and Vannitsem, 2014; Schefzik, 2017) toe te passen die het voordeel hebben dat de aangepaste modelverwachtingen consistent blijven in ruimte en tijd. Dit in tegenstelling tot statistische post-processing technieken (gidsen) die vaak afgeleid worden apart per forecasttijd en per plaats, en daarnaast vaak een aanpassing genereren van de gehele of een deel van de forecast pdf (in plaats van per ensemble lid).

Als in een risicoprofiel de aangepaste of nieuwe ensemble leden gecombineerd worden met de leden van andere elementen moet men er op bedacht zijn dat veel van de member-by-member methoden, en ook de methode gegeven onder c., slechts een aanpassing leveren per weerelement waardoor de consistentie met andere grootheden verloren kan gaan. Om deze consistentie te behouden zijn weer andere technieken nodig (e.g. Schefzik, et al., 2013). De member-by-member methodes zitten niet standaard in PASCAL.

a. gevoelstemperatuur

De gevoelstemperatuur of wind chill equivalent temperature (WCET) is gedefinieerd als de temperatuurervaring die een gezonde, volwassen persoon van normale lengte ondervindt lopend in de buitenlucht met een snelheid van 4.8 m/s, gekleed op de kou en in een situatie met weinig of geen zon, en is een maat voor het warmteverlies op een koudere dag. Het verschil tussen de (gemeten) luchttemperatuur en de (berekende) gevoelstemperatuur geeft het effect van de wind op warmteverlies weer.

De gevoelstemperatuur kan worden berekend uit een combinatie van luchttemperatuur en windsnelheid. Maar naast wind en temperatuur kunnen ook zonnestraling en luchtvochtigheid een rol spelen bij de gevoelswaarde van de kou. De sinds 2009 op het KNMI gebruikte definitie (Groen, 2009) is in 2001 ontwikkeld door de Joint Action Group on Temperature Indices (JAG/TI). De formule voor de gevoelstemperatuur G op basis van JAG/TI luidt:

$$G = 13.12 + 0.6215 T - 11.37 (3.6W)^{0.16} + 0.3965 T (3.6W)^{0.16}$$

met temperatuur T in °C op 1.50 meter hoogte en windsnelheid W in m/s op 10 meter hoogte. Meer informatie in Appendix B1.

Hieronder staat een voorbeeld (Fig. 8.7.1) van de gebiedskans op een gevoelstemperatuur beneden -15 graden waarbij een tijdwindow van 12 uur genomen is. Het gebied is hier heel Nederland minus IJsselmeer en Waddenzee. Dit voorbeeld is ontleend aan het waarschuwingssysteem voor MeteoAlarm (Appendix C). Deze gevoelstemperatuur zou volgens afspraak (Appendix B1) moeten leiden tot een daklozen-alert als die situatie een aantal uren aanhoudt. De duur van de blootstelling is niet af te leiden uit deze figuur. Hiervoor wordt

verwezen naar paragraaf 8.8 waar een verwachting staat voor hetzelfde koude event, maar gebaseerd op een andere EPS-run.

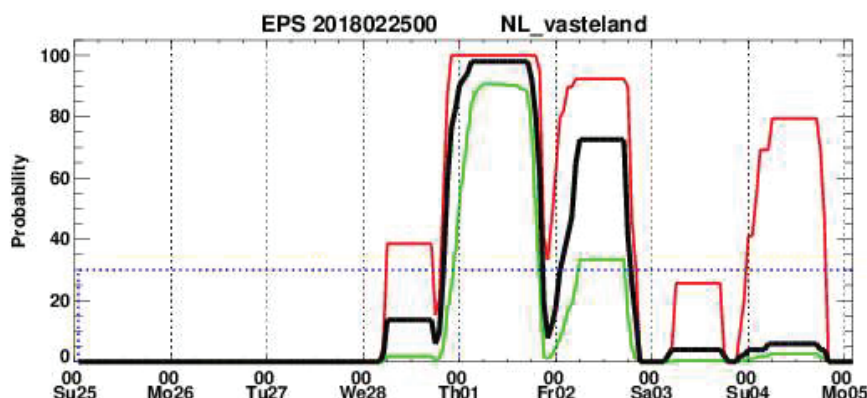


Fig. 8.7.1. Gebiedskans (in zwart) op een gevoelstemperatuur van minder dan -15° voor het Nederlandse vasteland (Nederland minus IJsselmeer en Waddenzee) gebaseerd op de EPS-run van 25 februari 2018 0 UTC. In groen staat de coverage, in rood de kans dat minstens 1 ensemble lid voldoet aan het criterium. Er is een tijdwindow van 12 uur toegepast.

Op donderdag 1 maart is de verwachte kans nagenoeg 100% met een coverage van nagenoeg het hele gebied. Verder valt op dat de conditionele coverage, te halen uit de verhouding van de hoogtes van de groene en zwarte lijn, op die dag bijna volledig is, i.e. meer dan 90% van de punten op het vasteland ondervindt een gevoelstemp van minder dan -15 graden, binnen het time frame van 12 uur. Maar op de vrijdag geldt dat, als het optreedt in het gebied, het slechts in ca de helft van de punten voorkomt en op de woensdag in pakweg 10% van de punten. NB. de windowkansen worden in de plots altijd gepresenteerd over de afgelopen periode. Dat betekent dat de piek in het aantal ensemble leden met $T_g < -15$ graden zowel op donderdag 1 als vrijdag 2 maart in de vroege ochtend ligt.

Ter illustratie staan in Fig. 8.7.2 de pluimen van de verwachte temperatuur en windsnelheid voor station De Bilt, afkomstig van dezelfde EPS-run als waar Fig. 8.7.1 op gebaseerd is.

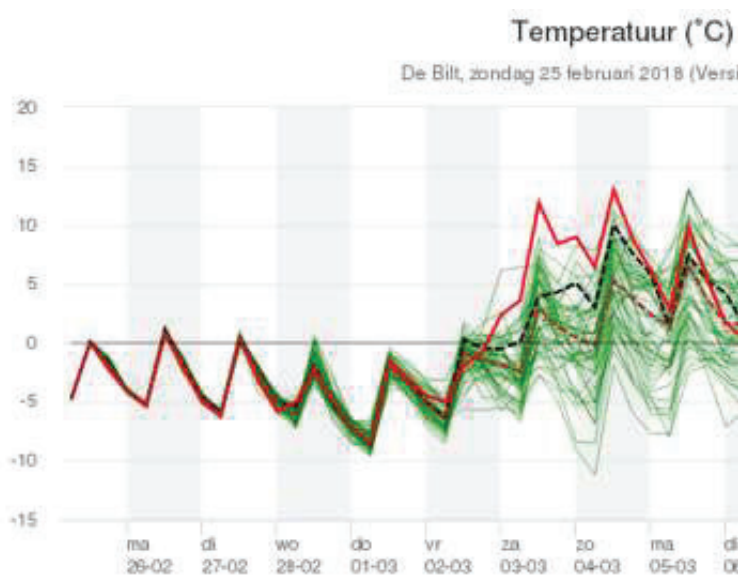


Fig. 8.7.2. top panel

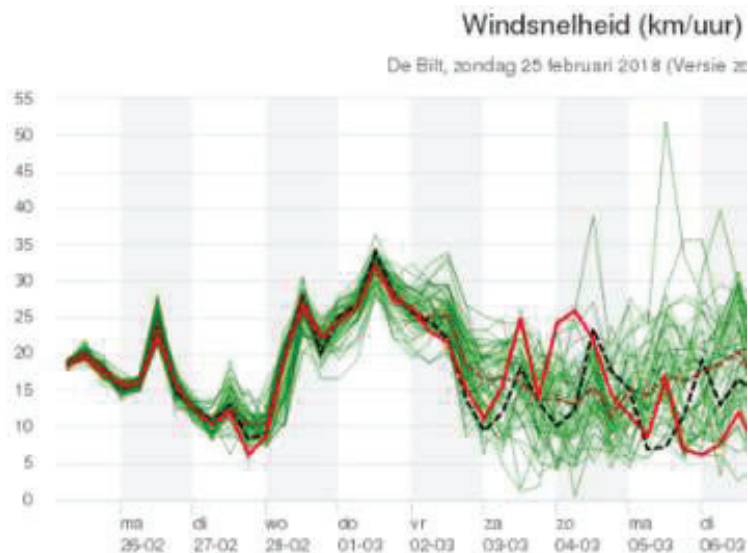


Fig. 8.7.2. Pluimplots van temperatuur (boven) en windsnelheid (onder) voor het station De Bilt van de EPS-run van 25 februari 2018.

b. wet bulb globe temperature (WBGT)

De WBGT-index is een maat voor hoe heet het voelt voor iemand die lichte arbeid verricht in de buitenlucht onder warme of hete condities (zie ook Appendix B2). De index is een functie van de temperatuur, relatieve vochtigheid, wind en zonne- en andere straling. De index wordt o.a. veel gebruikt als hulpmiddel om hitte strokes en andere hitte gerelateerde problemen te voorkomen bij duursporten (atletiek, o.a. marathon van Rotterdam), bij tennis (Australian Open) en sinds kort ook bij voetbal (inlassen van drinkpauzes). Ook elementen als het soort kleding e.d. worden verdisconteerd in de berekening van de index. Vaak wordt echter gebruik gemaakt van een vereenvoudigde definitie waarbij een lichte wind en geen bewolking wordt aangenomen, zodat de WBGT alleen nog een functie is van de 2 meter temperatuur in de schaduw en de relatieve vochtigheid (RH):

$$WBGT = 3.94 + 0.567 T_{2m} + 0.393 \left\{ 0.06105 RH \exp\left(\frac{17.27 T_{2m}}{237.7 + T_{2m}}\right) \right\}$$

Bij de interpretatie en het gebruik van de WBGT-waarden moet het effect van de weggelaten aspecten nog worden verdisconteerd.

Bovenstaande formulering, die ook gebruikt wordt in PASCAL, is afkomstig van een review paper van Lemke and Kjellstrom (2012). Ook de 4-daagse van Nijmegen maakt gebruik van de WBGT (in de vereenvoudigde formulering) sinds het overlijden van 2 mensen tijdens de 90^e editie in 2006 (commissie Hermans, 2006). Een tabel van de WBGT-index staat gegeven in Appendix B2. Hitte stress is een veel belangrijkere maat voor het optreden van problemen bij hitte dan de maximum temperatuur. Boven een geschatte WBGT van 26°C kunnen problemen optreden en is voorzichtigheid geboden.

In Fig. 8.7.3 staan de kansverwachtingen voor $T_{max} > 30^\circ$ en $WBGT > 26^\circ$ graden van zondagmiddag 18 juli 2010 vóór de 4-daagse van Nijmegen van die week voor een roosterpunt vlakbij Nijmegen. Hierbij is te zien dat er 2 dagen zijn met een grote kans op $T_{max} > 30^\circ$, met op de eerste dag een iets grotere kans, maar dat op de 2^e dag de kans voor $WBGT > 26$ veel hoger is dan op de eerste. In beide panels is geen time window toegepast. Bij een time window van 6 uur gaat de kans op $WBGT > 26^\circ$ zelfs naar 100% op de woensdag (not shown). Alleen

voor de dinsdag zijn er door de organisatie aanpassingen gepleegd wat betreft de starttijd van de wandelaars.

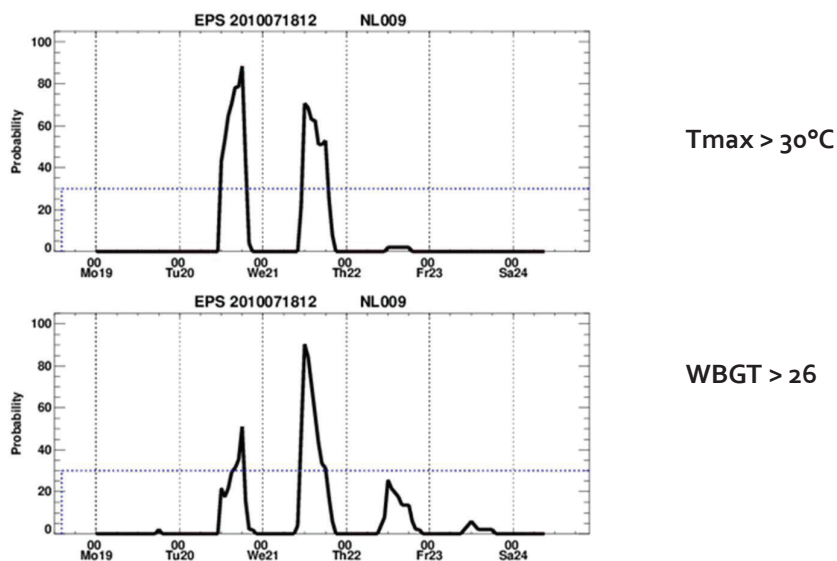


Fig. 8.7.3. Overschrijdingskansen op een maximum temperatuur van meer dan 30°C (top panel) en een WBGT van meer dan 26°C (onderste panel) voor een EPS-punt in de buurt van Nijmegen gebaseerd op de 12 UTC EPS-run van zondag 18 juli 2010.

Als men de totale kans op gevaarlijke wandelcondities wil bepalen kan bovenstaand criterium voor WBGT desgewenst gecombineerd worden met de kans op onweer en/of zware neerslag, met een passend time window. Zie paragraaf 8.9.

c. gids: conditionele biascorrectie op Tmax m.b.v. sunshine duration

Een veel gehoorde kritiek op de maximum temperatuurverwachtingen van het ECMWF is dat die flink onderschat worden in zonnige, droge perioden met weinig wind (Nico Maat, pers comm.). Een statistische correctie (gids) die een functie is van andere beschikbare ECMWF grootheden kan in PASCAL gemakkelijk toegevoegd worden. Deze aangepaste Tmax kan vervolgens desgewenst weer gecombineerd worden binnen het risicoprofiel met andere beschikbare elementen.

Hier wordt een voorbeeld gegeven van een simpele maximum temperatuur correctie (niet gebaseerd op een statistische analyse) die toegepast wordt op alle EPS-leden en gebaseerd is op de zonnenschijnduur over de laatste 6 uur en de gemiddelde windsnelheid mits lager dan 5 m/s. De maximale correctie bedraagt +1.5°C en wordt bereikt bij 6 uur zonnenschijn over de 6 voorafgaande uren en een gemiddelde windsnelheid van minder dan 2 m/s. Bij geen zon en bij wind > 5 m/s wordt geen correctie toegepast.

In Fig. 8.7.4 is de kans op Tmax > 30° zonder (in zwart) en met correctie (in groen) getoond voor een punt in de buurt van De Bilt gebaseerd op de PASCAL-run van 22 augustus 2019 om 22 UTC die gebruik maakt van de 0 UTC run van het EPS. (De 12 UTC run was blijkbaar nog niet beschikbaar). Voor de duidelijkheid is hier geen time window toegepast. NB. Tmax is beschikbaar in stappen van 6 uur; de kansen op tussenliggende uren worden verkregen door interpolatie van Tmax.

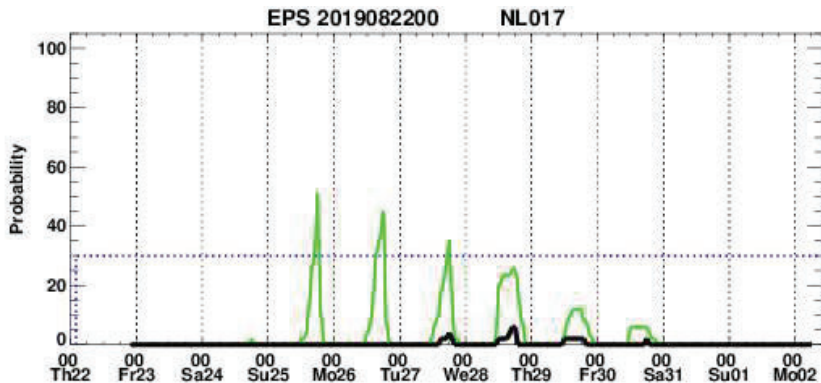


Fig. 8.7.4. Overschrijdingskans op een maximum temperatuur van meer dan 30°C voor een EPS-punt in de buurt van De Bilt vóór (in zwart) en na (in groen) toepassing van een statistische correctie (zie tekst), gebaseerd op de EPS-run van 22 augustus 2019 van 00 UTC.

In Fig. 8.7.5 zijn de gebiedskansen getoond met en zonder correctie. Het gebied is heel Nederland minus het IJsselmeer en de Waddenzee. De kansen na correctie zijn uiteraard (veel) hoger, maar niet op alle dagen evenveel; in het begin van de warme periode waren er meer zonnige, (relatief) windstille dagen dan verder in de forecasttijd. De maximale conditionele coverage is nu op bijna alle dagen vrijwel 50%, m.a.w. als de 30° (na correctie) gehaald wordt gebeurt dat in ongeveer de helft van Nederland. Vóór correctie is dat veel minder. De maximale coverage wordt pas gehaald aan het eind van de middag (ca 18 UTC).

Opmerking. Bij gebruik van een gecorrigeerde temperatuur in combinatie met andere grootheden moet men voorzichtig zijn. Zo zal een hogere temperatuur ook gevolgen hebben voor de relatieve vochtigheid (RH). Daarom kan de gecorrigeerde temperatuur niet in berekening van de wet bulb globe temperature (WBGT) gebruikt worden tezamen met een ongewijzigde RH (maar wel eventueel met RH berekend uit de dauwtemperatuur en de gecorrigeerde temperatuur)²¹.

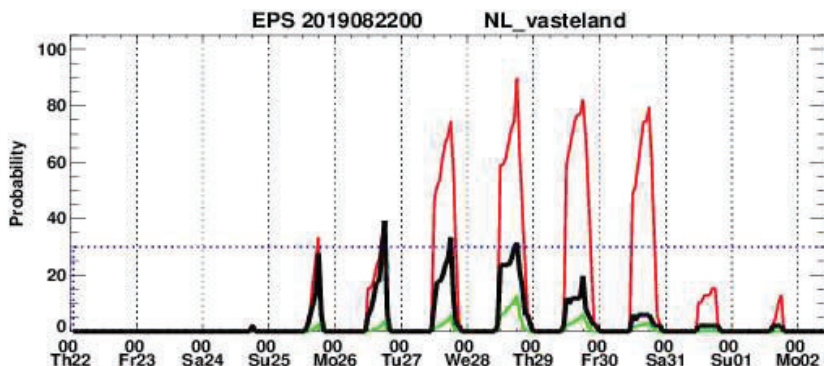


Fig. 8.7.5. top panel.

²¹ Voor multivariate postprocessing technieken die onderlinge verbanden tussen de grootheden en in ruimte en tijd in stand kunnen houden wordt verwezen naar Schefzik et al. (2013) en Schefzik (2017).

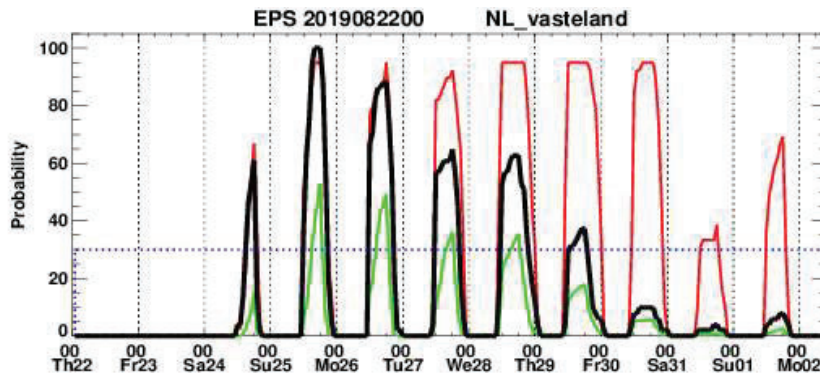


Fig. 8.7.5. Als Fig. 8.7.4. maar nu de gebiedskansen (in zwart) voor het vasteland van Nederland op een $T_{max} > 30$ zonder (top panel) en met correctie (bottom panel). In groen staat de gemiddelde puntkans. In rood de kans dat minstens 1 ensemble lid aan het criterium voldoet. NB. de kleuren hebben een andere betekenis dan in Fig. 8.7.4.

Voorbeelden van andere te construeren grootheden of correcties

- de *effectieve temperatuur*. De gasvraag in Nederland wordt grotendeels bepaald door de temperatuur, windsnelheid en zonnenschijnduur, en maakt gebruik van de zgn. effectieve temperatuur²² (Wever, 2008). Een vereenvoudigde versie is $T_{eff} = T_{gem} - \frac{2}{3}u_{gem}$ waarbij *gem* het daggemiddelde betreft.
- graaddagen en ADS-dagen.
- correctie op de windstoten van het ECMWF. Bekend is dat in convectieve situaties de windstoten regelmatig overschat worden (Tijm, 2018).

d. projectie van windsnelheidsvector op willekeurige richtingen

Voor een aantal toepassingen is niet zozeer de windsnelheid zelf maar de windsnelheid uit een bepaalde richting van belang. Voorbeelden zijn dwarswindsnelheid op start- en landingsbanen op vliegvelden, en sterke winden uit richtingen zodanig dat er maximale fetch is over grote wateroppervlakten. Een voorbeeld van dat laatste is het voorbeeld besproken in par. 8.5 waarbij aanhoudende NW-wind van voldoende sterkte voor problemen zorgde voor wetterskip Fryslan. Dwarswinden zijn niet alleen een potentieel gevaar in de luchtvaart maar ook op wegen of wegdelen (e.g. bij hoge bruggen), in verband met het gevaar van *vehicle overturning* (Hemingway and Robbins, 2020). Zie ook paragraaf 8.12. Bij fetch speelt naast de kracht en de richting van de wind ook de duur een grote rol, bij de andere genoemde voorbeelden veel minder. Zowel de richting van de geprojecteerde wind als de drempel van de snelheid zijn in PASCAL vrij op te geven.

8.8. Duur van single-variable events

De duur van de blootstelling aan gevaarlijk weer is in hoge mate bepalend voor de ernst en de gevolgen (impact), en is daarom een essentieel onderdeel van het definiëren van hazardous situaties. We hebben al gezien dat bij de gevoelstemperatuur en de WBGT (par. 8.7 en Appendices B1 en B2) de (verwachte) impact een expliciete functie is van de duur van de blootstelling, maar ook bij andere weerfenomenen speelt de exposure tijd een belangrijke rol.

²² Deze definitie van effectieve temperatuur wijkt af van die in de medische fysiologie en sportgeneeskunde en van die in de 'behaaglijkheidstheorie' (de Rotte, 1992) gebruikt wordt.

In PASCAL bestaat de mogelijkheid voor de berekening van
de kans dat meer / minder dan x van de y uur het betreffende element groter / kleiner is dan een aangegeven drempelwaarde

De x en y (in hele uren) kunnen extern in het risicoprofiel opgegeven worden alsmede ‘meer’ (>) of ‘minder’ (≤), en ‘groter’ (>) of ‘kleiner’ (≤) en ook de drempelwaarde. De bewerking kan op alle elementen (Tabel 5.3) toegepast worden. Daarnaast kan er uiteraard weer een kansdrempel opgegeven worden waarboven een alert gegeven kan worden.

Er is sprake van enige redundantie in het creëren van het profielvoorschrift. Zo is bijvoorbeeld meer dan 3 van de 12 uur $T_g \leq -15$ hetzelfde als minder²³ dan 9 van de 12 uur $T_g > -15$. Algemener geldt volgens de regels of *wetten van De Morgan*: het complement van de doorsnede van verzamelingen is gelijk aan de vereniging van de complementen van de verzamelingen. En ook: het complement van de vereniging van verzamelingen is gelijk aan de doorsnede van de complementen van de verzamelingen.

Hieronder worden 3 voorbeelden gegeven van het gebruik van deze ‘duur’-optie aan de hand van een situatie op 1 maart 2018 met extreme kou die gepaard ging met veel wind. Alle voorbeelden betreffen de duur dat de gevoelstemperatuur T_g onder een bepaalde kritische grens komt, en zijn gebaseerd op de verwachting gemaakt op 00 UTC van de 27^e februari gebruikmakend van de ECMWF-run van 12 uur eerder. Het betreft dus hetzelfde event als in par. 8.7a maar een 36 uur latere run.

a. *profielvoorschrift: meer dan x van de 12 uur een T_g lager dan -15*

Fig. 8.8.1 laat voor een roosterpunt nabij Cabauw de kans zien dat de gevoelstemperatuur lager is dan -15°C in resp. 3 (in rood), 5 (groen), 7 (blauw), 9 (lila) en 11 (paars) uur van de laatste 12 uur. Bij iedere toename van x worden de kansen kleiner (of blijven gelijk). Op de doorsnede van deze condities (is dus ‘11 van de laatste 12 uur’) is nog een overall window van 6 uur toegepast (in zwart). Dit zorgt ervoor dat de kans nog ca 5% toeneemt ten opzichte van de instantane kans; na de piek van de instantane kans op ‘11 van de laatste 12 uur’ zijn er dus nog 2 of 3 extra ensemble leden met deze duur.

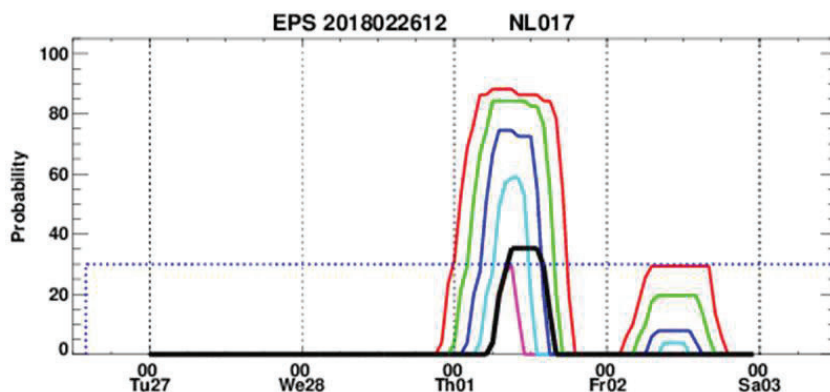


Fig. 8.8.1. Kansen voor een roosterpunt in de buurt van Cabauw op meer dan x van de 12 uur een gevoelstemperatuur lager dan -15° , met $x=3$ (rood), 5 (groen), 7 (blauw), 9 (lila) en 11 (paars). Een overall window van 6 uur is toegepast op de doorsnede (zwart).

²³ Hier betekent ‘minder’ niet ‘≤’ maar ‘<’ omdat gerekend wordt in hele uren.

b. profielvoorschrift: meer dan 3 van de y uur T_g lager dan -15

In Fig. 8.8.2 staan de kansen op een gevoelstemperatuur lager dan -15°C op 3 van de laatste 12 uur (in rood, identiek aan de rode lijn in Fig. 8.8.1), 3 van de laatste 10 uur, etc., tot aan 3 van de laatste 4 uur (in paars). Wederom is op de doorsnede van de condities (hier 'meer dan 3 uur van de laatste 4 uur') een overall window toegepast van 6 uur. Bij toenemend tijdvenster y kun je in het algemeen een toename van de kansen verwachten (zie par. 8.3), maar hier is de piek vrijwel gelijk aan die van de paarse lijn (en de andere lijnen). Dit betekent dat in (vrijwel) ieder van de ca 85% ensemble leden dit een aaneengesloten periode is geweest, in dit geval van tenminste 3 uur. Fig. 8.8.1 laat zien dat die periode op een extra ensemble lid na tenminste 5 uur duurde. Bij het begin van een event, zoals die op 1 als op 2 maart, lopen de stijgende delen van de kanskrommen uiteraard gelijk (de kleuren overlappen).

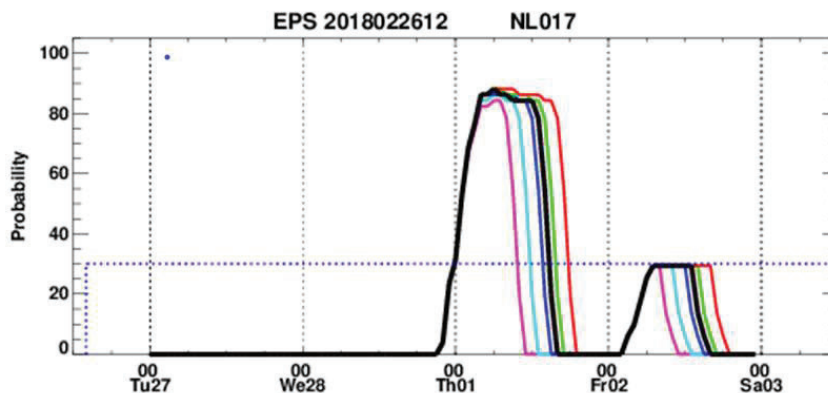


Fig. 8.8.2. Kansen voor een roosterpunt in de buurt van Cabauw op meer dan 3 van de y uur een gevoelstemperatuur lager dan -15° , met $y=12$ (rood), 10 (groen), 8 (blauw), 6 (lila) en 4 (paars). Een overall window van 6 uur is toegepast (zwart).

c. profielvoorschrift: meer dan 3 van de 12 uur lager dan $T_g=z$

In Fig. 8.8.3 tenslotte staan de kansen dat in 3 van de laatste 12 uur de gevoelstemperatuur lager is dan -12° (rood), -14° (groen) en -16° (blauw).

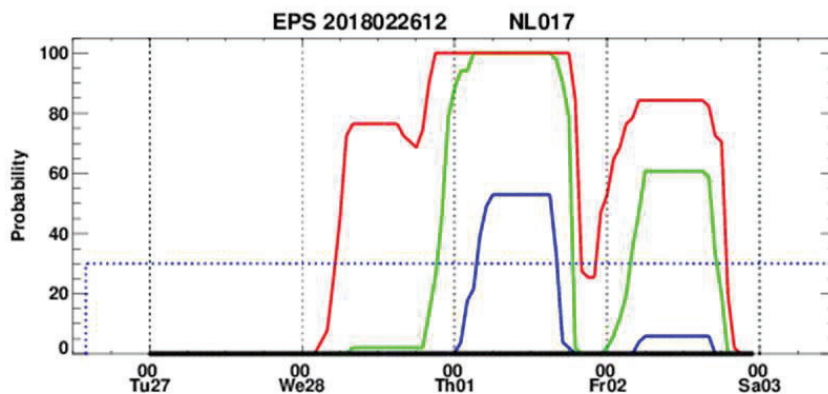


Fig. 8.8.3. Kansen voor een roosterpunt in de buurt van Cabauw op meer dan 3 van de 12 uur een gevoelstemperatuur lager dan -12° (rood), -14° (groen) en -16° (blauw).

In bovenstaande is gekeken naar de duur van events die gedefinieerd kunnen worden in 1 variabele. In de voorbeelden stonden weliswaar meerdere subcriteria maar die hadden allemaal betrekking op hetzelfde element en waren bovendien transitief (waren deelverzamelingen van elkaar). Veel risicovolle situaties zijn echter situaties die beschreven worden door condities op meerdere weerelementen. De duur van dit soort predictands kan (vooralsnog) niet binnen PASCAL berekend worden. Voorbeelden hiervan zijn de duur van multi-hazard situaties of de duur van een enkel fenomeen als gladheid als deze gedefinieerd is als combinatie van neerslag, temperatuur, en eventueel nog meer elementen. Een ander voorbeeld van juist gunstige omstandigheden, van toepassing voor energieopwekking, is de samenstelling van de uren dat er een voldoende hoge windsnelheid gehaald wordt met de uren dat de zon schijnt. De kansverdelingen voor de uren van beide onderdelen kunnen berekend worden binnen PASCAL maar die van de gecombineerde kansverdeling vooralsnog niet.

8.9. Meerdaagse events

Duur, sommen, gemiddelden, etc. waarvan in eerdere paragrafen voorbeelden gegeven zijn, mogen in de risicoprofielen langer zijn dan 24 uur en dus meerdere dagen omvatten (in feite de hele forecast range), maar in deze paragraaf worden events bedoeld die gedefinieerd zijn over meerdere dagen, zoals *herhaling* van bepaalde situaties op een aantal dagen (e.g. bij hittegolven of een aantal dagen met nachtvorst). Hierbij horen ook situaties die eenmalig nog tot weinig of tot milde problemen leiden maar door het herhaald voorkomen juist als kritisch of zwaar (of zelfs als gevaarlijk) ervaren worden.

Het KNMI kent een aantal van dit soort meerdaagse events waarvoor waarschuwingen gegeven kunnen worden. Zo is er naast een hittewaarschuwing voor 1 dag, een waarschuwing voor aanhoudende hitte waarbij de eendaagse een veel strengere temperatuurvoorwaarde kent. Voor het in werking treden van het hitteplan (feitelijk de verantwoordelijkheid van het RIVM) geldt de noodzakelijke, maar niet voldoende, voorwaarde de overschrijding van een temperatuur van 27°C op meerdere achtereenvolgende dagen.

Voor dit soort predictands is het niet zo makkelijk om de kans direct te bepalen aan de hand van de temperatuur pluim. Zo kan een pluim die op 4 achtereenvolgende dagen een kans van 75% laat zien op een maximum temperatuur > 30°, een kans op alle 4 dagen een $T_{max} > 30^\circ$ hebben die ergens tussen de 0 en 75% ligt. Namelijk, 75% als op iedere dag dezelfde ensemble leden $T_{max} > 30^\circ$ geven, en 0% als iedere dag een ander kwart van de leden $T_{max} < 30^\circ$ geeft. Nog ingewikkelder (want meer permutaties) is het om de kans te bepalen dat er op minstens 3 van de 5 dagen tropische temperaturen bereikt worden en op de andere 2 dagen minstens zomerse temperaturen (i.e. de hittegolf definitie voor De Bilt).

Overigens geldt hetzelfde probleem voor gidsen die per dag berekend zijn: een gids voor een 4-daags event kan niet rechtstreeks samengesteld worden uit 4 afzonderlijke ‘dag’gidsen.

In Fig. 8.9.1 staat voor de EPS-run van 16 juli 2019 voor een roosterpunt vlakbij De Bilt de dagkans (in rood) en de 4-dagen-kans (in zwart) dat de maximum temperatuur hoger is dan 30°C. Met 4-dagen-kans wordt hier de kans bedoeld dat op 4 opeenvolgende dagen aan het criterium voldaan wordt. NB. In deze figuur (en soortgelijke figuren in de rest van deze paragraaf) wordt de 4-dagen-kans gepresenteerd op de *eerste* van de periode van 4 dagen. (Dit in tegenstelling tot de andersoortige plots waarin windowkansen aangegeven worden aan het *eind* van de window). Zo is de kans op de 23° de kans dat op dinsdag t/m vrijdag de maximum temperatuur boven de 30° komt. De 4-dagen-kansen vanaf donderdag de 25° moeten genegeerd worden omdat deze niet bepaald kunnen worden door het bereiken van het eind van de (hier gekozen) forecast range.

De dagkans is voor de 5 dagen vanaf dinsdag de 23° steeds ca 40%. De 4-dagen-kans is voor dinsdag en woensdag echter ca 10%. Dit betekent dat een kwart van de ensemble leden die voor dinsdag meer dan 30° verwachtten dat ook voor de volgende 3 dagen deed. Voor de volgende dag geldt min of meer hetzelfde.

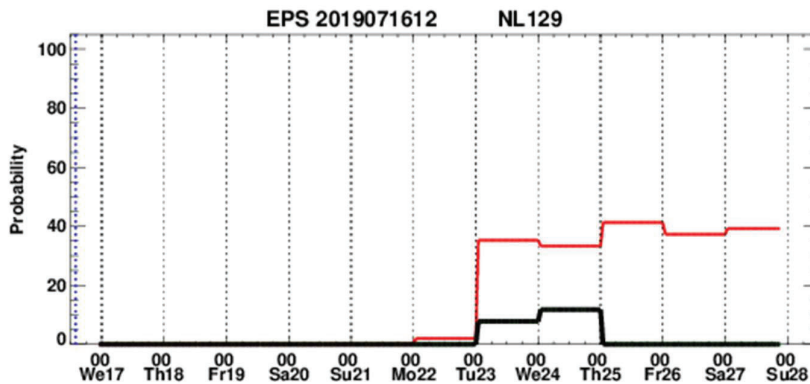


Fig. 8.9.1. Dagkans (in rood) en 4-dagen-kans (zie tekst; in zwart) op een maximum temperatuur van meer dan 30° voor een EPS-punt in de buurt van De Bilt. De kansen zijn gebaseerd op de EPS-run van 16 juli 2019 van 12 UTC.

In Fig. 8.9.2, gebaseerd op de run 2 dagen later voor hetzelfde gridpunt, staan de dagkansen en de 4-dagen-kansen op een maximum temperatuur van meer dan 27°C. Uiteraard geldt dat de 4-dagen-kans altijd kleiner of gelijk is aan de laagste dagkans, maar hier valt op dat ze steeds maar net ietsje lager zijn. Dit betekent dat vrijwel alle ensemble leden die vanaf vrijdag de 26° aan het criterium voldoen hier ook al op de 3 eerdere dagen aan voldeden, maar ook dat er (vrijwel) geen nieuwe leden zijn bijgekomen. Daarnaast zijn er veel leden die ‘het’ geen 4 dagen hebben volgehouden gezien het grote verschil tussen rode en zwarte lijn op dinsdag tot en met donderdag.

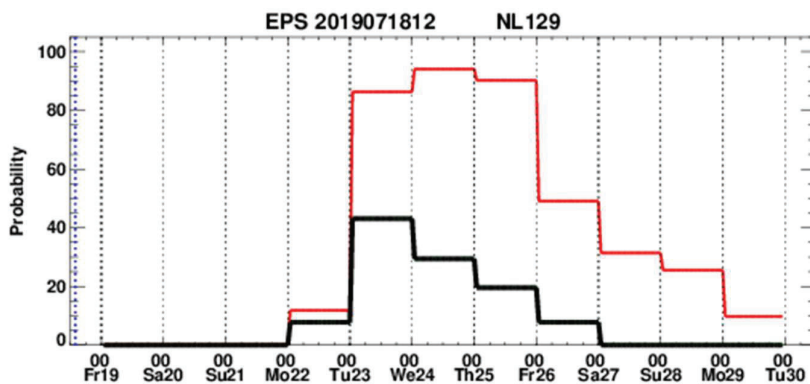


Fig. 8.9.2. Dagkans (in rood) en 4-dagen-kans (in zwart) op een maximum temperatuur van meer dan 27° voor een EPS-punt in de buurt van De Bilt. De kansen zijn gebaseerd op de EPS-run van 18 juli 2019 van 12 UTC.

Om de kans op dit soort meerdaagse events gemakkelijk uit de ensemble informatie te extraheren is in PASCAL de mogelijkheid (een subroutine) ingevoerd voor de berekening van *de kans dat in x van de y komende dagen het betreffende element groter / kleiner is dan een aangegeven drempelwaarde*

waarbij de waarden van x, y (in hele dagen), de drempel en de keuze van ‘groter’ (>) dan wel ‘kleiner’ (≤) dan, en het element vrij te bepalen en extern (in het risicoprofiel) op te geven zijn als parameters in de subroutine.

We geven hiervan 2 voorbeelden die beide te maken hebben met extreme hitte. Als achtergrond bij de voorbeelden geven we eerst de hittecriteria die bij het KNMI gebruikt worden.

hittecriteria van de KNMI waarschuwingssystematiek

Sinds mei 2019 gelden voor hitte de volgende criteria (KNMI, 2019):

- Code Geel: hitteplan condities: 4 dagen met $T_{max} > 27^{\circ}C$

 - Of: 1 dag met $T_{max} > 35^{\circ}C$

- Code Oranje: 3 achtereenvolgende dagen $T_{max} > 30^{\circ}$ waarbij $T_{min} > 18^{\circ}C$

 - Code Oranje wordt alleen uitgegeven als het fenomeen zich voordoet op de schaal van een standaardgebied ter grootte van 50 bij 50 km. En als “binnen 48 uur de gemiddelde kans op overschrijding 30% of meer is”, en analoog als “binnen 24 uur de gemiddelde kans 60% of meer is”.

 - Er is dus geen code oranje voor T_{max} op 1 dag.

- Voor Code Rood gelden geen strikt meteorologische condities maar “uitgifte van code rood wordt vooral bepaald door de verwachte impact van het weer op de samenleving”, ongeacht de grootte van het gebied dat aangedaan wordt.

Er is geen aparte waarschuwing voor hittegolven.

Voorbeeld 1. Extreme hitte in juli 2019

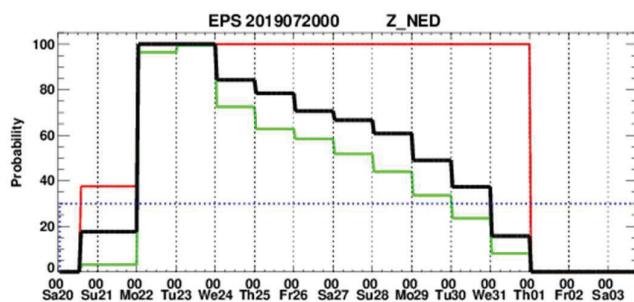
Op 23 juli 2019 was de volgende waarschuwing van kracht (KNMI-site): “Code Oranje voor aanhoudende extreme hitte in het hele land m.u.v. het waddengebied”.

Feitelijk is dit criterium niet (overal) gehaald omdat naar verluidt de minimum temperatuur beneden de 18 graden is gekomen, ondanks dat de maximum temperatuur dicht bij de 40 graden kwam. Als dat inderdaad zo is dan zou dat een geval zijn waarbij het criterium *mece* is geformuleerd (op waar het ‘gemiddelde’ over berekend wordt na) maar niet volledig aansluit op het event waarvoor gewaarschuwd moet worden. Als de temperatuur in een van de nachten maar even beneden de 18 graden uit zou komen, zou dit genoeg zijn om geen code oranje uit te mogen geven ondanks verzengende hitte in overige uren. Dit is waarschijnlijk niet de bedoeling van het criterium. Is er toch een code oranje waarschuwing uitgegeven dan zou dat bij (goede) verificatie als false alarm gelden. Herbezinning op de definitie lijkt dan ook op zijn plaats.

Een beter risicoprofiel zou kunnen zijn om de minimum temperatuur voorwaarde te vervangen door een criterium voor de gemiddelde temperatuur en /of voor relatieve vochtigheid (zie verder). Als er toch een minimum temperatuur grens als voorwaarde meegenomen wordt dan zou tenminste een minimale duur van overschrijding van die grens opgenomen kunnen worden. Er zijn vele andere mogelijkheden om het hitte criterium beter te laten aansluiten op de mogelijke impact op de samenleving.

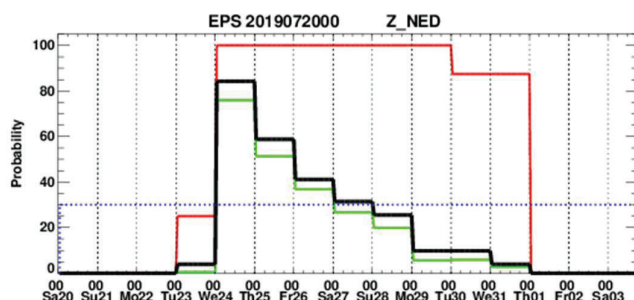
In Fig. 8.9.3 staan verwachtingen voor overschrijding van hitte criteria voor het extreme hitte event in juli 2021 met criteria voor code geel, oranje en rood die afkomstig zijn uit het waarschuwingssysteem ten behoeve van MeteoAlarm (voor dag 2 t/m 5), maar met een langere

forecasttijd dan in dat systeem gebruikt wordt. Het betreft gebiedsverwachtingen voor Zuid Nederland dat hier bestaat uit de provincies Zeeland, Brabant en Limburg.



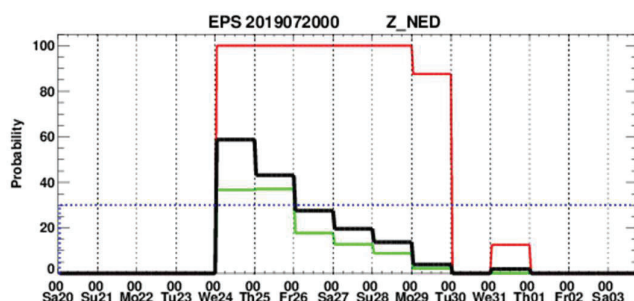
Code GEEL

$T_x \geq 27$ op 4 aaneengesloten dagen
of:
 $T_x \geq 35$



Code ORANJE

$T_x \geq 30$ op 3 aaneengesloten dagen
waarbij:
 $T_n \geq 18$



Code ROOD

$T_x \geq 32$ op 3 aaneengesloten dagen
waarbij:
 $T_n \geq 20$

Fig. 8.9.3. Gebiedskansen (in zwart) voor Zuid Nederland voor de code geel (boven), oranje (midden) en rood (onder) criteria uit het MeteoAlarm systeem. Code geel betreft een 4-dagenkans, de andere codes 3-dagen-kansen. De kansen hebben betrekking op de *komende* 4 resp. 3 dagen (incl. de 'huidige'). In groen de gemiddelde puntkans, in rood het percentage gridpunten met minimaal 1 lid dat aan het criterium voldoet. Het gebied beslaat de provincies Zeeland, Brabant en Limburg. Het betreft de EPS-run van 20 juli 2019 00 UTC.

De meteorologische criteria voor code geel en oranje komen precies overeen met die in de KNMI waarschuwingssystematiek (voor dag 0 en 1) maar met kansdrempels van 30%. Ook zijn de waarschuwingssystematiek gebieden in het MeteoAlarm-systeem groter dan de provinciegrootte die bij de waarschuwingssystematiek gebruikt wordt. Daarnaast wordt code rood louter bepaald op grond van meteorologische criteria. Er is geen time window toegepast. In zwart staan de gebiedskansen, in groen de gemiddelde puntkansen. De kansen hebben dus betrekking op temperatuurcondities die op alle 4 (code geel) resp. 3 (codes oranje en rood) dagen gehaald moeten worden. (De laatste forecast in de figuur staat daarom op de 31^e juli). De conditionele coverage betreft uiteraard dezelfde tijdsperiode en is in dit event extreem hoog: bij code geel op maandag 22 en dinsdag 23 juli vrijwel 100% en daarna ca 80% en langzaam aflopend naar ca 50%. Bij code oranje over de hele termijn zelfs ca 90%. Code rood was van kracht (voor de komende 3 dagen) op woensdag 24 en donderdag 25 juli.

Waarschuwing bij het gebruik van de subroutine

Meerdaagse events kunnen ook de volgende vorm hebben: conditie 1 moet gelden op x van de y dagen en conditie 2 op x_1 van de y dagen waarbij x_1 een deelverzameling is van x . In dat geval kan niet in alle gevallen de kans hierop berekend worden door voor beide condities de subroutine te gebruiken. Dit kan wel als $x = y$, bijvoorbeeld bij hittegolven, die gedefinieerd zijn als 5 van de 5 dagen $T_{\max} > 27^\circ$ waarvan 3 dagen een $T_{\max} > 30^\circ$. Maar als x ongelijk is aan y dan kan de 2^e conditie bij toepassing van de subroutine ook gevallen opleveren die niet aan de eerste conditie voldoen (of omgekeerd). Dan is de doorsnede van de condities dus niet wat men zoekt. Dit geldt weer wél als met de ene conditie automatisch is voldaan aan de andere conditie (e.g. $T > 30^\circ$ impliceert $T > 20^\circ$).

Als voorbeeld het volgende. Stel we zoeken naar de kans op het samen voorkomen van een $T_{\max} > 25^\circ$ en $RH > 50\%$ in x van de y dagen. Dan kan de functie gebruikt worden bij:

$$P\{T_{\max} > 25^\circ \text{ in } 5 \text{ vd } 5 \text{ dagen}\} \cap P\{RH > 50\% \text{ in } 3 \text{ vd } 5 \text{ dagen}\}$$

maar niet bij: $P\{T_{\max} > 25^\circ \text{ in } 4 \text{ vd } 5 \text{ dagen}\} \cap P\{RH > 50\% \text{ in } 3 \text{ vd } 5 \text{ dagen}\}$.

Bij een risicoprofiel als $P\{T_{\max} > 25^\circ \text{ in } 4 \text{ vd } 5 \text{ dagen}\} \cap P\{T_{\max} > 30^\circ \text{ in } 3 \text{ vd } 5 \text{ dagen}\}$ kan de functie wel weer gebruikt worden bij beide condities.

Als een risicoprofiel bestaat uit meer dan 2 subcondities dan gelden analoge overwegingen.

Voorbeeld 2. 4-daagse van Nijmegen

Bij een evenement als de 4-daagse waar ca 40.000 mensen aan meedoen dient de organisatie voorbereid te zijn op allerlei situaties die de gezondheid van de deelnemers, vrijwilligers en hulpverleners in gevaar zouden kunnen brengen. Wat het weer betreft zijn de voornaamste potentiële gevaren het vóórkomen van onweer en van extreme hitte. Afhankelijk van de kans hierop kan opgeschaald worden naar uitgebreidere voorzorgsmaatregelen. Bij welke kansdrempel(s) dit zal zijn, zal gebaseerd zijn op een soort van heuristische C-L benadering. Voor zover de maatregelen bij het optreden van onweer en bij hitte voor een groot deel hetzelfde zijn zullen deze in een cost-loss analyse dan ook samen genomen zijn en is de kans dus de kans op de vereniging van beide weersituaties (zie hoofdstuk 6c).

De 6 panels in Fig. 8.9.4 geven tezamen een totaaloverzicht van de kansen op de 2 relevantste weerfenomenen (hitte en onweer) die alleen of in combinatie een grote rol spelen bij mogelijk gevaar voor de deelnemers en anderen. De kansen zijn gebaseerd op de run van 00 UTC op maandag 18 juli 2016 voorafgaand aan de 4-daagse (van dinsdag t/m vrijdag) voor een roosterpunt dichtbij Nijmegen. In de figuren is gekozen voor een bepaalde set van kritische grenzen met betrekking tot de zwaarte van en de duur van blootstelling aan de afzonderlijke weerelementen. In de praktijk zouden deze grenzen gekozen kunnen worden corresponderend met de opschalingsscenario's zodanig dat een totaalbeeld ontstaat van alle mogelijke gevaren apart en gezamenlijk.

In het panel linksboven staat in rood de (vrijwel 100%) kans op 30°C of hoger en in groen de kans op een gemiddelde temperatuur van ten minste 30°C over de afgelopen 6 uur. In zwart de kans dat beide condities tegelijk optreden, in een (overall) tijdwindow van 6 uur.

Het panel rechtsboven bevat informatie over de verwachte duur van blootstelling aan een WBGT (hitte index, zie Appendix B2) van tenminste 28 graden. De kleuren rood, groen, blauw en zwart geven de kans op een duur van resp. tenminste 3, 5, 7 en 9 uur van de afgelopen 12 uur. De periode van 12 uur is gekozen omdat dat ongeveer de duur is van de loop per dag voor de langste afstand. Er blijkt dus een ca 20% kans te zijn dat blootstelling aan de gevaarlijk geachte grens van 28 graden (zie Appendix B2) ten minste 9 uur duurt. Om 14 UTC is dat al 3 uur met een zekerheid (in EPS termen) van 100%.

Het derde panel (midden links) geeft de kans op een duur van tenminste 3 uur van de laatste 12 uur op een blootstelling aan een WBGT van 27, 28, 29 en 30 graden, en het vierde panel hetzelfde maar dan voor een blootstelling van 5 uur van de 12 uur. In het vierde panel is ook nog een overall window toegepast van 6 uur (op de doorsnijding van de criteria, i.e. op de duur van 5 uur van tenminste een WBGT van 30 graden).

Linksonder staat in zwart de kans op onweer, in 2016 nog bepaald uit het gelijktijdig voorkomen van CAPE > 5000J/kg en convectieve neerslag²⁴, tezamen een goede indicator voor het voorkomen van onweer (Schmeits et al., 2008). Hier is weer een gezamenlijk tijdvenster van 6 uur toegepast.

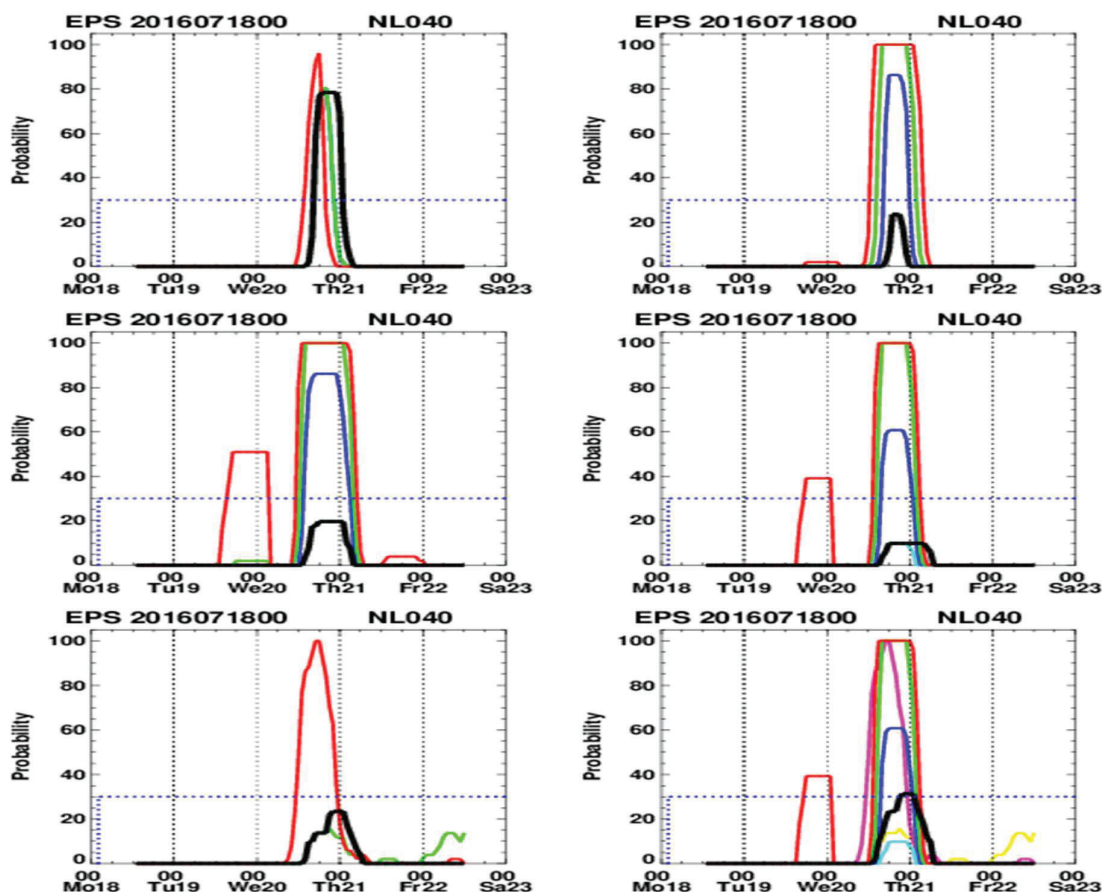


Fig. 8.9.4. Totaaloverzicht van de kansen van overschrijding van relevante aspecten van hitte en onweer. Links boven: kans op temperatuur > 30 en op gemiddelde temperatuur > 30 over 6 uur, in zwart de doorsnee met een time window van 6 uur; rechtsboven: de kans op een minimale duur van 3, 5, 7 en 9 uur op een blootstelling van een WBGT > 28; midden links: de kans op minimaal 3 uur op een blootstelling van een WBGT van 27, 28, 29 en 30 graden, de doorsnee (in zwart) met een window van 6 uur; midden rechts: idem maar met een blootstelling van minimaal 5 uur; links onder: kans op CAPE > 5000J/kg en op convectieve neerslag > 1 mm (als proxy voor onweer) in de afgelopen 6 uur, de doorsnee met een window van 6 uur; rechtsonder: de kans op de vereniging van de condities van die van midden rechts en links onder. De berekening is van 12 UTC op maandag 18 juli 2016 en gebaseerd op de EPS-run van 12 uur eerder.

²⁴ Inmiddels is het aantal verwachte bliksemontladingen in EPS beschikbaar.

Het plaatje rechtsonder ten slotte geeft de gecombineerde kans (in zwart) van de condities uit panels 4 en 5. De verschillende kleuren (behalve zwart) refereren naar de afzonderlijke 6 condities uit die 2 panels en in zwart staat de gecombineerde kans, i.e. de kans dat de blootstelling aan een WBGT van 30 graden minimaal 5 uur duurt (is maximaal ca 10%) *verenigd* met de kans op onweer (is maximaal ca 23%). Deze kans haalt net de willekeurige ingestelde waarschuwingdrempel van 30% in tegenstelling tot de kansen voor de twee afzonderlijke weerfenomenen hitte en onweer. Dit is dus een voorbeeld waarin de afzonderlijke fenomenen de alert drempel niet halen (niet nopen tot actie) maar de vereniging wel. Opgemerkt moet worden dat de alert drempel pas wordt bereikt na 18 UTC als de lopers al binnen (horen te) zijn. Uit het verschil tussen de kansen uit de laatste 2 panels (de zwarte lijnen) valt op te maken dat de ensemble leden met onweer vrijwel niet dezelfde zijn als die met de langdurig hoge WBGT.

Het RIVM heeft (op dinsdag) het Nationaal Hitteplan afgekondigd vanaf woensdag waarbij het advies werd gegeven om in de schaduw te blijven en zich niet hard in te spannen. De 4-daagse organisatie heeft zowel de starttijd als de eindtijd aangepast voor een deel van de lopers (m.n. die van de kortere afstanden!).

8.10. Codes geel, oranje en rood

Warning systems bevatten vaak waarschuwingsniveaus lopende van *no severe weather, be aware, be prepared* tot *take action* met bijbehorende kleurcodering (meestal) groen, geel, oranje en rood. Voor zover die niveaus gedefinieerd zijn in de vorm van meteorologische criteria is het handig om de (first guess) kansverwachtingen voor de 3 waarschuwingsniveaus te presenteren in 1 plot, waarbij de kansen, als functie van de forecast tijd, geplot worden tot iets voorbij de maximale waarschuwingstijd (response time). Blijven die kansen beneden de alert drempel dan geldt automatisch code groen. Met behulp van deze presentatievorm kan namelijk gemakkelijk beoordeeld worden of de 3 drempelwaarden voor code geel, oranje en rood net wel, ruim, of net niet, etc. overschreden worden, en of dit nog binnen het waarschuwingstijdvak valt, of bijvoorbeeld er net buiten (zie ook Barnes et al., 2007 en Sharpe, 2016). Dit heeft grote implicaties voor de (on)zekerheid van de categorische statements en eventueel ook voor de verificatie (e.g. Sharpe, 2016).

Meestal zullen de criteria voor de verschillende waarschuwingstadien transitief zijn (i.e. een hogere fase impliceert dat ook aan het criterium voor lagere fases is voldaan), maar dit is niet noodzakelijk. De kansdrempels en de forecast range mogen per fase verschillen. Voor alle weerfenomenen die onderdeel uitmaken van een alarmsystematiek kan zo'n plot gemaakt worden. Overigens hoeven er niet voor alle criteria 3 waarschuwingstadien te bestaan.

Het voorbeeld in Fig. 8.10.1 is ontleend aan de module voor MeteoAlarm (zie Appendix C). Het betreft gebiedskansverwachtingen (event probabilities) met een time window van 12 uur, gebaseerd op de EPS-run van 18 september 2018 12 UTC voor overschrijding van windstoten van, van boven naar beneden, 75 km/hr, 100 km/hr en 110 km/hr, respectievelijk de fysieke criteria voor code geel, oranje en rood; een alert wordt uitgegeven als de kans tenminste 30% is. Het gebied W-NED beslaat de provincies Noord- en Zuid-Holland.

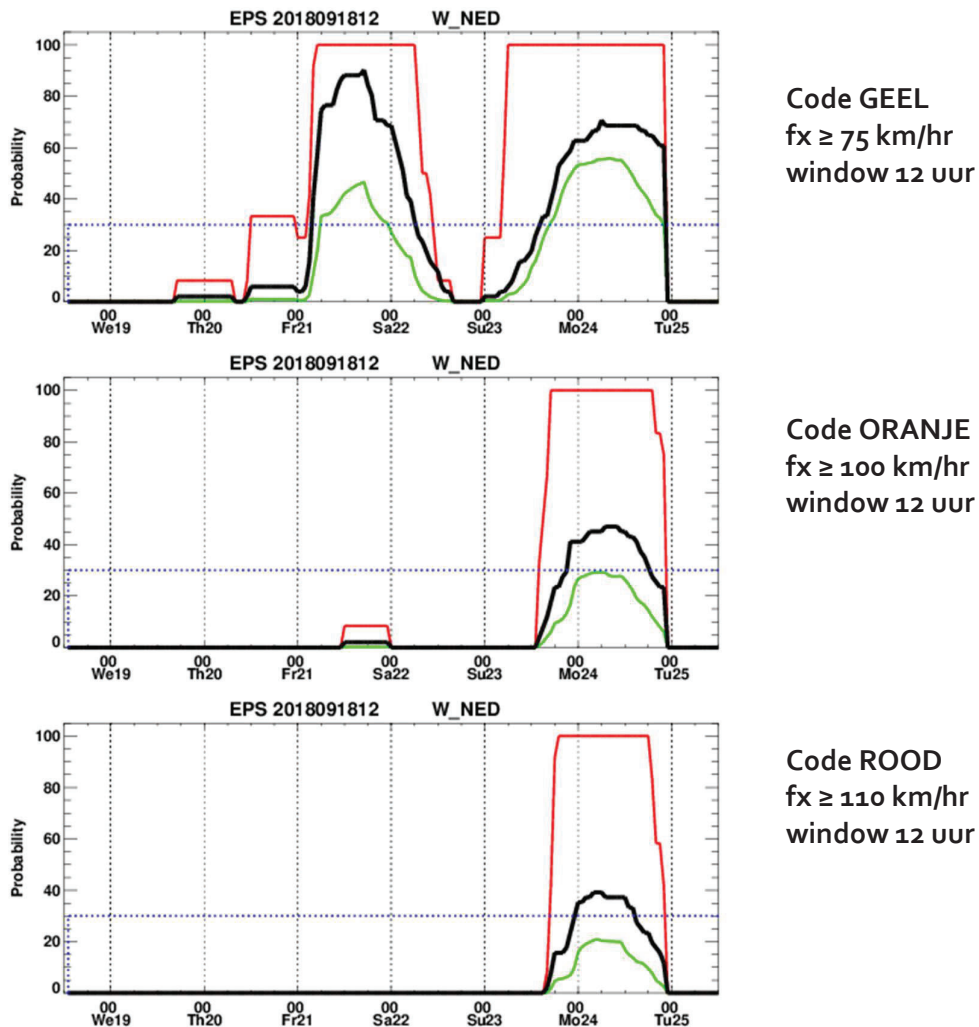


Fig. 8.10.1. Gebiedskansverwachtingen voor West Nederland met een time window van 12 uur, gebaseerd op de EPS-run van 18 sep 2018 12 UTC voor overschrijding van windstoten van, van boven naar beneden, 75 km/hr, 100 km/hr en 110 km/hr, resp. de criteria voor code geel, oranje en rood. Het abrupte einde (alle kansen naar 0) op maandag de 24^e wordt veroorzaakt doordat dit het einde is van de opgegeven verwachtingstermijn.

De gebiedskans voor het code geel criterium is hoger bij het eerste event (op vrijdag 21 september) dan bij het tweede event (op maandag de 24^e), de gebiedsgemiddelde kans juist andersom, resulterend in conditionele coverages van resp. ca 50 en ca 80%. In andere woorden, op de vrijdag wordt in 90% van de ensemble leden het criterium gehaald op gemiddeld de helft van het gebied (niet noodzakelijkerwijs hetzelfde deel in ieder lid), op de maandag wordt het gehaald met een kleinere kans maar, mits het optreedt, in een groter gebied. Naast de grotere schaal heeft het tweede event ook een veel hoger maximum. De schaalgrootte en de hoogte van het maximum zijn uiteraard vaak gecorreleerd. De grotere conditionele coverage van het tweede event is dan ook al een indicatie dat het extremer is dan het eerste event (zie code oranje plaatje). Code rood wordt zelfs gehaald waarbij, als de situatie van meer dan 110 km/hr gehaald wordt (kans 40%), ca 50% van het gebied getroffen wordt in een tijdwindow van 12 uur. In ieder punt in West Nederland is er over lange perioden tenminste 1 ensemble lid waarin het code rood criterium gehaald wordt (rode lijn).

8.11. Gebruik van deterministisch(e) model(len)

Hoewel het PASCAL-systeem voornamelijk bedoeld is voor beslisproblemen waarbij kansen per definitie vrijwel altijd het belangrijkste zijn, kan ook gekozen worden om alleen of gedeeltelijk gebruik te maken van een deterministisch model (zie Tabel 5.2). De forecasttijd waarbij desgewenst overgegaan wordt van output van het deterministische model naar die van het probabilistische is vrij te kiezen en zal bijvoorbeeld afhangen van de (ingeschatte) voorspelbaarheid van het (de) betreffende weerelement(en). Overschrijding van de drempelwaarde in het deterministische deel van de forecast wordt uiteraard geïnterpreteerd als een kans van 100%. Dit geldt ook bij time windows waar de overgang binnen valt. Sommen over tijdperioden waar de overgang binnen valt worden berekend door de deterministische waarde(n) bij ieder ensemble lid op te tellen. Een analoge bewerking geldt voor gemiddelden. De overgang tussen de modellen moet voor ieder subprofiel op dezelfde forecasttermijn zijn. Hieronder staan een paar voorbeelden waarbij deterministische model uitvoer gebruikt wordt als basis voor de waarschuwingen, al of niet in combinatie met probabilistische informatie, met andere deterministische informatie en / of met neerslaghistorie.

a. Alleen deterministisch model

Kansen op overschrijding zijn in een deterministisch model dus of 0 of 100%. Een kansdrempel is in Fig. 8.11.1 daarom weggelaten. In de figuur staan de neerslagkansverwachtingen voor een roosterpunt in de buurt van Rotterdam van tenminste 1 mm / 24 hr (rood) en 3 mm / 24 hr (groen) van de EPS Operationele run (top panel) en Control run (bottom panel).

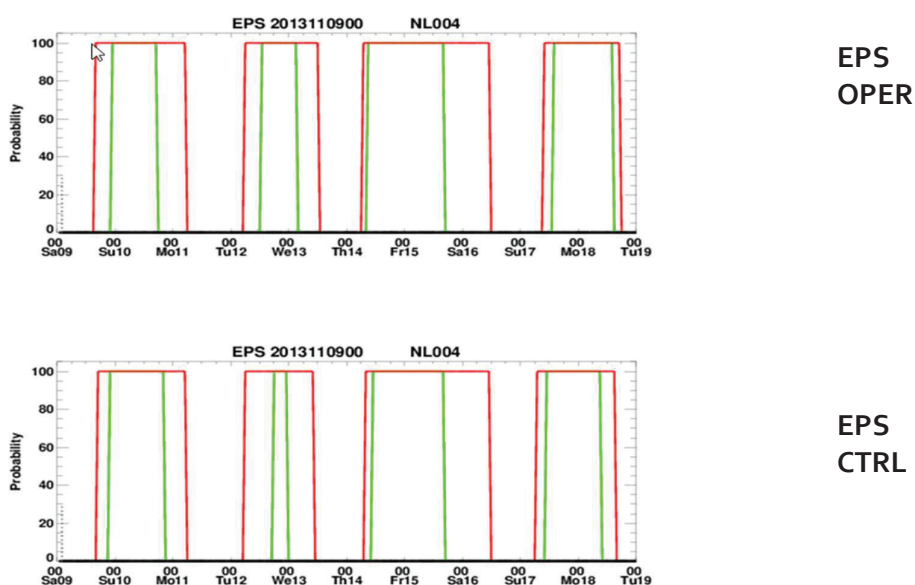


Fig. 8.11.1 Overschrijdingskansen voor 1 mm (rood) en 3 mm (groen) neerslag in de afgelopen 24 uur gebaseerd op de operationele (boven) en control (beneden) run van 9 november 2013 voor een roosterpunt in de buurt van Rotterdam.

b. Deterministisch model gevolgd door ander deterministisch model

Bij risicoprofielen die meerdere dagen beslaan zou het een mogelijk zinnige configuratie kunnen zijn om aan het begin de operationele (of control) run van het ECMWF te gebruiken en daarna het ensemble gemiddelde. Deze hebben dezelfde runtijd maar zijn slechts 2x per dag

beschikbaar. Daarom kan ook gekozen worden om als eerste deterministische model Hirlam of Harmonie te nemen die respectievelijk 4 en 8 maal per dag beschikbaar zijn. Als de overgang op een vaste tijd vanaf de starttijd van PASCAL plaatsvindt dan worden de modellen dus steeds op een andere plek in de forecast aan elkaar geknoopt. In de huidige configuratie is in Hirlam en Harmonie alleen neerslag beschikbaar.

In Fig. 8.11.2 staat een voorbeeld van het gebruik van de operationele run van het EPS tot aan +48 vanaf 20 UTC op 27 september ('nu', i.e. de starttijd van PASCAL), gevolgd door het ensemble gemiddelde tot aan +240 vanaf 'nu'. Getoond wordt de gebiedskans op een gebiedje rond Maastricht (bestaande uit 2 roosterpunten) van tenminste 5 mm / 24 hr.

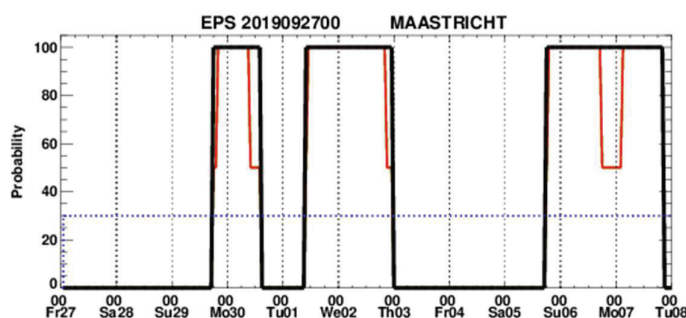


Fig. 8.11.2. Gebiedskans op een overschrijding van 5 mm neerslag in de afgelopen 24 uur (in zwart) gebaseerd op het operationele ECMWF model tot aan +48 vanaf 'nu', gevolgd door het ensemble gemiddelde tot aan +240 vanaf 'nu' van de EPS-run van 27 september 2019 00 UTC voor een gebiedje bestaande uit 2 roosterpunten rond Maastricht. In rood het percentage roosterpunten waar tenminste 1 ensemble lid aan het criterium voldoet.

c. Deterministisch model gevolgd door probabilistisch model

Voor het deterministisch model kan weer gekozen worden uit de operationele run, de control run, het ensemble gemiddelde van het EPS, Hirlam of Harmonie (zie hoofdstuk 5c). Het probabilistische model is (vooralsnog) het EPS.

In Fig. 8.11.3 staat een voorbeeld waarin gebruik is gemaakt van Hirlam tot aan +36 vanaf de starttijd van PASCAL ('nu') om 9 UTC op de 11^e september 2017, gevolgd door het EPS tot aan +120 vanaf 'nu'. Het betreft de overschrijdingskans van meer dan 3 mm per 6 uur voor een roosterpunt in de buurt van De Bilt.

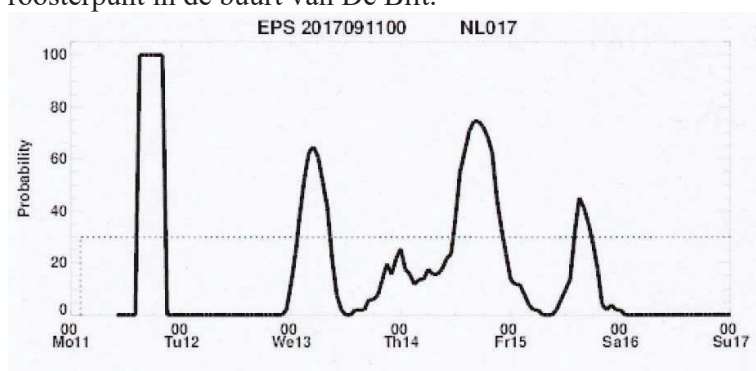


Fig. 8.11.3. Kans op overschrijding van een neerslagsom van meer dan 3mm over de afgelopen 6 uur voor een roosterpunt in de buurt van De Bilt. Er is gebruik gemaakt van Hirlam tot aan +36 vanaf de starttijd van PASCAL ('nu') om 9 UTC op de 11^e september 2017, gevolgd door het EPS tot aan +120 vanaf 'nu'.

d. Neerslaghistorie, gevolgd door deterministisch en / of probabilistisch model

Dit betreft situaties zoals in a. en b. maar voorafgaand door waargenomen gebiedsgemiddelde neerslag.

Een voorbeeld van de combinatie van neerslaghistorie met een deterministisch en een probabilistisch model is het waterschapssysteem (Kok et al., 2011a). Dit systeem genereert waarschuwingen en kansverwachtingen voor neerslag, gemiddeld over het hele betreffende (deel)waterschap. Hier is bij de operationalisering van het systeem in 2003 gekozen voor Hirlam als deterministisch model boven bijvoorbeeld het ensemble gemiddelde van het EPS vanwege de frequentere update. Inmiddels is ook Harmonie neerslag beschikbaar.

In Fig. 8.11.4 staan 2 voorbeelden van de presentatie van de neerslaghistorie van 5 dagen (tijd loopt van rechts naar links) gevolgd door de Hirlam prognose (bovenste figuur) en Harmonie prognose (onderste figuur). Het betreft 2 verschillende gevallen voor 2 verschillende waterschappen. De neerslag forecasts lopen altijd tot aan 36 uur na 'nu', i.e. de starttijd van de run van het waterschapssysteem (aangegeven door een rode verticale lijn). Zie ook het voorbeeld in paragraaf 8.5.

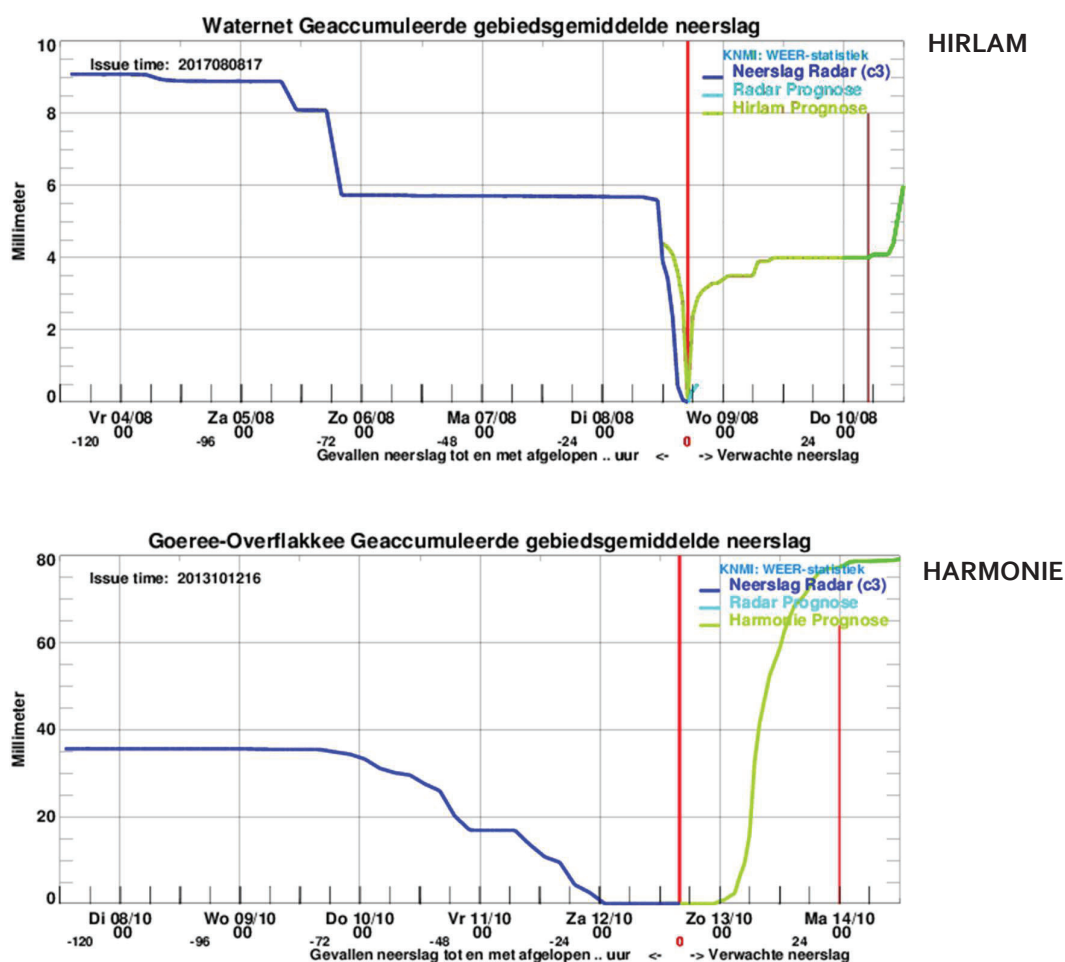


Fig. 8.11.4. Twee voorbeelden, voor 2 verschillende data en waterschappen, van de presentatie van alleen het historische en het deterministische deel van het waterschapssysteem. De historie van gevallen neerslag is gepresenteerd in blauw van rechts naar links. De modelverwachtingen van Hirlam (boven) en Harmonie (beneden) zijn aangegeven in groen.

In het waterschapssysteem is voor het probabilistische deel dat volgt op de Hirlam of Harmonie forecast (voor de risicoprofielen die verder gaan in de tijd) visuele ondersteuning beschikbaar in de vorm van overschrijdingskansen voor diverse hoeveelheden cumulatieve neerslag. Na de vervanging van het waterschapssysteem door PASCAL worden deze probabilistische plaatjes waarschijnlijk vervangen door de standaard kansplaatjes zoals in dit rapport beschreven staan (zie paragraaf 8.0). Voor meer informatie over de presentatie van het waterschapssysteem zie Kok et al. (2011a) of de KNMI-extranetsite.

8.12. Percentielen

De voorloper van het PASCAL-systeem is het waterschapssysteem (Kok et al., 2011a) dat naast de waarschuwingfunctie voor extreme neerslag voor waterschappen ook neerslagpercentielen levert in het kader van ondersteuning van de verwachting voor het Zoom- en Veersemeer. Dit is een van de redenen waarom het berekenen en presenteren van percentielen nog steeds onderdeel uitmaakt van PASCAL hoewel er geen waarschuwingfunctie aan gekoppeld is of kan worden. Ze bieden daarentegen wel nuttige additionele informatie over de verdeling (pdf) van de gepresenteerde grootheden terwijl kansplots alleen informatie geven over de kans dat het gedefinieerde criterium (de criteria) gehaald wordt (worden).

In PASCAL kunnen percentielen berekend worden voor alle weerelementen als ook voor surge (zie Tabel 5.3) en voor alle bewerkte en geconstrueerde elementen (e.g. paragraaf 8.5). Voor combinaties van elementen kan dit uiteraard niet. De percentielen moeten opgegeven worden in hele getallen (tussen 0 en 100) en het aantal is willekeurig. Percentielen als functie van de forecasttijd en berekend op de puntwaarden van het EPS vertonen grote gelijkenis met de standaard pluimplots van het KNMI (mits voldoende percentielen opgegeven worden). In PASCAL kunnen daarnaast percentielenplots gegenereerd worden na een gebiedsbewerking (e.g. min, max, gem; zie hoofdstuk 5) in willekeurige gebieden en van sommen en gemiddelden over willekeurige tijdperiodes. Er kunnen geen time windows toegepast worden bij het gebruik van percentielen.

Hieronder geven we een viertal voorbeelden van het gebruik van percentielen-pluimen van roosterpuntwaarden; voor een voorbeeld van percentielen berekend voor een gebied wordt verwezen naar par. 8.13.3.

1. *wind gusts en gemiddelde wind gusts*

In Fig. 8.12.1 staat de ‘pluim’ van wind gusts in de vorm van de 5, 25, 50, 75 en 95% percentielen voor roosterpunt De Bilt van de EPS-run van 6 feb 2020 00 UTC. Er komen piekjes, zowel naar boven als beneden, voor op de tijden dat wind gusts beschikbaar zijn (om de 6 uur). In PASCAL wordt lineair geïnterpoleerd naar tussenliggende uren alvorens de percentielen berekend worden. In de nacht van zondag op maandag ligt meer dan 95% van de leden boven de 100 km/hr (27.7 m/s), de code oranje grens in het binnenland, en ook 50% boven 120 km/hr (33.3 m/s).

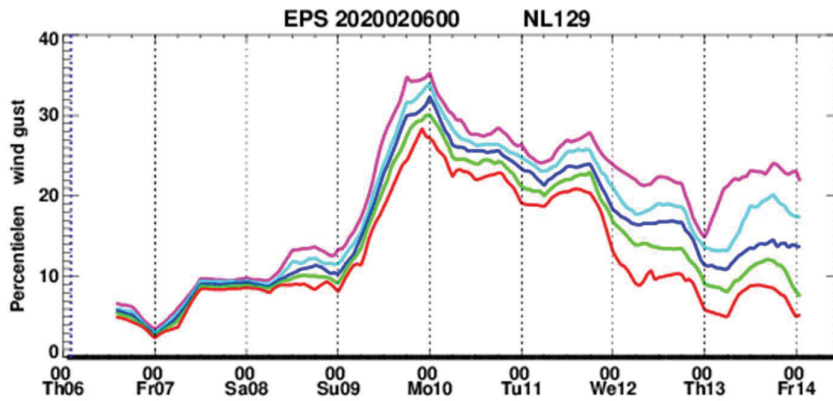


Fig. 8.12.1. De 5, 25, 50, 75 en 95% percentielen voor wind gusts (in m/s) voor roosterpunt De Bilt gebaseerd op de EPS-run van 6 februari 2020 00 UTC.

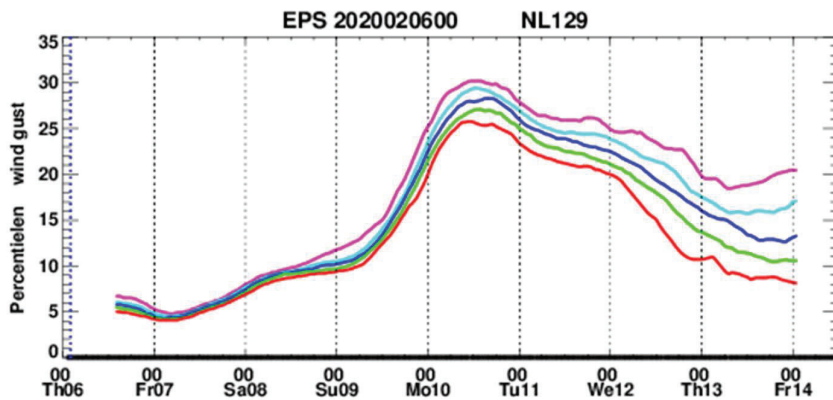


Fig. 8.12.2. De 5, 25, 50, 75 en 92% percentielen voor wind gusts (in m/s) gemiddeld over de afgelopen 24 uur voor roosterpunt De Bilt gebaseerd op de EPS-run van 6 februari 2020.

Gebaseerd op dezelfde EPS-run staat in Fig. 8.12.2 voor dezelfde percentielen de gemiddelde wind gust over 24 uur, i.e. het gemiddelde genomen over de gusts van de 4 laatste 6- uurvakken. De presentatie is ook in dit geval zodanig dat ieder punt in de grafiek aangeeft wat de waarde is over de afgelopen 24 uur (vandaar dat het maximum naar rechts verschoven is t.o.v. de eerdere plot). De pieken zijn in vergelijking met de eerdere figuur uiteraard wat afgevlakt. NB. De 5% ensemble leden die boven het hoogste percentiel liggen zonder middeling hoeven uiteraard niet dezelfde ensemble leden te zijn die de hoogste 5% van het gemiddelde uitmaken. Analoog voor de andere percentielen.

2. *sneeuw in verschillende aggregatietijden*

In Fig. 8.12.3 wordt een voorbeeld gegeven van percentielen van de verwachte langdurige lichte sneeuw in zuidoost Nederland rond de 24^e december 2010. De run is van de 22^e om 00 UTC. Getoond worden voor een roosterpunt in de buurt van Venray de 5, 25, 50, 75 en 95% percentielen van resp. de (lopende) 3-uursommen (links boven), de 12- (rechts boven), 24-, 36-, 48- en tenslotte de 72-uursommen (rechts onder). De beschikbare tijdsresolutie voor sneeuw-hoeveelheid in EPS is 3-uurlijks t/m +144, daarna 6-uurlijks. De verticale schaal moest bij iedere langere aggregatietijd aangepast worden, hetgeen er op duidt dat de sneeuwintensiteit weliswaar vrij laag was (zie panel links boven) maar min of meer monotoon vrijwel 3 dagen achtereen aanhield. 5% van de leden gaf een hoeveelheid van tenminste 35 cm voor de periode

van donderdag tot en met zaterdag (panel rechts onder). De mediaan kwam neer op 20 cm sneeuw in 72 uur voor deze gridbox. De gridboxen hadden in 2010 een grootte van ca 50 x 50 km. Op enkele plaatsen in zuidoost Nederland is in deze periode ca 40 cm sneeuw gevallen.

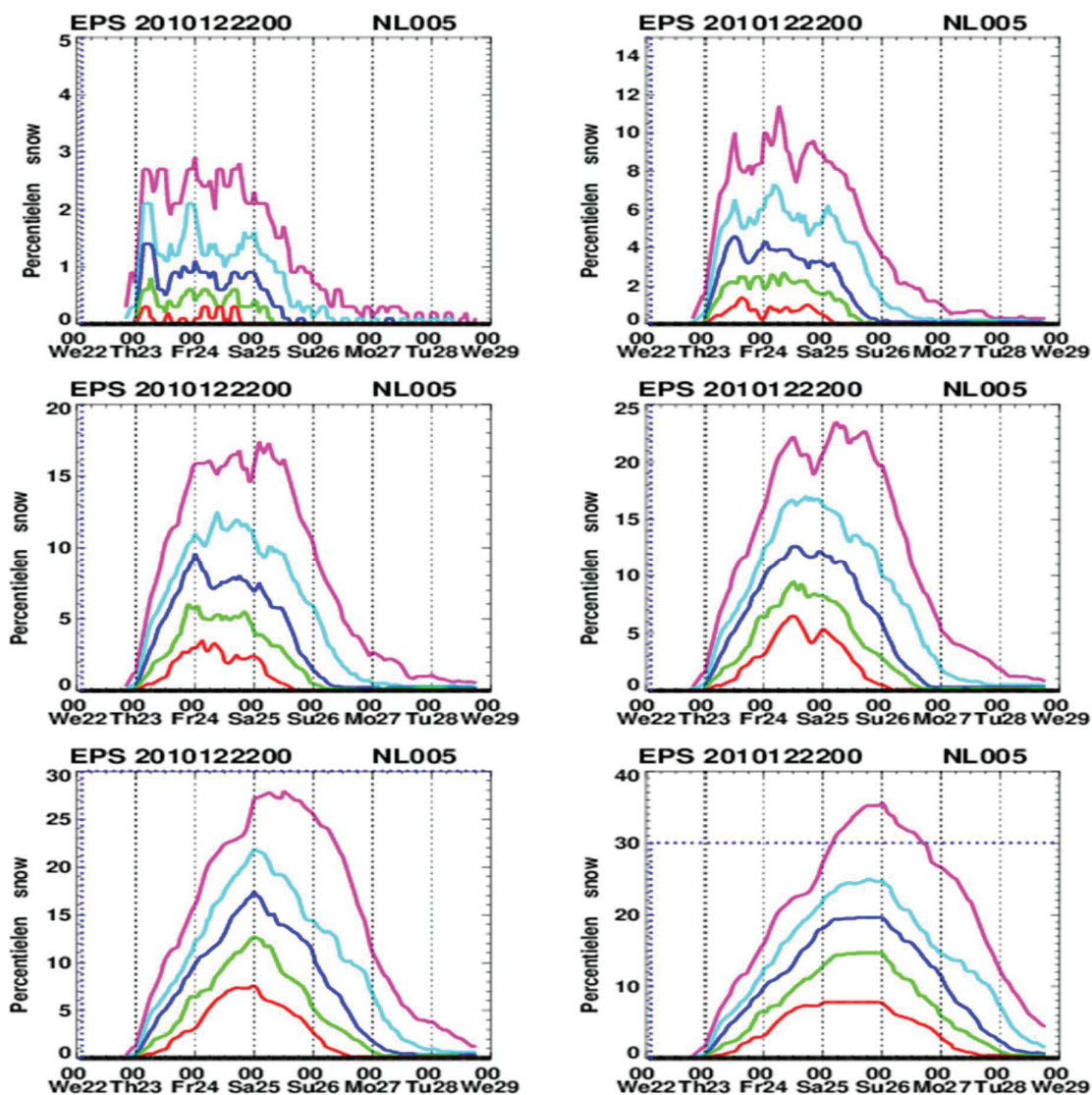


Fig. 8.12.3. De 5, 25, 50, 75 en 92% percentielen voor sneeuwsommen (in cm) over periodes van 3 en 12 uur (boven links resp. rechts), 24 en 36 uur (middelste rij), en 48 en 72 uur (onderste rij) voor een roosterpunt in de buurt van Venray gebaseerd op de EPS-run van 22 december 2010 00 UTC.

3. *geprojecteerde winden*

Een andere min of meer toevallige toepassing van het gebruik van percentielen betreft de geprojecteerde wind naar willekeurige richtingen. Dit element zijn we eerder tegengekomen, voor één (willekeurig te bepalen) vaste richting, bij de berekening van de (duur van de) fetch over zeeoppervlakken in het waterschapssysteem (voorbeeld in par. 8.5). Deze functionaliteit kan gemakkelijk uitgebreid worden door de verwachte winden (windvectoren) te projecteren

op iedere mogelijke richting en hierop percentielen te berekenen. Om dit in een 2-dimensionale plot te laten zien verliezen we de forecasttermijn als dimensie.

In het volgende drieluik (Fig. 8.12.4) staan voor roosterpunt Schiphol voor een drietal forecasttijden de percentielen van de windvectoren van alle ensemble leden geprojecteerd op lijnen (vectoren) met oriëntaties lopend van 0 t/m 360 graden (aangegeven op de x-as). Hierbij is oriëntatie 0° de richting(svector) $N \rightarrow Z$, 45° de $NO \rightarrow ZW$ en 180° de $Z \rightarrow N$ richting(svector), etc. Als de projectie in dezelfde richting is als die van de lijnen waarop geprojecteerd wordt noemen we deze geprojecteerde grootte (vector) positief en bij tegengestelde richting negatief. Zo staan in de plot bij het eerste punt op de x-as de percentielen van de windvectoren geprojecteerd op de 0 gradenlijn (i.e. $N \rightarrow Z$). Bij 180° (halverwege de x-as) hebben de projecties uiteraard precies dezelfde grootte maar een tegengesteld teken. Dit betekent dat de $\alpha\%$ percentiel bij 0° dezelfde absolute waarde heeft als de $(100-\alpha)\%$ percentiel bij 180° . Idem voor ieder 2-tal graden waarbij de graden 180 verschillen. Als een serie ‘symmetrische’ (t.o.v. 50%) percentielen gekozen wordt dan zijn de 2 helften elkaars spiegelbeeld. Omdat gekozen kan worden voor willekeurige (niet-symmetrische) percentielen is in de plot gekozen voor het presenteren van de volledige 360 graden.

In de 3 plots van Fig. 8.12.4 staan de percentielen van 5, 25, 50, 75 en 95% van de geprojecteerde windsnelheden voor locatie Schiphol voor forecasttijden +36, +144 en +204 afkomstig van de EPS-run van 6 februari 2020 00 UTC. Tevens zijn de windrozen gegeven voor dezelfde forecasttijden. In dergelijke ‘windprojectie’-plots zijn de percentielen af te lezen voor zowel head- en tailwind als voor dwarswinden voor start- en landingsbanen met willekeurige oriëntatie²⁵. Zo is de dwarswind voor de Polderbaan (die vrijwel N-Z georiënteerd is) op de +36 rond 3.5 m/s vanuit het oosten (te zien bij 90°), (ofwel ca -3.5 uit het westen, te zien bij -90° ofwel 270°). Voor de Buitenveldertbaan (die vrijwel O-W georiënteerd is) is de dwarswind ook ca 3.5 m/s, maar uit het zuiden; te zien bij 180°). Ook voor de andere banen op Schiphol valt direct de dwarswind (en de tailwind) af te lezen. De oriëntatie van de Kaagbaan staat aangegeven bij het panel van de +144 door de 2 rode gestippelde verticale lijnen. De kansverdelingen van de dwarswind zijn af te lezen op de groene gestippelde lijnen. Hierbij valt op dat de onzekerheid in de dwarswind bij deze forecasttijd veel groter is dan die in de head- of de tailwind. De leden zijn het nog redelijk eens over de windrichting (zie ook de windroos). Dit is op de +240 niet meer het geval, alleen wind uit de oosthoek lijkt onwaarschijnlijk.

Een andere toepassing van de hier beschreven presentatie is de bepaling van dwarswinden op wegen voor de berekening van de kans op Vehicle Overturning (VOT; Hemingway and Robbins, 2020). Hiervoor, en waarschijnlijk ook voor Schiphol, zijn gusts waarschijnlijk belangrijker dan de windsnelheid. Zie ook het Discussie hoofdstuk en het gusts voorbeeld onder punt 4 in deze paragraaf.

Het is evident dat voor dit soort toepassingen deze presentatievorm veel toegevoegde waarde heeft boven bijv. windrozen of pluimplots voor (apart) windsnelheid en richting, zoals deze voor deze situatie gegeven zijn in Fig. 8.12.5. In Fig. 8.12.5 staan de pluimplots van windsnelheid (nu in km/uur) en windrichting behorende bij dezelfde run waar Fig. 8.12.4 op gebaseerd is. De 3 forecasttijden in Fig. 8.12.4 hebben betrekking op vrijdag 7 februari 12 UTC, woensdag 12 feb 00 UTC en vrijdag 14 feb 12 UTC.

Er kan ook gekozen worden voor andere of meer percentielen om een zo optimaal mogelijke schatting te krijgen van het voor de betreffende toepassing relevante deel van de pdf. Ook kunnen de percentielen gekozen worden zodat ze aansluiten op de kansdrempels die berekend zijn met een (of meerdere) relevante cost-loss analyse(s).

²⁵ Desgewenst kan gekozen worden de plot te presenteren in termen van dwarswinden (i.e. 90 graden verschoven). Zie voorbeeld 4 in deze paragraaf.

Bovenstaande functionaliteit is ook uit te breiden naar projecties van gemiddelde winden over een bepaalde tijdperiode, bijvoorbeeld als de duur van de blootstelling van belang is voor de impact.

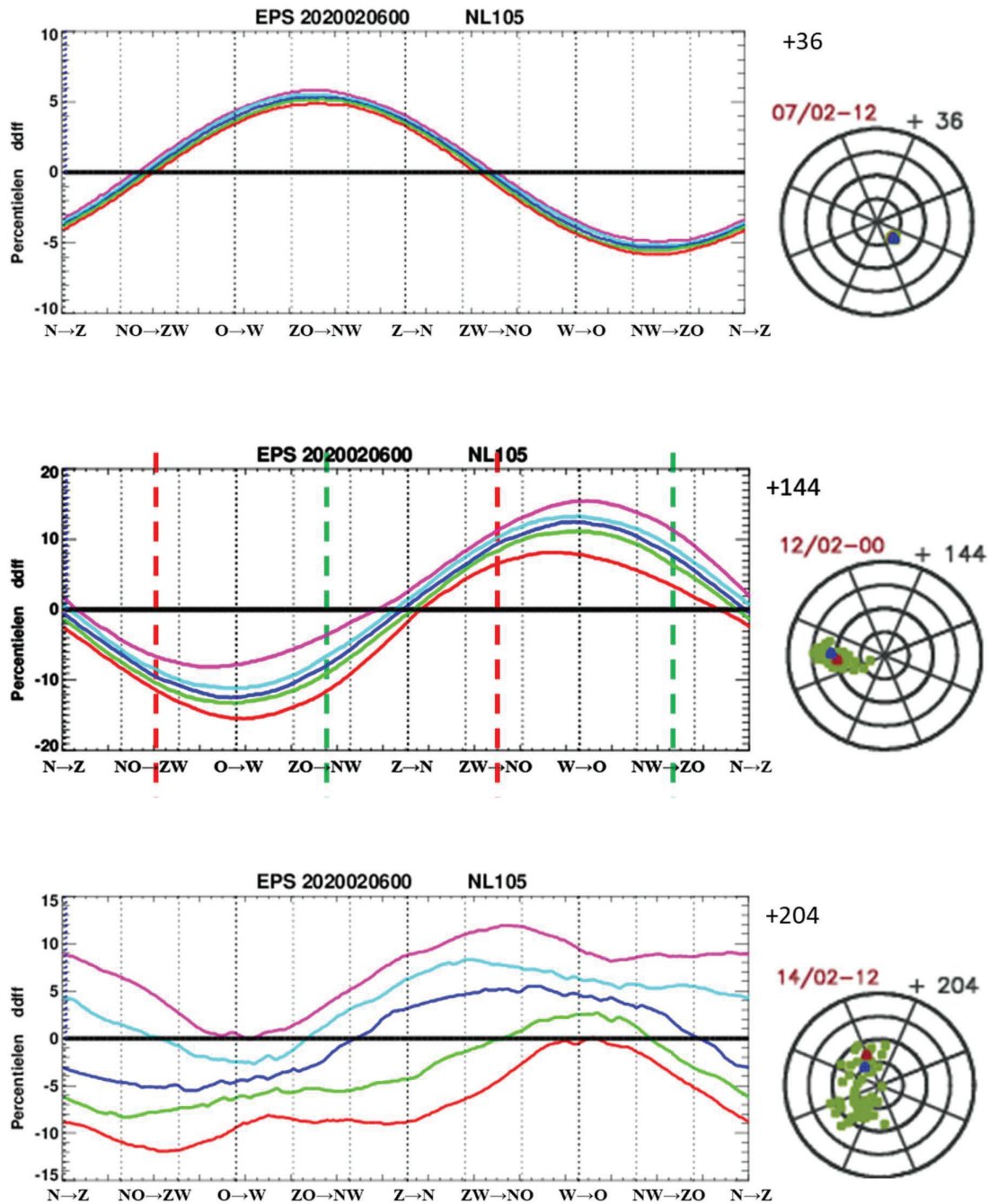


Fig. 8.12.4. Percentielen van 5, 25, 50, 75 en 95% van de geprojecteerde windsnelheden (in m/s) voor forecasttijden +36 (top), +144 (midden) en +204 (beneden) als functie van de richting waarop geprojecteerd wordt. De verticale schaal is automatisch aangepast aan de grootte van de winden. Het betreft de EPS-forecast van 6 februari 2020 00 UTC voor Schiphol. Rechts van ieder panel staan de overeenkomstige windrozen. De groene punten hierin zijn afkomstig van de ensemble leden, de rode van de operationele run en de blauwe van de control run. De operationele run is niet meegenomen in de percentielen.

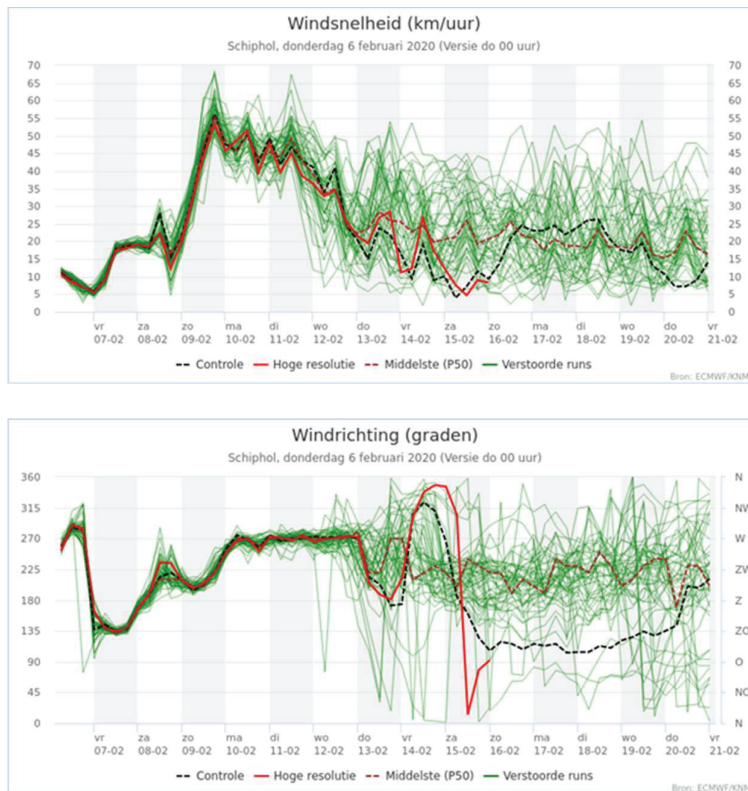


Fig. 8.12.5. Pluimplots van 6 februari 2020 00 UTC voor windsnelheid (boven) en windrichting (beneden) voor station Schiphol. Het betreft dezelfde run als in Fig.8.12.4.

4. *gusts uit haakse richtingen*

In het vorige voorbeeld werden winden geprojecteerd op alle richtingen zoals aangegeven op de X-as. In het onderhavige voorbeeld van wind gusts voor station De Bilt zijn de richtingen op de X-as 90° verschoven teneinde rechtstreeks de percentielen voor dwarswinden te kunnen aflezen. In Fig. 8.12.6 staan de percentielen van 2, 10, 25, 50, 75, 90 en 98% afkomstig van de +48 forecast van de EPS-run van 8 februari 2020 00 UTC, 2 dagen later dan de run in het vorige voorbeeld. De +48 betreft de periode van 18 tot 00 UTC waarin de maximale wind gusts optraden (zie ook pluimen van Fig 8.12.5). De richtingen waar de dwars'gusts' met een kans van tenminste 10% boven 35 m/s en met een kans van tenminste 50% boven 23 m/s zijn aangegeven door de rode resp. blauwe intervallen onder de X-as. De gekozen gust snelheden zijn ontleend aan de kritische vulnerability grenzen in de vehicle overturning module (VOT) voor personenauto's resp. hoge vrachtwagens zonder lading en caravans (Hemingway and Robbins, 2020). Dit zou aanleiding kunnen zijn om voor weggedeelten in een range van oriëntaties van ca 90° resp 30° rond de ZZO↔NNW-richting (i.e. ca 155° ↔ 335°) een impact waarschuwing te doen uitgaan voor vrachtwagens en personenwagens, mits de verwachte exposure hoog genoeg is (en mits dezelfde kansdrempels gekozen zijn als in dit voorbeeld). Bewerkingen zoals in dit voorbeeld kunnen ook gedaan worden bij een presentatie als onder voorbeeld 3.

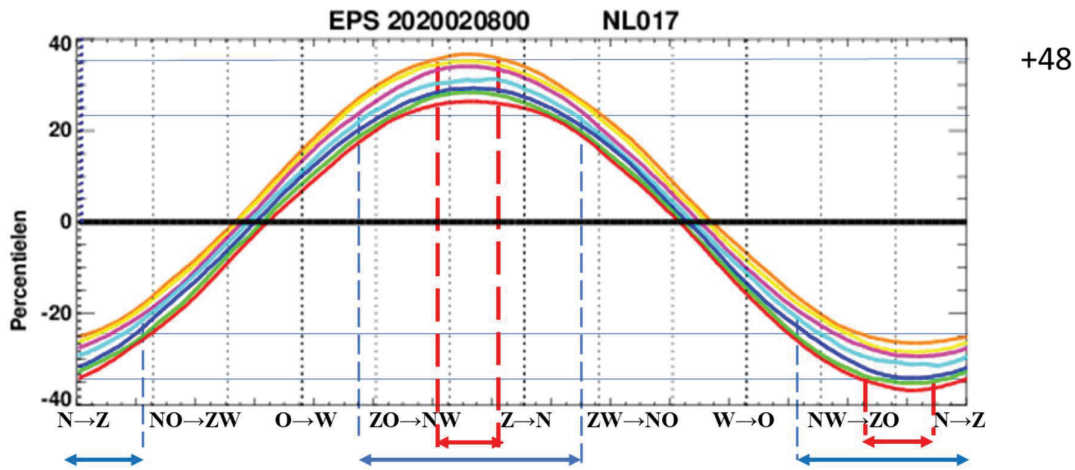


Fig. 8.12.6. Percentielen van 2, 10, 25, 50, 75, 90 en 98% van de geprojecteerde wind gusts (in m/s) voor forecasttijd +48 als functie van de richting waarop geprojecteerd wordt maar nu 90° verschoven zodat de percentielen rechtstreeks de gusts uit *haakse* richting aangeven (i.t.t. Fig. 8.12.4). Het betreft de EPS-forecast van 8 februari 2020 00 UTC voor De Bilt.

8.13. Gebiedsbewerkingen (maximum, minimum, gemiddelde)

Bij de berekening van een gebiedskans wordt per roosterpunt bekeken of er aan het criterium of criteria voldaan wordt. Wil men echter bepaalde bewerkingen op het gebied (i.e. over meerdere roosterpunten) uitvoeren voordat er condities op toegepast moeten worden, dan is er een tussenstap nodig (zie ook Fig. 5.1). Deze is in het PASCAL-systeem gerealiseerd door eerst met behulp van de informatie uit het risicoprofiel de gevraagde elementen voor alle roosterpunten te verzamelen, dan de gebiedsbewerking erop uit te voeren voor alle ensemble leden en forecasttijden en deze tenslotte weg te schrijven in 1 tijdserie-file (ter vervanging van de roosterpunt-files). Deze file heeft dezelfde lay-out als de oorspronkelijke tijdserie-files per roosterpunt waardoor vervolgens alle bewerkingen zoals beschreven in de paragrafen 8.1 t/m 8.12 hierop toegepast kunnen worden.

De mogelijke gebiedsbewerkingen zijn op dit moment het gemiddelde, maximum en minimum berekend over de gridpunten van het opgegeven gebied. Omdat gebiedsbewerkingen worden toegepast voordat het risicoprofiel gecheckt wordt mogen er geen gebieds- en puntercriteria in hetzelfde risicoprofiel voorkomen.

1. gebiedsgemiddelde

In het operationele waterschapssysteem worden waterschappen gealerteerd op grond van verwachte gebiedsgemiddelde neerslag, op de korte termijn op grond van het Harmonie, op de middellange termijn van het EPS. In 2003, bij de start van het systeem, kon nog volstaan worden met de output van 1 EPS-roosterpunt voor heel waterschap Fryslan (dat het grootste waterschap was dat lid was van het systeem) omdat toen de gridboxen ca 50 x 50 km waren. In het huidige systeem moet de gebiedsgemiddelde hoeveelheid neerslag op de middellange termijn bepaald worden over meerdere gridboxen.

In Fig. 8.13.1 (bovenste panel) staat een voorbeeld van 26 juni 2017 van de kans op meer dan 20 mm neerslag per 24 uur, gebiedsgemiddeld voor wetterskip Fryslan dat in 2017 beschreven werd door 3 gridboxen. Het betreft hetzelfde event en dezelfde run als het voorbeeld in paragraaf 8.1 (Fig. 8.1.2). Ter vergelijking staat in het onderste panel de gebiedskans voor dezelfde predictand. Deze is in dit geval slechts iets hoger dan de kans voor de gebieds-

gemiddelde neerslag. Het kleine verschil is ook af te leiden aan de hoge conditional coverage die op geen enkel tijdstip (vanaf woensdag) beneden de 80% uitkomt. Er is geen window toegepast.

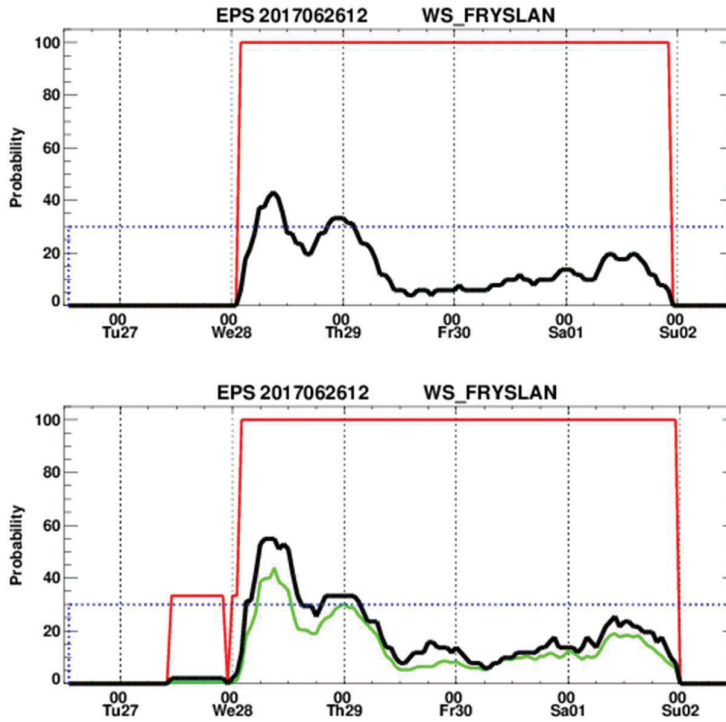


Fig. 8.13.1. De kans op overschrijding van de gebiedsgemiddelde neerslag van 20 mm per 24 uur (top panel, in zwart) voor wetterskip Fryslan, bestaande uit 3 EPS-gridpunten, gebaseerd op de run van 26 juni 2017 12 UTC. In het onderste panel staat de gebiedskans op overschrijding van dezelfde neerslagintensiteit (in zwart). In groen de gemiddelde puntkans, in rood (in beide panels) de kans dat tenminste 1 ensemble member aan het criterium voldoet. De forecast termijn loopt tot zondag 00 uur.

2. gebiedsmaximum en minimum

De kans op overschrijding van een drempelwaarde van het gebiedsmaximum is exact gelijk aan de gebiedskans p_A voor dat gebied. In formule

$$P\{\max_j E(j) > thr\} = p_A\{E(j) > thr\} \quad (a)$$

met E een willekeurig element, j een punt in gebied A en thr de (fysieke) drempelwaarde. Dit is als volgt in te zien. Voor 1 ensemble lid m_o geldt

$$\{\max_j E(j) > thr\} \leftrightarrow \exists j: E(j) > thr \leftrightarrow \exists j: B_{jm_o} = 1 \leftrightarrow \max_j B_{jm_o} = 1$$

B_{jm_o} is een binair getal. “ $\exists j$ ” betekent: “er is een j ”.

Voor de kansen bij een ensemble volgt hieruit formule (a). Zie ook paragraaf 3a.

Analoog geldt voor het gebiedsminimum

$$P\{\{\min_j E(j)\} \leq thr\} = p_A\{E(j) \leq thr\} \quad (b)$$

Deze gelijkheden gelden niet bij vervanging van ‘>’ in ‘≤’ in de bovenste formule en bij vervanging van ‘≤’ in ‘>’ in de onderste²⁶:

$$\begin{aligned} P\{\{\max_j E(j)\} \leq thr\} &\neq p_A\{E(j) \leq thr\} \\ P\{\{\min_j E(j)\} > thr\} &\neq p_A\{E(j) > thr\} \end{aligned}$$

Dit is als volgt in te zien. Nemen we bijvoorbeeld de tweede expressie. Er geldt:

$$\{\min_j E(j)\} > thr \rightarrow \forall j: E(j) > thr \rightarrow \forall j: B_{j m_o} = 1 \rightarrow \max_j B_{j m_o} = 1$$

waarbij “ $\forall j$ ” betekent: “voor alle j ”.

De gevolgtrekkingen (pijlen) werken nu maar 1 kant op; vandaar het ongelijkteken voor de kansen.

Uiteraard geldt ook

$$P\{\{\max_j E(j)\} > thr\} = 1 - P\{\{\max_j E(j)\} \leq thr\}$$

en analoog voor iedere andere gebiedsbewerking.

Maar:

$$p_A\{E(j) > thr\} \neq 1 - p_A\{E(j) \leq thr\}$$

$$p_A\{E(j) \leq thr\} \neq 1 - p_A\{E(j) > thr\}$$

Wil men de kans bepalen dat het maximum binnen een gebied een bepaalde waarde overschrijdt dan hoeft dus, volgens formule (a), niet eerst het gebiedsmaximum bepaald te worden maar kan men misschien beter de gebiedskans bepalen (maar kost wel meer rekentijd). Deze levert daarnaast namelijk ook de conditional en unconditional coverages van dat gebied. Analoog voor de kans dat het minimum een bepaalde waarde onderschrijdt (formule (b)).

Dit is toegepast in onderstaande voorbeelden:

In Fig. 8.13.2 top panel is de kans gegeven op een gebiedsminimum temperatuur van lager dan -5 graden in het gebied van wetterskip Fryslan, hier gerepresenteerd door 5 octahedral EPS roosterpunten; in het onderste panel dat het gebiedsminimum juist hoger is dan -5 graden. Voor beide gevallen is gekozen voor de presentatie in de vorm van de corresponderende gebiedskansen. Hoewel de gebiedskansen niet elkaars complementen zijn geldt dit wel voor de (unconditional) coverages:

$$coverage(p_A\{E(j) > thr\}) = 1 - coverage(p_A\{E(j) \leq thr\})$$

Dit is te zien aan de groene lijnen in de 2 panels die optellen tot 100%. Deze relatie geldt voor alle elementen E . Voor de conditional coverage of na toepassing van een time window geldt zo’n relatie niet.

Uiteraard is toepassing van een time window in dit voorbeeld meer relevant maar dat is hier vanwege de duidelijkheid achterwege gelaten.

²⁶ Er is in deze 2 formules gekozen voor ‘>’ en ‘≤’ en niet voor ‘≥’ en ‘<’ omdat dit de afbakening van grenzen is in PASCAL (par. 8.2).

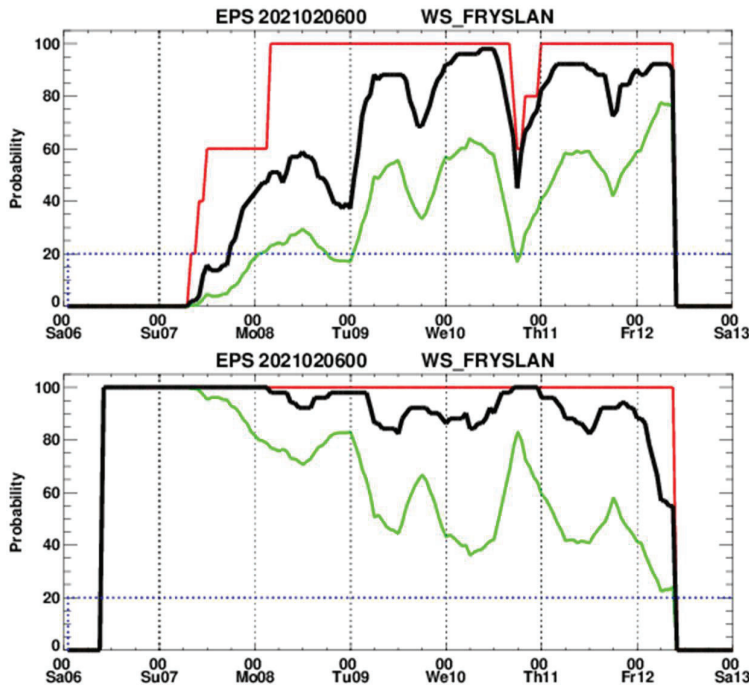


Fig. 8.13.2. Gebiedskans op een minimum temperatuur $\leq -5^{\circ}\text{C}$ (bovenste panel) en $> -5^{\circ}\text{C}$ (onderste panel) voor het wetterskip Fryslan gerepresenteerd door 5 EPS-roosterpunten. In groen de gemiddelde puntkans, in rood de kans dat tenminste 1 ensemble member aan het criterium voldoet. De PASCAL-run is van 6 februari 2021 om 11 UTC en was gebaseerd op de EPS-run van 00 UTC. Er is geen window toegepast.

Ter completering in Fig. 8.13.3 de kans dat nergens in het wetterskip Fryslan gebied de minimum temperatuur hoger is dan -5°C (top panel) en nergens lager dan -5°C (bottom panel). Hier kan dus niet de gebiedskans gebruikt worden maar moet eerst op het gebied het maximum (top panel) resp. het minimum (bottom panel) bepaald worden. In rood staat wederom de kans dat tenminste 1 lid aan het criterium voldoet. Deze is altijd 100% zodra de kans niet 0 is omdat er maar 1 run aangeboden wordt aan het PASCAL-programma, en heeft hier dus geen relevante betekenis.

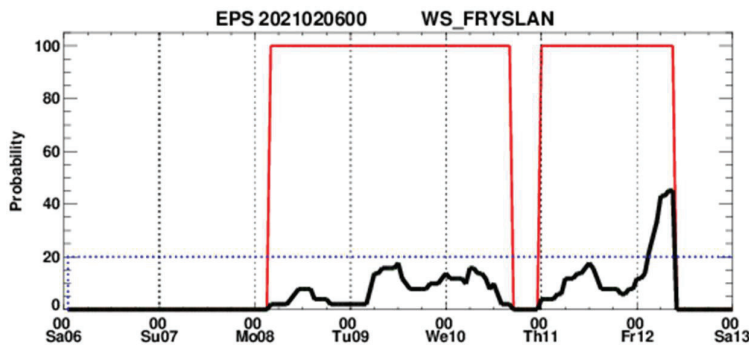


Fig. 8.13.3. top panel

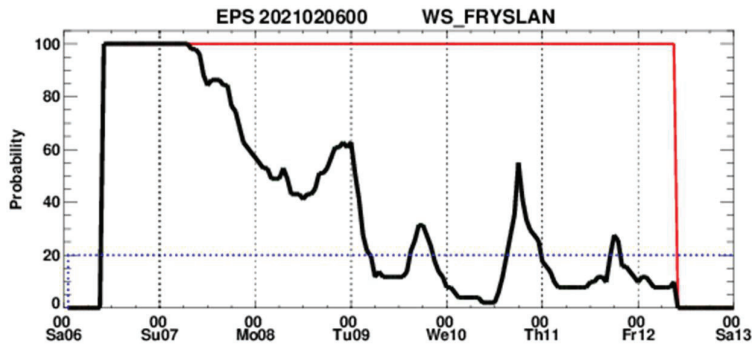


Fig. 8.13.3. De kans dat het gebiedsmaximum van de minimum temperatuur $\leq -5^{\circ}\text{C}$ is (bovenste panel) en de kans dat het gebiedsminimum $> -5^{\circ}\text{C}$ is (onderste panel), voor hetzelfde gebied en dezelfde run als in Fig. 8.13.2. Er is geen window toegepast.

3. percentielen

Voor de berekening van percentielwaarden van gebiedsgrootheden (gem, min, max) moet in het PASCAL-systeem eerst de betreffende bewerking op het gebied uitgevoerd worden.

In Fig. 8.13.4 staan de 5, 25, 50, 75, 95% percentielen van de maximum temperatuur in een gebied rond Cabauw (Centraal Nederland), bestaande uit 5 EPS-punten. Het betreft de verwachting van 21 juli 2019 00 UTC aan het begin van de periode met extreme hitte.

De maximum temperatuur is beschikbaar in 6-uurlijkse stappen en is lineair geïnterpoleerd naar uurlijkse waarden alvorens de gebiedsmaxima zijn berekend. Er is bovendien een time window van 6 uur toegepast omdat misschien niet in alle ensemble leden het maximum in hetzelfde 6-uur tijdvak valt. De percentielwaarden hebben hun maximum altijd om 18 UTC; dit hoeft uiteraard niet te gelden voor de maxima van de individuele ensemble leden (zie de temperatuurpluim voor De Bilt in Fig. 8.13.5).

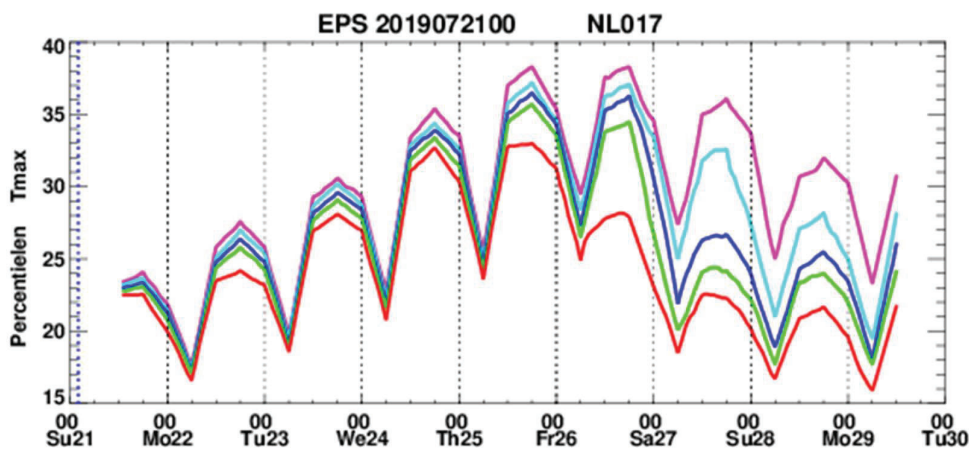


Fig. 8.13.4. Percentielen van 5, 25, 50, 75 en 95% van de maximum temperatuur in een gebied in Centraal Nederland, bestaande uit 5 EPS-punten, gebaseerd op de run van 21 juli 2019 00 UTC. NL017 is een punt in de buurt van Cabauw en is centraal gelegen in het gebied. Er is een window van 6 uur toegepast. De gepresenteerde waarden gelden dus voor de afgelopen 6 uur.

In Fig. 8.13.5 staat de bijbehorende pluim voor station De Bilt van 21 juli 2019 00 UTC. Vaak wordt de temperatuur(pluim) van De Bilt met instantane waarden als leidraad genomen voor de verwachte maximumtemperatuur in centraal Nederland. Fig. 8.13.4 laat zien dat een ‘pluim’ voor een gebied inclusief een time window een veel betere optie is. Op donderdag de 25^e is de kans ruim meer dan 75% dat de maximum temperatuur hoger wordt dan 35 graden. Op vrijdag de 26^e is de kans ca 75%. De instantane kansen voor De Bilt, gebaseerd op de pluimplot zijn aanzienlijk lager.

Bij de berekening van het gebiedsmaximum is in dit voorbeeld geen post-processing toegepast (zoals in voorbeeld par. 8.7.c).

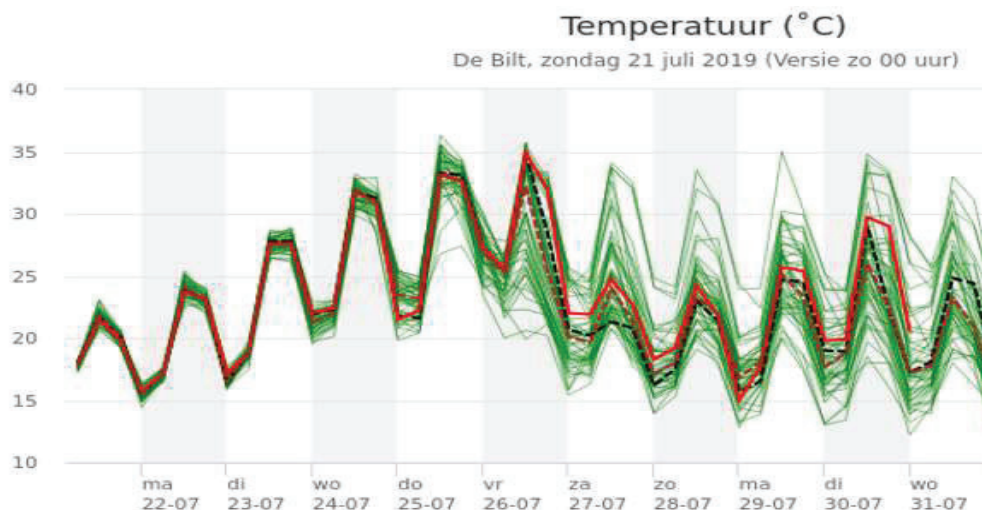


Fig. 8.13.5. Temperatuurpluim van zondag 21 juli 2019 00 UTC voor station De Bilt. Alleen de eerste 11 dagen zijn getoond.

Deel IV

9. Samenvatting

In dit paper is een beschrijving gegeven van het waarschuwingssysteem PASCAL dat staat voor *Probabilistic Alert System for the Concurrence of Adverse weather elements*. Dit is een interactief systeem dat uitgaande van de uitvoer in tijdseries van elementen afkomstig van diverse modellen (vnl. maar niet alleen EPSen) de (gebieds)kansen op over- of onderschrijding bepaalt. Dit gebeurt voor willekeurige combinaties van modelgrootheden en hieruit af te leiden grootheden, voor willekeurig gedefinieerde gebieden en tijdvensters (time windows). Bij af te leiden grootheden kan gedacht worden aan gevoelstemperatuur en hittestress, of aan gidsvergelijkingen waarvan de predictoren elementen uit de tijdseries zijn. De criteria (of risicoprofielen) waarvoor de kansen worden berekend kunnen extern (i.e. buiten het rekenprogramma) worden opgegeven en mogen willekeurige combinaties zijn van doorsnedes en verenigingen van een vrijwel onbeperkt aantal subcriteria. Hierdoor is het mogelijk om events erg nauwkeurig te definiëren zodat waarschuwingen hier beter op kunnen aansluiten. Daarnaast kunnen gebruikersbehoeften (inclusief die van het KNMI in het kader van de waarschuwings-functie) veel beter vertaald worden naar relevante predictands. Dit is een noodzakelijke voorwaarde om, bijvoorbeeld met een cost-loss analyse, te komen tot bepaling van objectief onderbouwde alert levels (kansdrempels of “triggers”). In dit rapport is dan ook veel aandacht besteed aan hoe te komen tot een goede predictand definitie (c.q. risicoprofiel) en hoe een cost-loss analyse gedaan zou kunnen worden en welke problemen daarbij een rol spelen (m.n. in hoofdstukken 6 en 7). Daarnaast ook aan welke kansinformatie uit de modellen geëxtraheerd moet worden die het beste aansluit op beslisproblemen van gebruikers (hoofdstuk 4). Meestal zijn instantane kansen (pluimen) minder geschikt en moet eerst een zekere mate van upscaling in ruimte en/of tijd toegepast worden.

Het systeem is speciaal gericht op extreme situaties voor Nederland maar is uiteraard ook te gebruiken voor niet-extreme situaties. Als na toetsing aan de modelinformatie blijkt dat aan de criteria met voldoende (opgegeven) zekerheid voldaan wordt dan kan desgewenst een alertmail gestuurd worden. Dit kan zowel op grond van criteria per punt als per gebied. Als naast fysische criteria ook een criterium voor de minimale grootte van het aangedane gebied verlangd wordt (bijv. als proxy voor verwachte impact, zoals bij een ‘standaard gebiedsgrootte’) dan kan de waarschuwing ook gebaseerd worden op overschrijding van een drempelwaarde voor de (unconditional) coverage (de verwachte bedekkingsgraad binnen het aangegeven gebied). Deze wordt automatisch gegenereerd bij de berekening van een gebiedskans.

Het systeem komt voort uit het waterschapssysteem en bevat daarom nog een deterministische component voor neerslag uit Hirlam en Harmonie. Andere deterministische verwachtingen, met veel meer elementen, die gebruikt kunnen worden zijn de operationele en control run en het ensemble gemiddelde van het gebruikte ensemble. De nadruk ligt echter op de probabilistische component om de inherente onzekerheid zoals bijvoorbeeld gemodelleerd door ensemble systemen te kunnen verdisconteren. Deze onzekerheid, gekwantificeerd in de vorm van kansverwachtingen, heeft veel meer waarde (mits skillful) voor grote groepen gebruikers dan deterministische verwachtingen. Dit geldt zeker ook voor waarschuwingen voor extremen en daarom mag de communicatie van gekwantificeerde onzekerheid hierbij nooit ontbreken.

In de hier beschreven versie van PASCAL is wat betreft de berekening van de kansen alleen gebruik gemaakt van het EPS van het ECMWF tot +15 dagen. Omdat het systeem gebaseerd is op tijdseries per roosterpunt is toepassing op HarmonEPS misschien niet direct in alle gevallen mogelijk zonder aggregatie op de data. Te denken valt aan een berekening van gemiddelde,

maximum, etc. op gebieden van bijvoorbeeld 3x3 roosterpunten. Deze aggregatie zou direct na het beschikbaar komen van de modelrun uitgevoerd kunnen worden alvorens alle risico-profielen getoetst kunnen worden.

De beschikbare weerparameters in de huidige versie (een 20-tal) hebben allemaal te maken met het weer “aan de grond” (Tabel 5.3). Deze lijst kan gemakkelijk uitgebreid worden. Daarnaast zijn er surge gegevens beschikbaar van 8 Nederlandse kuststations (tot +10 dagen) voor dezelfde ensemble leden. Deze veelheid aan parameters maakt het mogelijk ook event concurrences (het gelijktijdig of vlak na elkaar optreden van meerdere events) te definiëren. Rivierlevels zouden eventueel ook toegevoegd kunnen worden, mits gebaseerd op dezelfde ensemble members.

Kansen kunnen berekend worden voor willekeurige (model-grid)punten boven Nederland en voor willekeurige gebieden. Deze gebieden moeten echter wel eerst gedefinieerd zijn in de vorm van een lijst met roosterpunten van het gekozen model, en voor geaggregeerde neerslag uit Hirlam of Harmonie (in de huidige versie) in de vorm van een lijst met radarpixels (ter grootte van ca 1.5 x 1.5 km). Daarnaast kan ook de expected time until (hazard) impact berekend worden in de vorm van een kansverdeling van het aantal uur voordat een event optreedt c.q. begint.

Hoewel PASCAL bedoeld is om bij gegeven (fysieke) drempelwaarden de kans op over- of onderschrijding te bepalen, is ook in beperkte mate het omgekeerde mogelijk middels het berekenen van percentielen. Percentielen bieden nuttige additionele informatie over de verdeling (pdf) van de grootheden en mogen in het systeem ook gebaseerd zijn op bewerkingen van de elementen zoals gemiddelden, etc. al of niet in een time window, voor punten zowel als gebieden. Maar er is geen waarschuwingfunctie aan gekoppeld. Percentielen van gecombineerde grootheden zijn uiteraard niet mogelijk.

De gepresenteerde voorbeelden (hoofdstuk 8) zijn voornamelijk bedoeld om een beeld te geven van de mogelijkheden die het systeem biedt, en zijn vrijwel allemaal rechtstreeks gebaseerd op de direct model output. Een uitzondering betreft de mogelijkheid om post-processing modules (gidsen) toe te passen op individuele ensemble leden of op andere hieruit te extraheren verwachtingen. Hierbij moet echter opgepast worden als criteria op elementen die aangepast zijn met behulp van een gids of een andere member-by-member post-processing techniek, gecombineerd worden met criteria op andere elementen binnen eenzelfde risicoprofiel.

De voorbeelden illustreren dat louter door op een gerichte manier deelverzamelingen te kiezen uit de ensemble-dimensies ruimte, (forecast)tijd én element er veel meer relevante informatie is te extraheren die bovendien veel meer skill heeft dan valt te behalen uit de gebruikelijke manier waarop ensembles gebruikt worden. Nog belangrijker is dat hierdoor (potentieel) veel meer *value* bereikt kan worden, m.n. door betere tailoring op specifieke beslisproblemen van gebruikers. De in de voorbeelden getoonde functionaliteit is daarom een essentieel onderdeel van ieder waarschuwingssysteem, en wordt nog veel belangrijker bij gebruik van hogere resolutie ensembles zoals HarmonEPS.

Aan layout en visualisatie is in dit rapport niet veel aandacht besteed, hoewel dit een zeer belangrijk onderdeel is bij de communicatie van waarschuwingen en bij de ondersteuning bij het beslissingsproces van gebruikers (e.g. NRC, 2003). Voor visualisatie van de onzekerheid wordt verwezen naar WMO (2008), Bruen et al. (2010), Fundel et al. (2019) en Demuth et al. (2020). In dit rapport is gekozen voor presentatie in de vorm van kansen als functie van de forecast tijd voor zowel gebieden als (optioneel) voor alle gridpunten uit de gebieden (zie paragraaf 8.0). Presentatie is in de vorm van puntkansen (p_i) van alle subcriteria alsmede van de gecombineerde kansen, en voor gebieden de gebiedskansen (p_A), gebiedsgemiddelde kansen (\bar{p}_i), de conditional en unconditional coverages, en de kans dat tenminste 1 van de ensemble

leden voldoet aan het criterium. Afhankelijk van het gekozen risicoprofiel kunnen in het PASCAL-systeem zowel voor punten als gebieden plots gegenereerd worden van het verwachte begintijdstip van het event en van de duur van het event, resp. ook wel *time until impact* (ofwel *time of onset*) en *duration* plots genoemd (e.g. Demuth et al., 2020). Dit zijn beide essentiële componenten in een gevaarlijk weer systeem. In tegenstelling tot de aanbevelingen in Demuth et al. zijn dit in PASCAL uiteraard geen deterministische verwachtingen maar probabilistische. Voor operationele toepassingen zal de huidige presentatie in kans-versus-tijd plots (op y- versus x-as) voor 1 plaats of gebied uitgebreid dienen te worden met een horizontale dimensie tot kans-versus-ruimte plots per tijdstap (met ‘ruimte’ bijvoorbeeld een kaart van heel Nederland) die dan vervolgens als *time sequence* gepresenteerd kunnen worden om de evolutie van de kansen te tonen.

In een apart hoofdstuk is aandacht besteed aan enkele overwegingen die een rol spelen bij de keuze wanneer welke kansen te gebruiken (hoofdstuk 4). Het belang hiervan neemt toe als gebruik gemaakt gaat worden van hogere resolutie ensemble informatie (zoals HarmonEPS). Zo zullen puntkansen (zoals in de standaard pluimen) in belangrijkheid inboeten ten koste van gebieds- en vooral van window kansen.

Het systeem ontbeert een web-interface om de externe settings ten behoeve van de risicoprofielen, zoals gegeven in Tabel 5.4, te genereren; dat gebeurt nu nog handmatig. Daarnaast zou het handiger zijn om de mailverzending die nu nog voor 1 gebruikersgroep een integraal onderdeel van het systeem uitmaakt, hiervan los te koppelen. Dat geeft meer vrijheid om de vorm en inhoud van de alertering toe te spitsen op individuele gebruikers(groepen).

10. Discussie

Huidige ontwikkeling

De laatste jaren is er groeiende druk vanuit o.a. de WMO (e.g. WMO, 2015) op de meteorologische wereld om naast de nodige verbetering van de kwaliteit van de waarschuwingen, ervoor te zorgen dat de nadelige gevolgen van weer-, water- en klimaat-events verminderen. Dit zou o.a. moeten gebeuren door veranderingen in de manier waarop “het publiek de informatie ontvangt, begrijpt en ernaar handelt” (*Building a weather-ready nation 2019-2022*, strategy and action plan NOAA, 2019; Uccellini and ten Hove, 2019). Hierbij zou de dienstverlening van de NMSs uitgebreid moeten worden met (of omgevormd moeten worden naar) zgn. *impact-based decision support services* (IDSS, 2018).

Als essentiële eerste verandering (voor zover van toepassing) in de informatievoorziening richting publiek ziet de WMO (WMO, 2008, 2012) dat er nu eindelijk eens moet worden overgegaan op het communiceren van de onzekerheid van de verwachtingen en waarschuwingen. De onzekerheid heeft veel waarde voor gebruikers, is meestal al aanwezig in kwantitatieve vorm maar wordt hen nu vaak onthouden, terwijl categorische uitspraken een zekere stelligheid impliceren die nauwelijks is waar te maken (tenzij veel te lang gewacht wordt alvorens te waarschuwen). De WMO geeft ook een richtlijn op welke manier(en) de onzekerheids-communicatie er uit zou kunnen zien.

Volgens de WMO dient er een evolutie plaats te vinden van “*what will the weather be*” naar “*what will the weather do*” (WMO, 2015). Deze evolutie is in te delen in een aantal stappen lopende van waarschuwingen gebaseerd op vaste drempels, via op user-defined drempels, vervolgens op drempels die mogen variëren in ruimte en tijd, naar uiteindelijk *impact-based* en *impact* waarschuwingen.

Een van de weinige operationele voorbeelden van die laatste evolutiestap waar al een aantal jaar ervaring mee is, is het vehicle overturning (VOT) model van de UK (Hemingway and Robbins, 2020). Hierbij wordt het risico van omwaaien voor een groot aantal verschillende types auto berekend voor de snelwegen in de UK, per wegdeel van 2km, aan de hand van de gevoeligheid voor dwarswind (vulnerability) en de verwachte concentratie (exposure). Het waterschapssysteem (en dus ook PASCAL) is een voorbeeld van de evolutiestap waarin de (m.n. fysieke) drempels variabel zijn in ruimte en tijd.

De KNMI waarschuwingssystematiek is geëvolueerd van landelijke waarschuwingen voor min of meer algemene grootschalige fenomenen (gladheid, sneeuwval, etc.) in 4 alert (kleur)-niveaus naar geregionaliseerde waarschuwingen voor dezelfde fenomenen, en was tot voor kort gebaseerd op puur meteorologische criteria (i.e. phenomenon- of event-based). Inmiddels zijn die criteria niet meer in alle gevallen leidend, maar zijn vervangen door de verwachte impact van het weer op (een deel van) de samenleving waarbij oude criteria “hierbij eventueel nog als leidraad kunnen dienen” (KNMI, 2019), en is de (expliciete) grootschaligheid als (sub)criterium ook losgelaten.

De evolutie van phenomenon- of event-based naar impact-based waarschuwen is wat betreft weeralarmen dus al ingezet en moet in het Early Warning Centre (EWC) verder vorm krijgen. Conform de adviezen van de WMO zou dit moeten leiden tot betere waarschuwingen, hogere compliance rate en (dus) meer added value en minder slachtoffers.

Veel (zo niet alle) waarschuwingssystemen zijn wat betreft hun criteria al impact-based; de predictands, vaak tot stand gekomen na innig overleg met specifieke gebruikers(groepen), zijn óf gebaseerd op een weather sensitivity analysis (of impact assessment) óf gebaseerd op een meer subjectieve inschatting van de potentiële impact. Volledig overgaan op impact warnings (i.e. waarschuwen voor persoonlijke gevolgen) is een grote stap verder. Impact wordt in dit verband verondersteld op te treden als voldaan is aan de volgende 3 voorwaarden. Er moet sprake zijn van hazardous weather, een zekere mate van kwetsbaarheid (vulnerability) voor en blootstelling (exposure) aan het hazardous weather. Een impact warning is daarom gebaseerd op een verwachting voor het hazardous weer, een assessment dan wel een verwachting van de kwetsbaarheid van het betreffende ‘lijdend voorwerp’ en een verwachting van de exposure. Deze verwachtingen zijn in het gunstigste geval kansverwachtingen (en geen deterministische of categorische). In de (zeer beperkte) praktijk worden deze kansen meestal simpelweg vermenigvuldigd waarbij aan de drie onderdelen hetzelfde gewicht wordt toegekend (e.g. VOT, Hemingway and Robbins, 2020). Tenslotte wordt de uitkomst van deze vermenigvuldiging nog geclassificeerd ter bepaling van het waarschuwingniveau en gepresenteerd in de vorm van een kleurcode voor de verwachte impact.

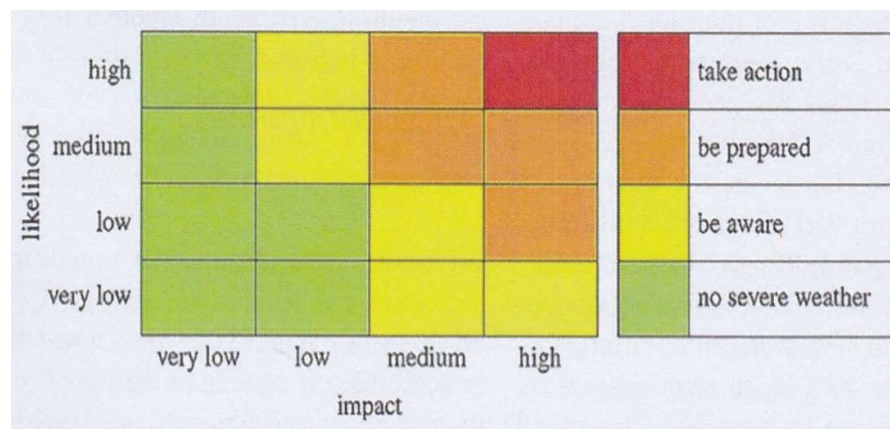


Fig. 10.1. Voorbeeld van een impact matrix (afkomstig uit Neal et al., 2014).

Samengevat ziet het er uit als in Fig. 10.1 (afkomstig uit Neal et al., 2014). De meteorologie voorziet in de likelihood (kansverwachting) van een (potentieel) gevaarlijk weerevent en de verwachte impact (vulnerability en exposure samen) bepaalt de kleurcodering (alarmfase). De kansen zijn gecategoriseerd met (waarschijnlijk) vooraf bepaalde vaste grenzen en de impact wordt ook in klassen verdeeld waarbij meestal minder objectieve of kwantitatieve grenzen gehanteerd worden. De uiteindelijke waarschuwing wordt gegeven zowel in kleur(code) als in tekst.

Lang niet altijd echter sluit de beschikbare meteorologische informatie goed aan op het betreffende impact-event, en ook zijn er amper objectieve modules beschikbaar voor de inschatting van de vulnerability en de exposure. Het gevaar bestaat dan ook dat tijdens een dreiging van hazardous weer, juist op het moment dat snelheid van handelen en beslissen noodzakelijk is, er een uitgebreide discussie ontstaat, met allerlei partijen, over de inschattingen van alle 3 componenten, inclusief de betrouwbaarheid daarvan (en in het geval van de meteorologische verwachtingen, hun skill).

Toekomst

Om een zo objectief mogelijke onderbouwing voor de impact(-based) waarschuwingen te verkrijgen is een mogelijke ontwikkelrichting voor (multi-hazard) waarschuwingssystemen het zoveel mogelijk uit elkaar halen c.q. houden van de 3 processen meteo, vulnerability en exposure, en deze (zo nodig nog) beter op elkaar aan te laten sluiten. Dit kan op de volgende manier.

Allereerst moeten de risicoprofielen zo geconstrueerd worden dat ze zoveel mogelijk naadloos aansluiten bij de vulnerability van alle mogelijke gebruikers (zie hoofdstukken 6 en 7). Verwacht mag worden (teneinde aan WMO's eis van minder slachtoffers en meer compliance te voldoen) dat een veel uitgebreidere set risicoprofielen gedefinieerd moet worden gericht op specifieke doelgroepen zoals veiligheidsregio's, waterschappen, verkeer, ProRail, MeteoAlarm, lucht- en scheepsvaart, maar ook ten behoeve van allerlei feestdagen en festiviteiten (4-daagse, 11-stedentocht, popfestivals, etc.). Is een doelgroep nog te divers dan zullen per deelgroep aparte predictands (risicoprofielen) gedefinieerd moeten worden, teneinde de compliance rate en added value verder op te schroeven. Daarnaast zal deze set predictands desgewenst uitgebreid worden met een set "lichtere" versies hiervan waarin de fysieke en/of kansdrempels verlaagd zijn, die dienst kan doen als voorwaarschuwing (bijvoorbeeld voor subextremen) of als ondersteuning voor de forecasters. Deze set is ook nodig ten behoeve van verificatie en training. Verificatie van verwachtingen voor de subextremen leidt namelijk eerder tot significante resultaten, en geeft al een duidelijke indicatie voor de skill voor de 'echte' extremen en biedt daarnaast belangrijke leerzame informatie voor forecasters.

Dit alles zal leiden tot vele tientallen, snel groeiend naar 100-tallen²⁷, extra predictands, niet alleen wat betreft (combinaties van) meteorologische elementen (concurrences), al of niet in verschillende time windows, maar ook verschillend per regio, locatie, voorspeltermijn, etc.. Bij voorkeur zijn deze predictands gebaseerd op een grondige weather sensitivity analysis (i.e. vulnerability assessment), zo mogelijk aangevuld met een al of niet heuristische cost-loss analyse, en voldoen ze aan de criteria geschetst in hoofdstukken 2 en 6. Ze zijn dus altijd gedefinieerd in probabilistische termen; deterministische verwachtingen zijn voor dit doel goeddeels overbodig. Zie ook Palmer (2020).

²⁷ Bij de introductie van het waterschapssysteem in 2003 varieerde het aantal risicoprofielen per waterschap van 3 tot 14, voor alleen neerslag. Voor alle aangesloten waterschappen samen was dat aantal ca 100. In de praktijk kunnen de modelberekeningen vaak voor veel van de risicoprofielen van eenzelfde gebruiker(sgroep) samengevoegd worden, zoals ook bij het waterschapssysteem gebeurt.

Om de veelheid en diversiteit aan toekomstige risicoprofielen hanteerbaar te houden is een automatisch first guess forecast systeem onontbeerlijk. Zo'n systeem dient verwachtingen liefst voor alle risicoprofielen gereed te hebben en automatisch te updaten zodra er nieuwe informatie beschikbaar komt (eventueel aangevuld met een kans ten behoeve van weersafhankelijke inzet). Met precies dit doel is het PASCAL-systeem ontwikkeld.

In veel gevallen zullen de first guess forecasts amendering behoeven door middel van bias correcties, verdiscontering van representativiteits- en sub-grid issues, etc. Dit kan gebeuren met statistische post-processing die plaats vindt direct na het beschikbaar komen van de model uitvoer of eventueel al geïntegreerd is in het first guess waarschuwingssysteem (zie voorbeeld in par. 8.7). Bij afwezigheid van objectieve post-processing kunnen bovengenoemde elementen door de meteoroloog verdisconteerd worden. Daarnaast kan de meteoroloog de epistemische onzekerheid in de verwachtingen en waarschuwingen verwerken met behulp van zijn / haar kennis van de factoren en processen die niet meegenomen zijn in de modelformulering van de gebruikte modellen.

Na realisatie van het bovenstaande is de bepaling of schatting van de vulnerability grotendeels naar offline verschoven en zoveel mogelijk geïntegreerd in de predictand definitie (en risicoprofiel). Dit is relatief eenvoudig voor de vulnerability van bijvoorbeeld gewassen en infrastructuur (zie voorbeelden in paragrafen 8.4, 8.5 en 8.12), maar ook als de vulnerability een functie is van de duur van de exposure is dit te ondervangen door goed gekozen predictands (zie par. 8.8). Eventueel kunnen meerdere predictands gekozen worden voor verschillende duren. Een verdere voorbewerking zou kunnen zijn om predictands te definiëren waarbij de keuzes van de (fysieke) grenzen bepaald zijn aan de hand van een verwachte *gemiddelde* exposure (zoals nu ook al vaak het geval is), bijvoorbeeld leidend tot verschillende predictands voor kritische condities in en buiten de spits.

Doordat de verwachtingen zo goed mogelijk aansluiten op de vulnerability grenzen kan de discussie over het al of niet uitgeven van een waarschuwing zich volledig concentreren op de verwachte exposure, i.e. de concentratie van mensen (al of niet in auto's e.d.). De exposure is volledig niet-meteorologisch en de verwachting hiervoor is niet de eerste verantwoordelijkheid van de NMSs (WMO, 2015). De impact matrix ziet er dan bijvoorbeeld uit als in Fig. 10.2, met op de verticale as overschrijdingskansen (niet kansen in klassen!) voor de vulnerability grenzen en, in tegenstelling tot Fig. 10.1, exposure op de horizontale as. De grenzen tussen de verschillende kleuren zullen echter bij voorkeur gekromde lijnen zijn dalend van links boven naar rechts onder.



Fig. 10.2. Impact matrix, maar nu met op de verticale as de (niet gecategoriseerde) overschrijdingskansen van de betreffende (meteorologische) vulnerability drempel en op de horizontale as de exposure ingedeeld in een aantal klassen.

Er moet een dergelijke matrix gemaakt worden voor alle vulnerability grenzen apart, maar juist door het loskoppelen van vulnerability en exposure kunnen dezelfde overschrijdingskansen gebruikt worden voor meerdere impact toepassingen voor meerdere doelgroepen. Zo hebben bijvoorbeeld windstoten van meer dan 100 km/hr een groot effect op huizen, bomen, infrastructuur en verkeer, waarbij alleen voor verkeer de impact niet offline (vooraf) te bepalen (schatten) is als gevolg van de variabele exposure. De totale impact verwachting kan dan per doelgroep berekend worden uit de combinatie van de relevante offline en online berekende of ingeschatte delen (vermenigvuldigd met de kans op overschrijding van de vulnerability grens). De (meteorologische) verwachtingen kunnen (intussen) al wel beschikbaar gesteld worden aan de buitenwereld, bij voorkeur ook, voor een beperkte set, aan gebruikers die niet tot de betreffende doelgroep horen²⁸. Maar zelfs als volstaan wordt om alleen de doelgroep te bedienen is het van belang om in ieder geval de kansen te communiceren, al dan niet vergezeld van een alarmering in tekst, handelingsperspectief en/of kleurcode. Het blijkt namelijk dat het beter is om users hun eigen besluiten te laten nemen op grond van hun eigen criteria, dan dat aanbevelingen gedaan worden op grond van afgesproken drempels (Frick and Hegg, 2011), zelfs als die drempels van hun zelf afkomstig zijn (Morss et al., 2010; Kox et al., 2015). Vaak wordt verondersteld dat gebruikers (of ‘het publiek’) verwachtingen uitgedrukt in kansen niet of niet goed begrijpen. Murphy et al. (1980) heeft echter al aangetoond dat misinterpretatie met name het gevolg is van onduidelijkheid van (en communicatie over) de predictand definitie en niet zozeer veroorzaakt wordt door het gebruik van kansen. Het is daarom van het grootste belang om de predictands niet alleen *mece* te definiëren maar deze ook exact naar gebruikers te communiceren zodat te allen tijde duidelijk is waar de waarschuwingen voor gelden en waarvoor niet. Ten behoeve van de compliance dient de kans van optreden aangevuld te worden met een expliciete kansverdeling voor het begintijdstip.

Daarnaast moet er al bij veel lagere kansen gewaarschuwd c.q. gecommuniceerd worden dan nu vaak het geval is (WMO, 2012) omdat lage kansen al veel waarde kunnen hebben (zie hoofdstuk 6). Dit geldt met name voor de low probability – high impact gevallen (Palmer, 2002). De DWD voorziet daarom al in een zeer vroege notificatie (Kox et al., 2018), een soort voor-waarschuwing. Een beperking tot +24 of +48 uur zoals het geval is bij de waarschuwings-systematiek van het KNMI is tegelijk ook een beperking van de waarde. De kansdrempel en in de toekomst de verwachte impact dienen leidend te zijn en niet de lead time.

In de praktijk blijkt het echter moeilijk om bij lage kansen alert levels (inclusief kleurcodes) af te spreken, behalve misschien met professionele gebruikers met een duidelijke cost-loss ratio. Het gebruik van codes suggereert namelijk een zekere stelligheid en bovendien veronderstelt het impliciet een bepaalde cost-loss ratio en compliance rate (gedrag) van de beoogde gebruikers. Deze nadelen gelden niet of in veel mindere mate voor het gebruik van kansen en het verdient daarom aanbeveling om de kansen al dagen eerder te communiceren dan wat gebruikelijk is voor waarschuwingen (e.g. Howard et al., 2021).

Tenslotte moet gezocht worden naar een alternatief voor de consensuskans, een prikwaarde voor de kans die wordt afgeleid uit de verzameling van kansen van de individuele forecasters. Een consensuskans doet de reliability teniet (Rajan, 2009) en extremen (in de kansen) worden afgevlakt resulterend in minder waarschuwingen voor de extremen²⁹.

²⁸ Deze first guess kansverwachtingen dienen bij voorkeur zo snel mogelijk beschikbaar gesteld worden, eventueel via een 2nd screen optie. Met dank aan Janet Wijngaard.

²⁹ Misschien is het een overweging waard om ook de second order uncertainty (the uncertainty of the uncertainty) te communiceren.

Epiloog

Alles staat of valt echter wat betreft de meteorologie bij de skill van de (kans)verwachtingen. Door teveel nadruk te leggen op het impact-deel ('what will the weather do') verdwijnt 'what will the weather be' misschien een beetje naar de achtergrond. Omdat veel predictands per definitie betrekking hebben op niet al te vaak voorkomende situaties is er nog relatief weinig ervaring mee en is er nog veel ruimte voor verbetering (e.g. Koek en Kok, 2016; en Kok et al., 2011b). Daarom is er nog veel onderzoek nodig naar verwachtingsmethoden voor o.a. extreme en kleinschalige fenomenen, i.e. naar hoog-resolutie ensembles en postprocessing technieken (e.g. Whan and Schmeits, 2018), conform de aanbevelingen van de WMO en Hirschberg et al. (2011). Ook wordt door de WMO meer aandacht bepleit voor opleiding en training van forecasters speciaal gericht op extremen en kansverwachtingen hiervoor. In andere woorden: "Probability should be the internal language of forecasters" (Sanders, 1963). Verificatie moet in de eerste plaats gericht zijn op de event probabilities en de times until impact (onset) en bij voorkeur ook op alle andere (*mece* gedefinieerde) risicoprofielen. Deze bestaan vaak uit meerdere weer-elementen op soms sub-grid schalen hetgeen misschien het gebruik van nieuwe verificatie-methoden noodzakelijk maakt (e.g. Göber et al., 2008; Ben Bouallègue et al., 2020). Alle verificatie resultaten moeten niet alleen beschikbaar zijn voor onderzoekers en forecasters maar ook voor gebruikers (ook dit bevordert de compliance).

Dankbetuiging

Daan Vogelezang heeft mede aan de wieg gestaan van het waterschapssysteem waaruit het PASCAL-systeem uiteindelijk is voortgekomen. De lay-out van de kansplots en veel van de scripts dragen nog altijd zijn signatuur. Voor de aanlevering en up-to-date houden van de gebruikte modeldata is veel dank verschuldigd aan Chiel van Zijl, Ben Wichers Schreur en Hans de Vries en voor het omschrijven van de source code naar gFortran aan Joris de Lathouder. De toepassing van PASCAL voor MeteoAlarm is grotendeels te danken aan Frank Kroonenberg, met name wat betreft risicoprofielen en gebiedsindeling.

Voor de vele discussies over waarschuwingssystematiek worden met name Ben Wichers Schreur, Janet Wijngaard, Maurice Schmeits en zeer veel KNMI forecasters bedankt. Marcel Molendijk, Janet Wijngaard, Maurice Schmeits, Ben Wichers Schreur, Rinske Krabbe, Hans van Bruggen en Dirk Wolters worden zeer bedankt voor het doorlezen van en voor hun aanwijzingen bij eerdere versies van het rapport.

Referenties

- Barnes, L. R., M. H. Hayden, D. M. Schultz, and C. Benight, 2007. False alarms and close calls: a conceptual model of warning accuracy. *Wea. Forecasting*, **22**, 1140-1147.
- Ben Bouallègue, Z. and S. E. Theis, 2014. Spatial techniques applied to precipitation ensemble forecasts: from verification results to probabilistic products. *Meteorol. Appl*, **21**, 922-929.
- Ben Bouallègue, Z, T. Haiden, N. J. Weber, T. M. Hamill and D. Richardson, 2020. Accounting for representativeness in the verification of ensemble precipitation forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **148**, 2049-2062.
- Beven, K., 2016. Facets of uncertainty: epistemic uncertainty, non-stationarity, likelihood, hypothesis testing, and communication. *Hydrol. Sci. J.*, **61**, 1652-1665.
- Bijvoet, H. and W. Bleeker, 1951. The value of weather forecasts. *Weather* **6**, 36-39.
- Bilham, E. G., 1922. A problem in economics. *Nature*, No. 2733, **109**, 341-342.
- Blake, B. T., J. R. Carley, T. I. Alcott, I. Jankov, M. E. Pyle, S. E. Perfater and B. Albright, 2018. An adaptive approach for the calculation of ensemble gridpoint probabilities. *Wea. Forecasting*, **33**, 1063-1080.
- Brier, G. W., 1950. Verification of forecasts expressed in terms of probability. *Mon. Wea. Rev.*, **78**, 1-3.
- Bruen, M., P. Krahe, M. Zappa, J. Olsson, B. Vehvilainen, K. Kok, and K. Daamen, 2010. Visualizing flood forecasting uncertainty: some current European EPS platforms— COST731 working group 3. *Atmos. Sci. Let.*, **11**, 92-99.
- Commissie Hermans, 2006. “Dat kleine stukje dijk ...”. Onafhankelijk onderzoek naar de bestuurlijke besluitvorming van de Stichting 4-daagse tijdens de 90^e 4-daagse.
- Cooke, W. E., 1906. Forecasts and verifications in Western Australia. *Mon. Wea. Rev.*, **34**, 23-24.
- Curtiss, J. H., 1968. An elementary mathematical model for the interpretation of precipitation probability forecasts. *J. Appl. Meteor.*, **7**, 3-17.
- Daan, H. and A.H. Murphy, 1982. Subjective probability forecasting in the Netherlands: some operational and experimental results. *Meteorol. Rdsch.* **35**, 99-112.
- Demuth, J. L., R. E. Morss, I. Jankov, T. I. Alcott, C. R. Alexander, D. Nietfeld, T. L. Jensen, D. R. Novak and S. G. Benjamin, 2020. Recommendations for developing useful and usable convection-allowing model ensemble information for NWS forecasters. *Wea. Forecasting*, **35**, 1381-1406.
- Demeritt, D., H. Cloke, F. Pappenberger, J. Thielen, J. Bartholmes, M.-H. Ramos, 2007. Ensemble predictions and perceptions of risk, uncertainty, and error in flood forecasting. *Environ. Hazards (7)* **2**, 115-127.
- De Rotte, D. J., 1992. Behaaglijkheidstheorie. *Post HBO-opleiding aan de Hogeschool te 's Hertogenbosch. Doc. Nr. CV1.1.* 25pp.
- Dey, S. R. A., R. S. Plant, N. M. Roberts, and S. Migliorini, 2016. Assessing spatial precipitation uncertainties in a convective-scale ensemble. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **142**, 2935-2948.
- Ebert, E. E., 2008. Fuzzy verification of high resolution gridded forecasts: a review and proposed framework. *Meteorol. Appl*, **15**, 53-66.
- Epstein, E. S., 1969. A scoring system for probability forecasts of ranked categories. *J. Appl. Meteor.*, **8**, 985-987.
- Epstein, E. S. and A. H. Murphy, 1988. Use and value of multiple-period forecasts in a dynamical model of the cost-loss ratio situation. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 746-761.
- Frick, J. and C. Hegg, 2011. Can end-users' flood management decision making be improved by information about forecast uncertainty? *Atmos. Res.* **100**, 296-303.

- Fundel, V. J., N. Fleischhut, S. M. Herzog, M. Göber and R. Hagedorn, 2019. Promoting the use of probabilistic weather forecasts through a dialogue between scientists, developers and end-users. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **145**, 210-231.
- Göber, M., E. Zsóter and D. S. Richardson, 2008. Could a perfect model ever satisfy a naïve forecaster? On grid box mean *versus* point verification. *Meteorol. Appl.*, **15**, 359-365.
- Groen, G., 2009. Wind chill equivalente temperatuur (WCET). KNMI-implementatie JAG/TI-methode voor de gevoelstemperatuur in de winter. TR 309, KNMI De Bilt.
- Grounds, M. A. S. Joslyn and K. Otsuka, 2017. Probabilistic interval forecasts: an individual differences approach to understanding forecast communication. *Adv. Meteor.*, **2017**, 3932565.
- Hemingway, R, and J. Robbins, 2020. Developing a hazard-impact model to support impact-based forecasts and warnings: the Vehicle OverTurning model. *Meteorol. Appl.*, **27**, e1819, <https://doi.org/10.1002/MET.1819>.
- Hirschberg, P.A., and coauthors, 2011. A weather and climate enterprise strategic implementation plan for generating and communicating forecast uncertainty information. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **92**, 1651-1666.
- Holleman, I., 2007. Bias adjustment and long-term verification of radar-based precipitation estimates. *Meteorol. Appl.*, **14**, 195-203.
- Howard, S. P., K. E. Klockow-McClain, A. P. Boehmer and K. M. Simmons, 2021. Firm behavior in the face of severe weather: economic analysis between probabilistic and deterministic warnings. *Wea. Forecasting*, **36**, 757-767.
- Hughes, L. A., 1965. On the probability forecasting of the occurrence of precipitation. US Department of Commerce ESSA Tech Note 20-CR-3, 36pp.
- IDSS, 2018. National Weather Service (NWS) Service Description Document (SDD) Impact-Based Decision Support Services for NWS Core Partners. April 2018.
- Janssen, L., 2015. Cost-loss analysis and probabilistic information for water boards. *Master Thesis Mathematics*. Radboud University. 56pp.
- Jewson S., S. Scher and G. Messori, 2021. Decide now or wait for the next forecast? Testing a decision framework using real forecasts and observations. *Mon. Wea. Rev.*, **149**, 1637-1650.
- Joslyn, S. and J. E. LeClerc, 2012. Uncertainty forecasts improve weather related decisions and attenuate the effects of forecast error. *J. Exp. Psychol. Appl.*, **18**, 126/140.
- Joslyn, S. and J. E. LeClerc, 2013. The “Cry Wolf” effect and weather-related decision making. *International Conference on Naturalistic Decision Making 2013, Marseille, France*, 215-218.
- Joslyn, S., L. Nemeč and S. Savelli, 2013. The benefits and challenges of predictive interval forecasts and verification graphics for end users. *Weather, Climate and Society*, **5**, 133-147.
- Joslyn, S. and S. Savelli, 2010. Communicating forecast uncertainty: public perception of weather forecast uncertainty. *Meteorol. Appl.*, **17**, 180-195.
- Katz, R. W., 1993. Dynamic cost-loss ratio decision-making model with an autocorrelated climate variable. *J. of Climate*, **6**, 151-160.
- Katz, R. W., A. H. Murphy, and R. L. Winkler, 1982. Assessing the value of frost forecasts to orchardists: a dynamic decision-making approach. *J. of Appl. Meteor.* **21**, 518-531.
- Katz, R. W. and A. H. Murphy (eds), 1997. Economic value of weather and climate forecasts. *Cambridge University Press*, 222pp.
- KNMI 2010. Een vernieuwd weeralarm. Aanpassing weeralarmcriteria en -systematiek per 1 februari 2010. KNMI publicatie.

- KNMI, 2019. Uitgifte code oranje en code rood (weeralarm). Revisie 4.3 d.d. 3-mei 2019.
- Koek, F en K. Kok, 2016. Opzet voor een systematische verificatie van de KNMI waarschuwingensystematiek. Wetenschappelijk Rapport WR-2016-02.
- Kok, C. J., 2000. On the behaviour of a few popular verification scores in yes/no forecasting. Scientific Report WR-2000-04. 73pp.
- Kok, Kees, 2005. Naar een andere weeralarmsystematiek. KNMI Memorandum WM 05-02. Mei 2005.
- Kok, C. J., B. G. J. Wichers Schreur and D. H. P. Voegelezang, 2011a. Meteorological support for anticipatory water management. *Atmos. Res.* **100**, 285-295.
- Kok, Kees, Frits Koek and Ben Wichers Schreur, 2011b. First assessment of extreme weather warnings in Holland. *EMS-poster*. Berlijn, September 2011.
- Kox, T., L. Gerhold and U. Ulbrich, 2015. Perception and use of uncertainty in severe weather warnings by emergency services in Germany. *Atmos. Res.* **158-159**, 292-301.
- Kox, T. and A. H. Thielen, 2017. To act or not to act? Factors influencing the general public's decision about whether to take protective action against severe weather. *Weather, Climate and Society*, **9**, 299-315.
- Kox, T., H. Kempf, C. Lüder, R. Hagedorn and L. Gerhold, 2018. Towards user-oriented weather warnings. *Int. J. of Disaster Risk Reduction*, **30**, 74-80.
- LeClerc, J., and S. Joslyn, 2012. Odds ratio forecasts increase precautionary action for extreme weather events. *Weather, Climate and Society*, **4**, 263-270.
- LeClerc, J., and S. Joslyn, 2015. The Cry Wolf effect and weather-related decision making. *Risk Analysis*, **35**, 385-395.
- Lemke, B., and T. Kjellstrom, 2012. Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment. *Industrial Health*, **50**, 267-278.
- Magnusson, L., 2019. ECMWF severe event catalogue for evaluation of multi-scale prediction of extreme weather. *ECMWF Technical Memorandum* 851.
- Magnusson, L., T. Haiden and D. Richardson, 2014. Verification of extreme weather events: discrete predictands. *ECMWF Technical Memorandum* 731.
- Matte, S., M.-A. Boucher, V. Boucher, and T.-C. Fortier Filion, 2017. Moving beyond the cost-loss ratio: economic assessment of streamflow forecasts for a risk-averse decision maker. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **21**, 2967-2986.
- Millner, A., 2009. What is the true value of forecasts? *Weather, Climate and Society*, **1**, 22-37.
- Morss, R.E., J. L. Demuth, and J. K. Lazo, 2008. Communicating uncertainty in weather forecasts: a survey of the U.S public. *Wea. Forecasting*, **23**, 974-991.
- Morss, R. E., J. K. Lazo and J. L. Demuth, 2010. Examining the use of weather forecasts in decision scenarios: results from a US survey with implications for uncertainty communication. *Meteorol. Appl.*, **17**, 149-162.
- Murphy, A. H., 1977. The value of climatological, categorical and probabilistic forecasts in the cost-loss ratio situation. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 803-816.
- Murphy, A. H., 1985. Decision making and the value of forecasts in a generalized model of the cost-loss ratio situation. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 362-369.
- Murphy, A. H., 1991. Probabilities, odds, and forecasts of rare events. *Wea. Forecasting*, **6**, 302-307.
- Murphy, A. H., 1993. What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting. *Wea. Forecasting*, **8**, 281-293.
- Murphy, A. H., 1994. Assessing the economic value of weather forecasts. An overview of methods, results and issues. *Meteorol. Appl.*, **1**, 69-73.
- Murphy, A. H., 1998. The early history of probability forecasts: some extensions and clarifications. *Wea. Forecasting*, **13**, 5-15.

- Murphy, A. H. and R. L. Winkler, 1974. Credible interval temperature forecasting: some experimental results. *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 784-794.
- Murphy, A. H. and C-A. S. Staël von Holstein, 1975. A geometrical framework for the ranked probability score. *Mon. Wea. Rev.*, **103**, 16-20.
- Murphy, A. H., S. Lichtenstein, B. Fischhoff, and R. L. Winkler, 1980. Misinterpretations of precipitation probability forecasts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **61**, 695-701.
- Murphy, A. H. and H. Daan, 1984. Impacts of feedback and experience on the quality of subjective probability forecasts: comparison of results from the first and second years of the Zierikzee experiment. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 413-423.
- Murphy, A. H., R. W. Katz, R. L. Winkler, and W. R. Hsu, 1985. Repetitive decision making and the value of forecasts in the cost-loss ratio situation: a dynamical model. *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 801-813.
- Murphy, A. H., and M. Ehrendorfer, 1987. On the relationship between the accuracy and value of forecasts in the cost-loss ratio situation. *Wea. Forecasting*, **2**, 243-251.
- Murphy, A. H. and Q. Ye, 1990. Optimal decision making and the value of information in a time-dependent version of the cost-loss ratio situation. *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 939-949
- Mylne, K. R., 2002. Decision-making from probability forecasts based on forecast value. *Meteorol. Appl*, **9**, 307-315.
- Neal, R. A., P. Boyle, N. Grahame, K. Mylne, and M. Sharpe, 2014. Ensemble based first guess support towards a risk-based severe weather warning service. *Meteorol. Appl*, **21**, 563-577.
- NRC (National Research Counsel) 2003. Communicating uncertainties in weather and climate information: a workshop summary.
- NRC (National Research Counsel) 2006. Completing the forecast: characterizing and communicating uncertainty for better decisions using weather and climate forecasts.
- Osczevski, R., and M. Bluestein, 2005. The new wind chill equivalent temperature chart. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, 1453-1458.
- Palmer, T. N., 2002. The economic value of ensemble forecasts as a tool for risk assessment: from days to decades. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **128**, 747-774.
- Palmer, T., 2020. A vision for numerical weather prediction in 2030. Cornell University. <https://arxiv.org/abs/2007.04830>.
- Peterson, C. R., K. J. Snapper and A. H. Murphy, 1972. Credible interval temperature forecasts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **53**, 966-970.
- Rajan, R., 2009. Combining and evaluating probabilistic forecasts. Phd. Dissertation, Un. of Washington. 102pp.
- Ramos, M. H., S. J. van Andel, and F. Pappenberger, 2013. Do probabilistic forecasts lead to better decisions? *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **17**, 2219-2232.
- Richardson, D., 2000. Skill and relative economic value of the ECMWF ensemble prediction system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **126**, 649-667.
- Richardson, D., 2001. Measures of skill and value of ensemble prediction systems, their interrelationship and the effect of ensemble size. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **127**, 2473-2489.
- Roebber, P. J. and L. F. Bosart, 1996. The complex relationship between forecast skill and forecast value: a real-world analysis. *Wea. Forecasting*, **11**, 544-559.
- Roulin, E., 2007. Skill and relative economic value of medium-range hydrological ensemble predictions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **11**, 725-737.
- Roulston, M. S., and L. A. Smith, 2004. The boy who cried wolf revisited: the impact of false alarm intolerance on cost-loss scenarios. *Wea. Forecasting*, **19**, 391-397.

- Roulston, M. S., G. E. Bolton, E. N. Kleit and A. L. Sears-Collins, 2006. A laboratory study of the benefits of including uncertainty information in weather forecasts. *Wea. Forecasting*, **21**, 116-122.
- Roulston, M. S. and T. R. Kaplan, 2009. A laboratory-based study of understanding of uncertainty in 5-day site-specific temperature forecasts. *Meteorol. Appl.*, **16**, 237-244.
- Sanders, F., 1963. On subjective probability forecasting. *J. of Appl. Meteor.*, **2**, 191-201.
- Schefzik, R., T. L. Thorarinsdottir and T. Gneiting, 2013. Uncertainty quantification in complex simulation models using ensemble copula coupling. *Statistical Science*, **28**, no. 4, 616-640.
- Schefzik, R., 2017. Ensemble calibration with preserved correlations: unifying and comparing ensemble copula coupling and member-by member postprocessing. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **143**, 999-1008.
- Schmeits, M. J., K. J. Kok, D. H. P. Vogelesang, and R. M. van Westrhenen, 2008. Probabilistic forecasts of (severe) thunderstorms for the purpose of issuing a weather alarm in the Netherlands. *Wea. Forecasting*, **23**, 1253-1267.
- Schwartz, C. S., J. S. Kain, S. J. Weiss, M. Xue, D. R. Bright, F. Kong, K. W. Thomas, J. J. Levit, M. C. Coniglio, and M. S. Wandishin, 2010. Toward improved convection-allowing ensembles: model physics sensitivities and optimizing probabilistic guidance with small ensemble membership. *Wea. Forecasting*, **25**, 263-280.
- Schwartz, C. S., and R. A. Sobash, 2017. Generating probabilistic forecasts from convection-allowing ensembles using neighborhood approaches: a review and recommendations. *Mon. Wea. Rev.*, **145**, 3397-3418.
- Sharpe, M. A., 2016. A flexible approach to the objective verification of warnings. *Meteorol. Appl.*, **23**, 65-75.
- Stephenson, D. B., I. T. Joliffe, C. A. T. Ferro, C. A. Wilson, M. Sharpe, M. Mittermaier, and T. D. Hewson, 2010. White paper review on the verification of warnings. UK Met Office Techn. Report No. 546.
- Stewart, T., 1997. Forecast value: descriptive decision studies. In: *Economic value of weather and climate forecasts*, R. Katz and A. Murphy, Eds., Cambridge University Press, 147-181.
- Tennekes, H., A. Baede, and J. D. Opsteegh, 1987. Forecasting forecast skill. *Proc. Workshop on Predictability*, ECMWF, Reading, United Kingdom.
- TGTF Syllabus Warmte / Specifieke preventieve maatregelen bij militaire inspanningen.
- Theis, S. E., A. Hence and U. Damrath, 2005. Probabilistic precipitation forecasts from a deterministic model: a pragmatic approach. *Meteor. Appl.*, **12**, 257-268.
- Thompson, J. C., 1952. On the operational deficiencies in categorical weather forecasts. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **33**, 223-226.
- Thompson, J. C., and G. W. Brier, 1955. The economic utility of weather forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **83**, 249-254.
- Tijn, S., 2018. Het stormgetal. *Meteorologica*, nr. 4, 12-15.
- Uccellini, L. W., and J. E. Ten Hoeve, 2019. Evolving the national weather service to build a weather-ready nation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **100**, 1923-1942.
- Van Andel, S.-J., R. Price, A. H. Lobbrecht, F. van Kruiningen, and R. Mureau, 2008. Ensemble precipitation and water-level forecasts for anticipatory water-system control. *J. of Hydrometeorology*, **9** (4), 776-788.
- Van Schaeybroeck, B, and S. Vannitsem, 2014. Ensemble post-processing using member-by-member approaches: theoretical aspects. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **141**, 807-818.
- Wever, N., 2008. Effectieve temperatuur en graaddagen, klimatologie en klimaat-scenario's. KNMI Publ. 219.

- Whan, K., and M. Schmeits, 2018. Comparing area probability forecasts of (extreme) local precipitation using parametric and machine learning statistical postprocessing methods. *Mon. Wea. Rev.*, **146**, 3651-3673.
- Wilks, D. S., 1991. Representing serial correlation of meteorological events and forecasts in dynamic decision-analytic models. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1640-1662.
- Wilks, D. S., 2001. A skill score based on economic value for probability forecasts. *Meteorol. Appl.*, **8**, 209-219.
- Wilks, D. S., 2011. Statistical methods in the atmospheric sciences. 3rd ed. International Geophysics Series, Vol. 100, Academic Press, 704 pp.
- Wilks, D. S., 2014. Probability forecasting, quantitative decision modeling, and the economic value of forecasts. *Edward S. Epstein Symp.*, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., J6.2, <https://ams.confex.com/ams/94Annual/webprogram/Paper232199.html>.
- Winkler, R. L., and A. H. Murphy, 1976. Point and area precipitation probability forecasts: some experimental results. *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 86-95.
- WMO 2008. WMO guidelines on communicating forecast uncertainty. WMO/TD No. 1422.
- WMO 2012. WMO guidelines on Ensemble Prediction Systems and Forecasting. WMO-1091.
- WMO 2015. WMO guidelines on multi-hazard impact-based forecast and warning services. WMO-1150.

Appendix A. Vragen t.b.v. Weather Sensitivity Analysis en Cost-Loss analyse voor waterschappen

Zoals gebruikt vanaf 2003 in het kader van het Project Gevaarlijk Weer voor Waterbeheer. Vooraf: het gaat alleen over gebiedsgemiddelde neerslag (evt. in combinatie met andere grootheden), dus niet over lokale buien. Alles wordt uitgedrukt of omgerekend in aantal mm neerslag per accumulatieperiode.

Dimensie van het systeem:

- * wat zijn de grenspeilen van de boezem en de polders (marge waarbinnen geen problemen optreden)?
- * analoog: wat veroorzaakt kleine, grotere en extreme problemen?
- * hoe snel na neerslag stijgt het peil in de boezem?

Andere vragen die aan de orde zijn:

- * wat is pompcapaciteit (waar gesitueerd i.v.m. mogelijk verhang)?
- * wat is bergingscapaciteit?
- * hoeveel kan er voorbemalen worden (en hoe snel)?

In afhankelijkheid van

- * plaats / regio binnen het waterschap
o.a. door verschil in bebouwing, (gemiddelde) bodemkarakteristieken
- * tijd in het jaar

- * neerslaghistorie
- * begroeiing
- * windsnelheid en -richting

(voor sommige waterschappen ook nog in afhankelijkheid van)

- * eb en vloed
- * waterstand in de rivieren

Hoe ver vooruit wil men gewaarschuwd worden?

- wat betreft voorbemalen:
 - gelijk aan het aantal uren dat nodig is om voor te bemalen (is afhankelijk van neerslaghistorie)
- wat betreft andere voorzorgsmaatregelen
 - bijv. * extra personeel oproepen
 - * extra pompen plaatsen
- om extra alert te zijn

Alles staat of valt met de mogelijkheid tot het nemen van voorzorgsmaatregelen. Wat zijn de kosten (C) hiervan en wat zijn de kosten van de schade (L) die eventueel geleden wordt als er geen voorzorgsmaatregelen getroffen zouden worden?

Bijv. wat is de schade van teveel voorbemalen? Kan er teruggepompt worden? M.a.w. zijn uitgevoerde (voorzorgs)acties omkeerbaar?

De C en L van alle mogelijke scenario's (qua voorzorgsmaatregelen en qua schades t/m overstromingen, evacuaties mits van toepassing) zo nauwkeurig mogelijk schatten, bij voorkeur in een range.

Appendix B1. Gevoelstemperatuur

Wind chill equivalent temperature (WCET) geeft aan welke temperatuurervaring een volwassen mens lopend met een snelheid van 4.8 m/s, gekleed op de kou en met weinig of geen zon, ondervindt, en is een maat voor het warmteverlies op een koudere dag met weinig wind. Het verschil tussen de (gemeten) luchttemperatuur en de (berekende) gevoelstemperatuur geeft het effect van de wind op warmteverlies weer. De bepaling van de gevoelstemperatuur is gebaseerd op het evenwicht tussen het warmteverlies en de warmteproductie van een gezonde, volwassen persoon van gemiddelde lengte. De individuele verschillen tussen mensen geven ook verschillende gevoeligheden voor koudeletsel. Kwetsbaarder zijn bijvoorbeeld langere mensen en kinderen (relatief groter huidoppervlak), oudere mensen en hart- en vaatpatiënten (minder goede temperatuurcontrole), gebruikers van bepaalde genotmiddelen en medicijnen (verminderd bewustzijn).

De gevoelstemperatuur kan worden berekend uit een combinatie van luchttemperatuur en windsnelheid. Maar naast wind en temperatuur spelen ook zonnestraling en luchtvochtigheid een rol bij de gevoelswaarde van de kou. Bij zonnig en koud weer kan de ervaren temperatuur wel 5 tot 10 graden hoger zijn dan op basis de berekende gevoelstemperatuur wordt verwacht. Hier wordt in de berekening echter geen rekening mee gehouden. De sinds 2009 op het KNMI gebruikte definitie (Groen, 2009) is in 2001 ontwikkeld door de Joint Action Group on Temperature Indices (JAG/TI).

Door de wetenschappelijke en fysiologische onderbouwing komt de op deze manier berekende windchill equivalente temperatuur dicht bij de menselijke ervaring van het warmteverlies onder winterse omstandigheden. In tegenstelling tot eerdere methoden houdt JAG/TI rekening met dalend warmteverlies bij een lagere huidtemperatuur.

De formule voor de gevoelstemperatuur op basis van JAG/TI luidt:

$$G = 13.12 + 0.6215 T - 11.37 (3.6W)^{0.16} + 0.3965 T (3.6W)^{0.16}$$

met temperatuur T in °C op 1.50 meter hoogte en windsnelheid W in m/s op 10 meter hoogte. De methode is ontwikkeld voor een luchttemperatuur tussen -46 en +10°C en voor windsnelheden gemeten op standaard meethoogte (10 meter) tussen 1.3 en 49.0 m/s. De windsnelheid wordt met de machtsfunctie (0.16) herleid van de windmeting op 10 meter hoogte naar de wind op 1.5 meter hoogte. Zie Tabel B1.

Criteria volgens Groen (2009):

Voorgesteld wordt om de volgende criteria en impact te hanteren:

* voor eerste signalering aan betrokken instanties:

gevoelstemperatuur gedurende het etmaal minstens één uur ≤ 0 graden maar ≥ -10 graden.

Matige impact voor buitenslapers, kinderen, ouderen en chronisch zieken.

* voor de algemene weersverwachting en doelgroepwaarschuwing:

gevoelstemperatuur minstens één uur ≤ 0 graden en minimum gevoelstemperatuur ≤ -10 graden gedurende het etmaal. Grote impact voor buitenslapers, kinderen, ouderen en chronisch zieken.

* waarschuwing voor doelgroepen (momenteel GGD-Groningen):

bij gevoelstemperatuur ≤ -10 graden gedurende ≥ 3 uur in de komende 48 uur. Kans op koudeletsel (daklozen-alert).

Voor weersverwachting en waarschuwing voor lagere gevoelstemperatuur met duur en impact:

* ≤ -15 graden, bij blootstelling ≥ 1 uur, kans op koudeletsel.

* ≤ -20 graden, bij blootstelling ≥ 0.5 uur, koudeletsel en kleine kans op bevroeringsverschijnselen.

* ≤ -25 graden, bij blootstelling $< 0,5$ uur, koudeletsel met toenemende kans op bevroeringsverschijnselen.

* ≤ -30 graden binnen < 15 minuten, grote kans op bevroeringsverschijnselen.

* ≤ -40 graden in 5 tot 10 minuten zeer grote kans op bevroeringsverschijnselen.

Er bestaat ook een lijst met gedragsadviezen.

Zie ook Osczevski and Bluestein (2005).

WCET		10°C	5°C	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
5 km/hr	1.4 m/s	9	4	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36
10	2.8	9	3	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39
15	4.2	8	2	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41
20	5.6	7	1	-5	-12	-18	-24	-30	-37	-43
25	7.0	7	1	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44
30	8.3	7	0	-6	-13	-20	-26	-33	-39	-46
35	9.7	6	0	-7	-14	-20	-27	-33	-40	-47
40	11.1	6	-1	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-48
45	12.5	6	-1	-8	-15	-21	-28	-35	-42	-48
50	13.9	6	-1	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49
55	15.3	5	-2	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50
60	16.7	5	-2	-9	-16	-23	-30	-36	-43	-50
65	18.1	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51
70	19.5	5	-2	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51
75	20.8	4	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52
80	22.2	4	-3	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52

Tabel B.1. Gevoelstemperatuur (wind chill equivalent temperature) op basis van methode JAG/TI. Horizontaal staat temperatuur op 1.5 meter, verticaal de windsnelheid in km/hr en m/s.

Appendix B2. Wet Bulb Globe Temperature (Heat Stress Index)

De Wet Bulb Globe Temperature is ontwikkeld in de 50-er jaren van de vorige eeuw door de US Marine Corps en hangt af van de temperatuur, relatieve vochtigheid, wind en zonne- en andere straling. Ook elementen als het soort kleding etc. worden verdisconteerd in de berekening van de index. Vochtigheid speelt een grote rol bij het koelen van het lichaam; zweet verdampt niet snel bij hoge luchtvochtigheid waardoor het lichaam niet snel kan afkoelen. Bij te lage vochtigheid verdampt zweet juist te snel waardoor er gevaar dreigt voor dehydratie.

De WBGT-index wordt veel gebruikt om hitte strokes e.d. te voorkomen bij duursporten (atletiek, o.a. marathon van Rotterdam en de 4-daagse van Nijmegen) en bij tennis (Australian Open) en sinds kort ook bij voetbal (inlassen van drinkpauzes). Vaak wordt echter gebruik gemaakt van een vereenvoudigde definitie waarbij er aannames gelden van lichte wind en geen bewolking.

In het PASCAL-systeem wordt de formulering gebruikt zoals vermeld in het review paper van Lemke and Kjellstrom (2012). Deze komt oorspronkelijk van het Australian Bureau of Meteorology en wordt ook gebruikt ten behoeve van eventuele maatregelen bij de 4-daagse van Nijmegen sinds de dood van 2 deelnemers in 2006 (commissie Hermans, 2006).

$$WBGT = 3.94 + 0.567 T + 0.393 \left\{ 0.06105 RH \exp \left(\frac{17.27 T}{237.7 + T} \right) \right\}$$

met T de 2m-temperatuur en RH is relatieve vochtigheid. De berekening is gebaseerd op de temperatuur op waarneemhoogte in de schaduw.

Gehanteerde grenzen: (afkomstig uit: *TGTF Syllabus Warmte / Specifieke preventieve maatregelen bij militaire inspanningen*. TGTF: trainingsgeneeskunde trainingsfysiologie)

- Bij afstandlopen van meer dan 16 km is een geschatte WBGT van 28°C de grens. In grensgevallen (WBGT van 25 - 28°C) verplaatst men de activiteit naar andere tijdstippen bv. vóór 9.00 uur of na 16.00 uur. Laat desnoods het evenement verplaatsen qua plaats (o.a. schaduwrijke omstandigheden vooral op de verzorgingsposten).
- Boven een geschatte WBGT van 26°C kunnen problemen optreden en is voorzichtigheid geboden.
- Boven 28°C moet zwaar werk voor niet geacclimatiseerd personeel beperkt worden.
- Boven 29°C moet zware arbeid, zoals marsen met bepakking, voor recruten in de eerste 3 weken van hun training worden afgelast. Laat desnoods het evenement verplaatsen qua plaats (o.a. schaduwrijke omstandigheden vooral op de verzorgingsposten).

RH \ T	20°C	22°C	24	26	28	30	32	34	36	38
0%	15.3	16.4	17.5	18.7	19.8	20.9	22.1	23.2	24.4	25.5
5%	15.7	16.9	18.1	19.3	20.6	21.8	23.0	24.3	25.5	26.8
10	16.2	17.5	18.7	20.0	21.3	22.6	23.9	25.3	26.7	28.1
15	16.7	18.0	19.3	20.7	22.0	23.4	24.9	26.3	27.8	29.4
20	17.1	18.5	19.9	21.3	22.8	24.3	25.8	27.4	29.0	30.7
25	17.6	19.0	20.5	22.0	23.5	25.1	26.7	28.4	30.2	32.0
30	18.0	19.5	21.1	22.6	24.3	25.9	27.7	29.5	31.3	33.3
35	18.5	20.0	21.6	23.3	25.0	26.8	28.6	30.5	32.5	34.6
40	18.9	20.6	22.2	23.9	25.7	27.6	29.5	31.5	33.7	35.0
45	19.4	21.1	22.8	24.6	26.5	28.4	30.5	32.6	34.8	37.2
50	19.9	21.6	23.4	25.3	27.2	29.3	31.4	33.6	36.0	38.5
55	20.3	22.1	24.0	25.9	28.0	30.1	32.3	34.7	37.1	39.7
60	20.8	22.6	24.6	26.6	28.7	30.9	33.3	35.7	38.3	41.0
65	21.2	23.1	25.1	27.2	29.4	31.8	34.2	36.8	39.5	42.3
70	21.7	23.7	25.7	27.9	30.2	32.6	35.1	37.8	40.6	43.6
75	22.2	24.2	26.3	28.6	30.9	33.4	36.0	38.8	41.8	44.9
80	22.6	24.7	26.9	29.2	31.7	34.2	37.0	39.9	43.0	45.6
85	23.1	25.2	27.5	29.9	32.4	35.1	37.9	40.9	44.1	
90	23.5	25.7	28.1	30.5	33.1	35.9	38.8	42.0	45.3	
95	24.0	26.3	28.7	31.2	33.9	36.7	39.8	43.0		
100	24.4	26.8	29.2	31.9	34.6	37.6	40.7	44.0		

Tabel B2. De Wet Bulb Globe Temperature als functie van de T2m (horizontaal) en relatieve vochtigheid (verticaal).

Bij 50% relatieve vochtigheid is WBGT (in deze vereenvoudigde formulering) vrijwel gelijk aan de T2m. De waarden in de tabel geven een overschatting bij bewolkte situaties en omstandigheden met harde wind. Bij een lage relatieve luchtvochtigheid en felle zon treedt een lichte onderschatting van de index op.

Appendix C. Het MeteoAlarm systeem

In verband met plannen om de MeteoAlarm-systematiek uit te breiden naar dag 2 tot en met dag 5 is in 2014 de hier beschreven experimentele module ontwikkeld. Deze berekent overschrijdingskansen voor een aantal criteria die zoveel mogelijk gelijk genomen worden aan die in de Weeralarmsystematiek, en (dus) aan die in MeteoAlarm voor dag 0 en 1. Vanwege de beperkte voorspelbaarheid van de betreffende weerelementen zijn de gebieden echter groter genomen dan die in de Weeralarmsystematiek en zijn tevens de kansdrempels een stuk lager. De onderstaande beschrijving is gebaseerd op de toelichting bij de introductie van het systeem. Sindsdien is het systeem grotendeels onveranderd wat betreft predictands en kansdrempels, maar is wel de resolutie van het EPS-rooster aangepast. Er is niet gebruik gemaakt van statistische postprocessing.

1. Dag 2 tot dag 5 waarschuwingen voor Nederland

a. Gebaseerd op EPS-model

De laatste modelinformatie die gebruikt wordt is afkomstig van het cubic octahedral grid van het EPS met een resolutie van ca 19 km. De verwerking vindt plaats op de 00 en 12 UTC runs van het EPS. De uitvoer van de verwerking is om ca 10 en 22 UTC beschikbaar. Er wordt maar op 1 tijdstip gecheckt of de betreffende EPS-run beschikbaar is! Er wordt gebruik gemaakt van zgn. Weather Parameter Files, waarin voor alle EPS-roosterpunten tijdseries van een 20-tal (voornamelijk grond-) parameters staan. De tijdsresolutie in deze files is: stappen van 3 uur t/m +144, en daarna stappen van 6 uur t/m +360.

b. Gebiedsindeling

De alarmering wordt gebaseerd op **gebiedskansen** en niet op die per gridbox. Dus het betreft (overschrijdings)kansen dat *ergens* in het gebied er een roosterpunt is waarin het opgegeven criterium gehaald wordt. Er is gekozen voor gebiedskansen in plaats van gridboxkansen omdat door de beperkte voorspelbaarheid van extreme events de kansen per gridbox slechts zelden boven een paar procent uitkomen. Daarnaast is voor de dag 2 tot dag 5 range de kans dat iets optreedt op een specifieke locatie vaak niet zozeer van belang maar veeleer de kans dat iets ergens in een bepaald gebied optreedt.

De **gebiedsindeling** is zoveel mogelijk in de vorm van (vereniging van een aantal) provincies. Hierbij zijn per provincie de EPS-gridpunten genomen die in die provincie liggen. Nederland (incl. kustgebied) wordt in de huidige configuratie bedekt door ca 200 EPS-gridpunten.

Gebiedsindeling

. N-Nederland	Friesland, Groningen, Drenthe, Flevoland
. W-Nederland	Noord Holland, Zuid Holland, Zeeland
. Z-Nederland	Noord Brabant, Limburg

- . Midden Nederland Utrecht, Overijssel, Gelderland
- . Open Waters IJsselmeer, Markermeer, Waddenzee (incl. Waddeneilanden)

NB. De kleurcodering, op grond van overschrijding van de betreffende criteria, wordt voor deze 5 gebieden bepaald en dus niet per provincie. In de presentatie binnen MeteoAlarm zijn dan ook de kleuren hetzelfde voor alle provincies die binnen 1 gebied vallen. De tijdseries van de kansen waarop de kleurcodering gebaseerd is staan voor alle gebieden gepresenteerd op de webpagina's.

c. Kansen in tijdwindows in plaats van in "instantane" kansen

Er is gekozen voor windowkansen in plaats van kansen op 1 vast tijdstip, omdat door de beperkte voorspelbaarheid van extreme events de kansen per tijdstip (of in het geval van neerslagsommen in EPS zelfs minimaal per 3 uur) slechts zelden boven een paar procent uitkomen. Zie ook onder *b*.

Tenslotte geldt volgens afspraak dat alerts (en kleurcodering) voor dag 2 tot dag 5 per dag uitgegeven worden en niet voor delen van een dag.

d. Predictands

De in MeteoAlarm afgesproken grootheden betreffen (extremen in) *wind, mist, onweer, gladheid en sneeuw, hitte, kou, regen*. Voor het gebied Open-Water (en dus ook voor de Waddeneilanden) worden alleen waarschuwingen gegenereerd voor wind, mist en onweer. Voor de overige 4 gebieden worden alle predictands verwerkt.

NB. In MeteoAlarm worden gladheid en sneeuw als een gecombineerde grootheid beschouwd. Deze gecombineerde predictand wordt in het vervolg *gladheid* genoemd.

De 'winter'predictands *gladheid* en *kou* worden alleen het winterhalfjaar bekeken en *hitte* alleen in het zomerhalfjaar, waarbij als grenzen tussen de 'seizoenen' geldt 1 oktober en 1 april. Alle andere elementen worden het hele jaar onderzocht op extreme situaties.

e. Het gebruik van proxies

Er is geprobeerd de criteria in de MeteoAlarm systematiek zoveel mogelijk te laten lijken op die in de weeralarmssystematiek in Nederland. Voor een aantal weerelementen zoals bij *Onweer* waar sprake is van "(zeer goed) georganiseerde onweersbuien met lokaal één of meer van de volgende verschijnselen", is niet direct een DMO grootheid in EPS beschikbaar. Daarom is voor deze elementen gezocht naar DMO-grootheden, "predictoren", die zoveel mogelijk de gunstige omstandigheden beschrijven voor het voorkomen van de beoogde fenomenen.

NB. Inmiddels is er een nieuwe uitvoergrootheid van het EPS die een combinatie is van CAPE en SHEAR. Daarnaast is er ook een bliksemintensiteitsparameter beschikbaar gekomen.

mist

Zicht (visibility) is inmiddels een DMO grootheid in EPS, maar is op dit moment nog niet ingevoerd in het MeteoAlarmsysteem. De kansdrempel voor code geel staat op 30%. Voor code oranje zijn de criteria iets scherper en, ter voorkoming van teveel false alerts, is voorlopig een veel hogere kansdrempel gekozen (99%).

Uit een eerste evaluatie van dit criterium lijkt op deze manier te vaak voor mist (code geel) gewaarschuwd te worden.

f. *Het PASCAL verwerkingsprogramma*

De berekening van de criteria zoals vermeld in het volgende hoofdstuk gebeurt door het programma PASCAL dat staat voor *Probabilistic Alert System for the Concurrence of Adverse weather elements*.

g. *Presentatie op STAT-webpages*

Additionele grafische informatie is te vinden op de STAT-webpagina's, i.e. op <http://info.knmi.nl/wm-am/stat/wmstat.htm> doorklikken naar EPS_EXPS en METEOALARM.

2. Criteria

In het onderstaande wordt op de linker helft van de pagina's een overzicht gegeven van de keuzes die gemaakt zijn t.b.v. de MeteoAlarm alerteringen. Ter vergelijking staan aan de rechterzijden de criteria die vanaf 1 oktober 2015 gelden in de Gevaarlijk Weer systematiek, en die als inspiratie golden voor de MeteoAlarmcriteria. In de tekstboxen zijn issues vermeld die relevant zijn voor de vertaling naar de MeteoAlarm criteria.

METEOALARM

WAARSCHUWINGS-SYSTEMATIEK

Code geel dag 2 t/m 5	Code oranje dag 2 t/m 5	Code rood dag 2 t/m 5	Code geel 0-48 uur vooruit	Code oranje 0-24 uur vooruit	Code rood* (weeralarm) 0-12 uur vooruit
			Meer dan 60% kans op	In SGG meer dan 60% kans op:	

Globale verschillen

- Voor alle codes betreft het *gebiedskansen*, i.e. de kans dat het fenomeen *ergens* in het gedefinieerde gebied optreedt.
- De gebieden zijn Noord, Midden, Oost en West Nederland en een gebied Open Waters dat het IJsselmeer, Markermeer en Waddenzee (incl Waddeneilanden) omvat. Dus niet per provincie.
- '*ergens* in het gebied' is gedefinieerd als: ten minste 1 EPS gridbox. NB. de EPS-grootheden zijn gridboxgemiddelden.

- Bij alle criteria wordt ook een 'window' (een tijdvenster) gegeven waarin het fenomeen optreedt.

- Met de kans van > 60% bij code geel wordt een gebiedskans bedoeld (het gebied is het ingekleurde gebied).
- bij code oranje moet er een kans > 60% zijn dat het fenomeen een heel gebied (en dus niet ergens in het gebied) ter grootte van het SGG treft.
- 'coherent' gebied in de definitie van SGG is niet gedefinieerd.
- voor code rood is noch het kanspercentage noch het gebied (of de gebiedsgrootte) gedefinieerd. Er kan in principe dus aan code rood voldaan zijn zonder dat aan oranje of geel voldaan is.
- er is voor geen enkel fenomeen een (tijd)window gegeven.

ZWARE REGEN

criteria tbv METEOALARM (v.a. dag 2)

tbv WAARSCHUWINGEN (dag 0 en 1)

kans $\geq 30\%$ op	kans $\geq 30\%$ op	kans $\geq 30\%$ op	kans $> 60\%$ op	kans $> 60\%$ op	kans ??? op
≥ 30 mm in 24 uur	≥ 75 mm in 24 uur	≥ 100 mm in 24 uur	Verkeershinder door aquaplaning, of > 50 mm in 24 uur	> 75 mm in 24 uur	> 100 mm in 24 uur
window 12 uur	window 12 uur	window 12 uur			

SNEEUW & GLADHEID

criteria tbv METEOALARM (v.a. dag 2)

tbv WAARSCHUWINGEN (dag 0 en 1)

GLADHEID (incl SNEEUW)			SNEEUW EN GLADHEID		
kans $> 30\%$	kans $> 30\%$	kans $> 30\%$	kans $> 60\%$	kans $> 60\%$	kans ??
bevriezing: - $T_n \leq +1.5^\circ$ - $T - T_d < 1.0^\circ$ - 6-uurprecip in afg 6 uur ≥ 0.3 mm - cloud. $< 40\%$	bevriezing: - $T_n \leq +0.5^\circ$ - $T - T_d < 1.0^\circ$ - 6-uurprecip in afg 6 uur ≥ 0.3 mm - cloud. $< 40\%$	bevriezing: - $T_n \leq 0^\circ$ - $T - T_d < 0.1^\circ$ - 6-uurprecip in afg 6 uur ≥ 0.3 mm - cloud. $< 40\%$	Lokale gladheid door op-, aan- of bevriezing van natte weggedeelten, hagel, sneeuwresten of lokale ijzel.	Op uitgebreide schaal gladheid door ijzel of bevriezing	Op grote schaal (algemene) gladheid door ijzel of bevriezing
of ≥ 2 cm sneeuw in 6 uur	of ≥ 10 cm sneeuw in 6 uur	of ≥ 15 cm sneeuw in 6 uur	of Tot 5 cm sneeuw in 6 uur	of 5-15 cm sneeuw in 6 uur	of > 15 cm sneeuw in 6 uur
window 12 uur	window 12 uur	window 12 uur	En/of Tot 3 cm sneeuw in 1 uur	En/of 3-5 cm sneeuw in 1 uur	En/of > 5 cm in 1 uur
		En/of driftsneeuw of sneeuwval bij > 40 km per uur wind		En/of Sneeuwval en/of driftsneeuw (> 40 km/uur), leidend tot sneeuwduinen	En/of Sneeuwval en/of driftsneeuw (> 50 km/uur), leidend tot sneeuwduinen

NB. Skill van de proxies voor gladheid en ijzel is zeer matig!!!

- NB. het gaat wrs om 3 subcriteria die voor code oranje tesamen een kans van tenminste 60% van optreden moeten hebben en dus niet tenminste 1 van de subcriteria met kans $> 60\%$.

ONWEERSBUIEN

criteria tbv METEOALARM (v.a. dag 2)

tbv WAARSCHUWINGEN (dag 0 en 1)

kans $\geq 30\%$ op	kans $\geq 30\%$ op	kans $\geq 30\%$ op		kans > 60%	kans > 60%	
$\geq 10\text{mm}$ conv. precip. in 6 uur	$\geq 10\text{mm}$ conv. precip. in 6 uur	$\geq 15\text{mm}$ conv. precip. in 6 uur		Lokale onweersbuien met lokaal één of meer van de volgende verschijnselen :	**Georganiseerde onweersbuien met lokaal één of meer van de volgende verschijnselen :	Zeer goed georganiseerde onweersbuien met lokaal één of meer van de volgende verschijnselen:
èn: CAPE ≥ 250	èn: CAPE ≥ 1500	èn: CAPE ≥ 2500				
window 12 uur	window 12 uur	window 12 uur				
				-(zware) windstoten (>60 km per uur),	-(zeer) zware windstoten (>75 km/uur)	-zeer zware windstoten (>100 km/uur)
				-En/of lokaal veel neerslag (>30 mm in 1 uur)	-En/of lokaal veel neerslag (>50 mm in 1 uur)	-En/of lokaal veel neerslag (>75 mm in 1 uur)
				-En/of hagel (tot 2 cm)	-En/of grote hagel (2-4 cm)	-En/of grote hagel (>4 cm)
					**SGG niet van toepassing	

WINDSTOTEN

criteria tbv METEOALARM (v.a. dag 2)

tbv WAARSCHUWINGEN (dag 0 en 1)

ZOMER	ZOMER	ZOMER				
kans $\geq 30\%$ op	kans $\geq 30\%$ op	kans $\geq 30\%$ op		kans > 60%	kans > 60%	
$f_x \geq 75$ km/u	$f_x \geq 100$ km/u	$f_x \geq 110$ km/u		>75 km per uur	>100 km per uur	>110 km per uur
window 12 uur	window 12 uur	window 12 uur				
				Kust, winter: 90 km per uur	Kust, winter: 120 km per uur	Kust, winter: 130 km per uur
WINTER	WINTER	WINTER				
kans $\geq 30\%$ op	kans $\geq 30\%$ op	kans $\geq 30\%$ op				

$fx \geq 90$ km/u	$fx \geq 120$ km/u	$fx \geq 130$ km/u			
window 12 uur	window 12 uur	window 12 uur			

- "kust" is niet *mece* gedefinieerd

TEMPERATUUR (hitte, kou)

criteria tbv METEOALARM (v.a. dag 2)

tbv WAARSCHUWINGEN (dag 0 en 1)

ZOMER	ZOMER	ZOMER	HITTE	HITTE	HITTE
kans $\geq 30\%$ op $T_x \geq 27$ op 4 aaneengesloten dagen of: $T_x \geq 35$	kans $\geq 30\%$ op $T_x \geq 30$ op 3 aaneengesloten dagen waarbij: $T_n \geq 18$	kans $\geq 30\%$ op $T_x \geq 32$ op 3 aaneengesloten dagen waarbij: $T_n \geq 20$	kans > 60% Hitteplan (4 dagen $T_x > 27$), na consultatie RIVM Of $T_x > 35$	kans > 60% Drie dagen aaneengesloten etmalen $T_x > 30$, waarbij $T_n > 18$	Drie dagen aaneengesloten etmalen $T_x > 32$, waarbij $T_n > 20$
WINTER	WINTER	WINTER	KOU	KOU	KOU
kans $\geq 30\%$ op $T_g \leq -15$	kans $\geq 30\%$ op $T_g \leq -20$	kans $\geq 30\%$ op $T_g \leq -25$	kans > 60% Windchill < -15	kans > 60% Windchill < -20	Windchill < -25
window 12 uur	window 12 uur	window 12 uur			

- T_g is gevoelstemperatuur
- In de ZOMER wordt geen window toegepast.

ZICHT

criteria tbv METEOALARM (v.a. dag 2)

tbv WAARSCHUWINGEN (dag 0 en 1)

		n.v.t.			
kans $\geq 30\%$ op dd op 10m niet tussen 90 en 180gr èn: $1 \leq ff_{10} \leq 3$ m/s èn: $T - T_d \leq 1.0$ gr	kans $\geq 99\%$ op dd op 10m niet tussen 90 en 180gr èn: $1 \leq ff_{10} \leq 3$ m/s èn: $T - T_d \leq 0.5$ gr		kans > 60% <200 m	kans > 60% <10 m	Vuurwerk-mist, geen zicht
window 12 uur	window 12 uur				

Appendix D. ProRail systeem

In het kader van het *winterweerprogramma spoor* heeft het KNMI in 2013 van DG Bereikbaarheid de opdracht gekregen om ProRail te ondersteunen door het doen van meteorologisch onderzoek ten behoeve van de verdere ontwikkeling van een Decision Support Systeem. De meteorologische informatie en waarschuwingen verkrijgt ProRail van een commerciële weerprovider, maar in het geval van extreem weer kan ProRail een beroep doen op de kennis en expertise van het KNMI in de vorm van een ‘second opinion’.

Ten behoeve van deze taak is in 2013 een verkennend onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid om een bestaand automatisch waarschuwingssysteem (het waterschapssysteem, zie Kok, 2011a) zodanig aan te passen dat de uitkomsten zoveel mogelijk informatie verschaffen ter beoordeling van de criteria die ProRail gebruikt bij de besluitvorming bij aanpassing van de spoorwegdienstregeling. Het systeem geeft inzicht in de kans op overschrijding van risicodrempels voor een bepaald gebied. De (fysieke) risicodrempels en gebiedsgroottes zijn gedefinieerd door ProRail. ProRail maakt gebruik van regio's / sectors waar apart maatregelen voor getroffen kunnen worden zonder al te veel gevolgen voor andere regio's (zie Fig. D.1 voor de regio definities uit 2016). Uit een oriënterend onderzoek is gebleken dat verwachtingen per regio voldoende skill hebben.

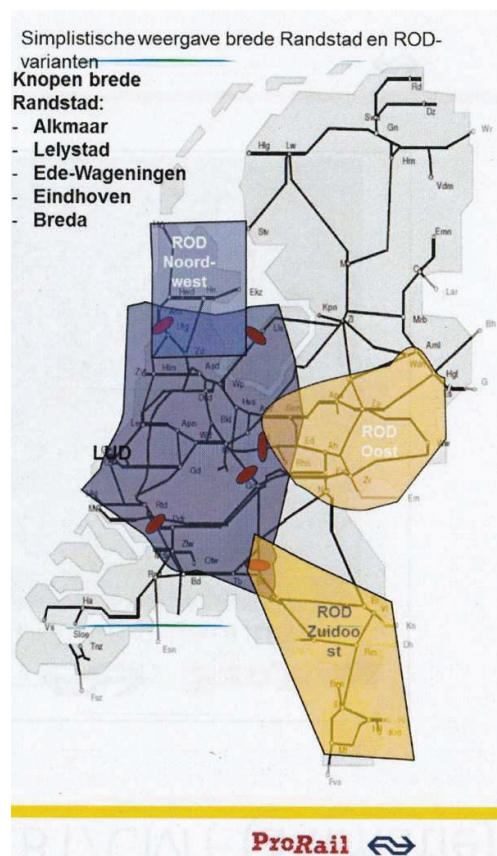


Fig. D.1. De door ProRail gehanteerde regio indeling. Afkomstig uit “Wintermaatregelen en kernboodschap” september 2016.

De risicodrempels zijn na overleg met ProRail en de weerkamer aangepast tot onderstaande risicoprofielen. Alle profielen bevatten kansdrempels die bij overschrijding aanleiding geven tot een alert melding, bijvoorbeeld in de vorm van een mail. In alle gevallen zijn de kansen hier gebiedskansen, i.e. de kans dat ergens in de betreffende regio voldaan wordt aan het criterium. De risicoprofielen worden 2 maal daags (op 02 en 14 UTC) gecheckt tot 192 uur vooruit op de laatst beschikbare EPS-runs. De beslissing om eventueel over te gaan op een aangepaste dienstregeling moet door ProRail de voorafgaande dag vóór 16 uur genomen worden. De middag-run van het hier beschreven systeem is beschikbaar ruim voor 16 uur. Dit betekent dus dat de laatste verwachtingen gebaseerd zijn op de 00 uur run van het EPS. De resultaten worden beschikbaar gesteld aan de weerkamer van het KNMI en dienen louter ter ondersteuning van de dienstverlening aan ProRail (second opinion). Naast alertmails als criteria overschreden worden zijn er informatie en grafieken beschikbaar via web pagina's.

Criteria

SNEEUW

WINTER kans $\geq 10\%$ op 1.5 cm sneeuw in 6 uur window 12 uur	WINTER kans $\geq 10\%$ op 3 cm sneeuw in 6 uur window 12 uur	WINTER kans $\geq 50\%$ op 3 cm sneeuw in 6 uur window 12 uur
---	---	---

TEMPERATUUR (hitte, kou)

ZOMER kans $\geq 50\%$ op $T_{max} \geq 25^\circ$	ZOMER kans $\geq 50\%$ op $T_{max} \geq 30^\circ$	ZOMER kans $\geq 50\%$ op $T_{max} \geq 25^\circ$ EN gusts ≥ 22.2 m/s
WINTER kans $\geq 50\%$ op $T_{min} \leq -10^\circ$	WINTER kans $\geq 50\%$ op $T_{min} \leq -15^\circ$	WINTER kans $\geq 50\%$ op $T_{min} \leq -10^\circ$ EN gusts ≥ 27.7 m/s
window 12 uur	window 12 uur	window 12 uur

WINDSTOTEN

ZOMER	ZOMER	
kans $\geq 10\%$ op	kans $\geq 10\%$ op	
gusts ≥ 80 km/hr OF ff ≥ 9 Bf	gusts ≥ 90 km/hr OF ff ≥ 10 Bf	
WINTER	WINTER	
kans $\geq 10\%$ op	kans $\geq 10\%$ op	
gusts ≥ 100 km/hr OF ff ≥ 9 Bf	gusts ≥ 110 km/hr OF ff ≥ 10 Bf	
window 12 uur	window 12 uur	

Opmerking. Met 'OF' wordt hier bedoeld de vereniging van de 2 condities.

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Postbus 201 | 3730 AE De Bilt
T 030 220 69 11 | www.knmi.nl