



Koninklijk Nederlands
Meteorologisch Instituut
Ministerie van Infrastructuur en Milieu

Rapportage WOW-NL evaluatie

Vergelijking WOW met KNMI waarnemingen

Martijn Koole

KNMI Intern Rapport IR-2016-08

Rapportage WOW-NL evaluatie

Vergelijking WOW met KNMI waarnemingen

Martijn Koole (martijn.koole@knmi.nl)



Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
Samenvatting.....	3
1 Inleiding	4
2 Beschrijving data.....	4
3 Temperatuur.....	6
3.1 Algemeen	6
3.2 Resultaten	6
3.3 Case study stadsklimaat	14
3.4 Correctiemodellen	16
3.5 Conclusies en aanbevelingen	21
4 Neerslag.....	23
4.1 Introductie.....	23
4.2 Resultaten	23
4.3 Conclusies en aanbevelingen	27
5 Wind	28
5.1 Algemeen	28
5.2 Case study 29 november	30
5.2.1 WOW station Odijk.....	30
5.2.2 WOW station Bonrepas (Schoonhoven)	31
5.2.3 WOW station Meteotoren (Scheveningen)	32
5.3 Conclusies en aanbevelingen	33
6 Overige variabelen.....	35
7 Referenties	36

Samenvatting

In dit onderdeel van de evaluatie van WOW-NL is de kwaliteit van de data van WOW-NL beoordeeld op basis van een vergelijking met officiële KNMI data. Aan de hand daarvan zijn aanbevelingen gedaan voor de bruikbaarheid van WOW-NL voor het KNMI en voor verbeteringen van WOW-NL. De analyse richt zich voornamelijk op de metingen voor temperatuur, neerslag en wind.

De temperatuurmetingen van WOW stations komen in het algemeen redelijk overeen met de geïnterpoleerde temperatuur van de officiële KNMI stations. Zeker bij temperaturen beneden de 20 °C zijn de verschillen over het algemeen niet groter dan $\pm 2^\circ\text{C}$. Deze verschillen zijn een gevolg van meetfouten, maar zeker ook van bestaande kleinschalige weersystemen of omgevingseffecten. Bij hogere temperaturen worden de verschillen groter. Uit de resultaten blijkt dat de WOW temperatuurmetingen met name 's middags hoger zijn dan de metingen van de KNMI stations. Voor een deel wordt dit veroorzaakt door invloed van zonnestraling op de temperatuursensoren. Maar ook 's nachts blijken WOW temperatuurmetingen vaak hoger te zijn. Zonnestraling kan hier niet de oorzaak zijn. Dit effect is het sterkst bij stations in een stedelijke omgeving. Hieruit blijkt dat WOW metingen van toegevoegde waarde kunnen zijn op het bestaande meetnet van het KNMI, omdat er andere fenomenen worden waargenomen. Daarnaast is de toepasbaarheid van een aantal machine learning technieken onderzocht voor het corrigeren van de temperatuurmetingen uit WOW.

Uit vergelijking van de neerslagmetingen uit WOW met de neerslagradar van het KNMI blijkt dat de kwaliteit van de neerslagmetingen per station erg kan verschillen. De meeste stations meten duidelijk minder neerslag dan de radar. Dit kan veroorzaakt worden door een te beschutte opstelling, maar uit de metadata blijkt dat hiermee niet alle verschillen te verklaren zijn. Er zijn echter ook stations bij die nauwelijks afwijken van de radar. De data van de betere stations zou bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden voor verdere analyses over opgetreden extremen of voor(aanvullende) validatie van de radarwaarnemingen.

Voor wind geldt, net als voor neerslag, dat veel stations te lage waardes geven. Ook hier zou het goed zijn om voor verdere analyse alleen de 'betere' stations te selecteren. Drie WOW stations zijn geselecteerd en vergeleken met model output van HARMONIE en KNMI stations voor een case study n.a.v. een storm op 29 november 2015. Hieruit blijkt dat de resultaten over het algemeen goed overeenkomen, maar dat WOW stations op bepaalde momenten hogere windsnelheden waarnamen dan het dichtstbijzijnde KNMI station of HARMONIE. Hieruit kan blijken dat locaties van KNMI stations soms niet goed representatief zijn of dat er kleinere weersystemen actief zijn die wel zichtbaar zijn in WOW, maar niet in de officiële waarnemingen.

Verder is er kort aandacht besteed aan luchtdrukmetingen uit WOW. Hieruit blijkt dat een aantal stations systematisch enkele hPa afwijkt. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door de conversie naar luchtdruk op Mean Sea Level, die als gevolg van verkeerde instellingen voor sommige stations dubbel wordt uitgevoerd en bij andere stations ten onrechte niet.

1 Inleiding

De doelstelling van het WOW-NL fase 2 project zoals vermeld in het projectplan is 'het vaststellen van de kwaliteit en bruikbaarheid van WOW-NL data en het optimaliseren van het portaal, teneinde de participatiegraad in Nederland te verhogen'. Dit deel van het evaluatierapport richt zich op het vaststellen van de kwaliteit van de data van WOW-NL. Aan de hand daarvan worden aanbevelingen gedaan voor de bruikbaarheid voor het KNMI en voor verbeteringen van WOW-NL.

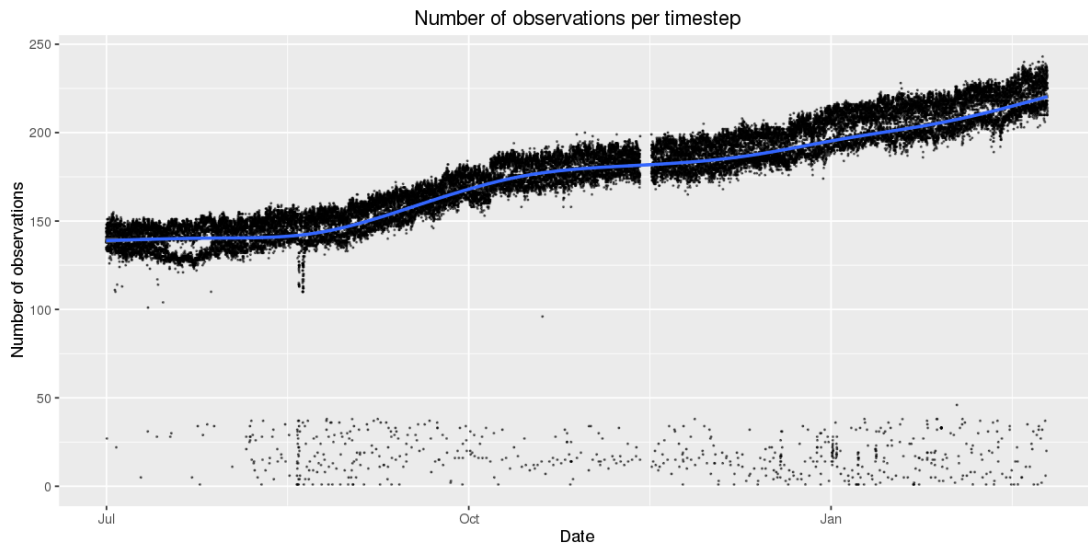
De kwaliteit van de WOW waarnemingen is beoordeeld op basis van een vergelijking met een interpolatie van de waarnemingen van de officiële KNMI stations. De verschillen tussen de geïnterpoleerde waarde en de waargenomen waarde kunnen veroorzaakt worden door:

1. Meetfouten bij WOW stations of bij officiële KNMI stations. Dit soort meetfouten kunnen bijvoorbeeld worden veroorzaakt door slechte kalibratie, doordat temperatuursensoren onder invloed van zonnestraling te veel opwarmen of doordat regenmeters slecht worden onderhouden. Voor deze analyse is aangenomen dat de meetfout bij KNMI stations verwaarloosbaar is.
2. Omgevingseffecten. WOW stations staan vaak opgesteld in een bebouwde omgeving, waardoor metingen kunnen worden beïnvloed door bijvoorbeeld obstakels of bebouwing. Ook Urban Heat Islands zijn een vorm van omgevingseffecten. KNMI stations staan juist in een open omgeving, zodat de invloed van obstakels of bebouwing zo klein mogelijk is.
3. Kleinschalige weersystemen. Er kunnen kleinschalige meteorologische effecten optreden die niet door het officiële KNMI netwerk worden waargenomen, maar wel door het fijnmazigere WOW netwerk.
4. Interpolatie-effecten De geïnterpoleerde waarde hangt af van de gebruikte interpolatiemethode.
5. Software en communicatiefouten. Het komt voor dat WOW stations tijdelijk niet beschikbaar zijn of 'vasthangen'. Ze geven dan een tijd lang dezelfde waardes door totdat de gebruiker zelf ingrijpt. Vaak is de temperatuur dan lang achter elkaar 0 °C of gelijk aan de laatst bekende temperatuur. Stations waar dit soort fouten optraden, zijn handmatig uit de set gefilterd.

Het verschil tussen de geïnterpoleerde en de waargenomen waarde interpreteren we als de som van enerzijds meet-, software- en communicatiefouten (1 en 5) en anderzijds een werkelijk bestaand kleinschalig fenomeen dat niet wordt opgepikt door de KNMI-stations (2 en 3). Bij afwezigheid van 1 en 5 wordt dit verschil dus volledig veroorzaakt door het kleinschalig fenomeen. De precieze grootte hiervan hangt af van de gekozen methode van interpoleren (4).

2 Beschrijving data

Zoals beschreven in het Evaluatieplan WOW-NL (Siegmond, 2015) is de kwaliteit van de WOW waarnemingen in Nederland beoordeeld op basis van een vergelijking met waarnemingen van de officiële KNMI stations. Dit is gedaan voor de periode 1 juli 2015 – 1 maart 2016, resulterend in ca. 4.5 miljoen unieke waarnemingen afkomstig van 311 unieke weerstations (waarvan 38 beheerd door het KNMI). Dit zijn alle WOW stations in Nederland die in deze periode data hebben geüpload naar WOW. De meeste stations waren slechts een gedeelte van de tijd beschikbaar. Figuur 1 laat zien dat het aantal beschikbare waarnemingen per tijdstap van 10 minuten gemiddeld tussen ca. 130 in juli en ca. 250 in februari ligt. De schommeling in het aantal waarnemingen per tijdstap wordt deels veroorzaakt door wisselende uploadintervallen, maar het komt ook voor dat stations tijdelijk niet uploaden doordat deelnemers hiervoor een PC gebruiken die niet altijd ingeschakeld is of doordat er tijdelijk geen verbinding is met internet.



Figuur 1: Aantal waarnemingen per tijdstap

Via WOW worden de volgende variabelen ontsloten: temperatuur, windsnelheid, windrichting, neerslagintensiteit, luchtdruk en luchtvochtigheid. Deze analyse van de kwaliteit van de WOW waarnemingen richt zich op temperatuur en neerslag voor de gehele dataset en voor windsnelheid voor een aantal geselecteerde weersituaties. De volgende hoofdstukken beschrijven per variabele de gekozen aanpak om de kwaliteit te kunnen beoordelen en de resultaten.

Verder wordt via WOW aanvullende informatie vastgelegd over o.a. de plaatsing en omgeving van een station, gebruikte apparatuur en de hoogte. Dit is vastgelegd in de zogeheten metadata. Daarnaast hebben gebruikers de mogelijkheid om een (korte) beschrijving toe te voegen over hun station. In Figuur 2 is een wordcloud weergegeven van de meest gebruikte woorden in deze beschrijvingen. Voor sommige stations is op deze manier te achterhalen wat voor weerstation (merk, type) er wordt gebruikt. Voor het grootste deel van de deelnemende stations geldt echter dat niet goed bekend is met wat voor type station er wordt gemeten en hoe deze precies staat opgesteld.



Figuur 2: De meest gebruikte woorden in de velden "beschrijving" en "aanvullende informatie" uit de metadata

3 Temperatuur

3.1 Algemeen

Om de temperatuurwaarnemingen van individuele WOW stations te kunnen beoordelen, zijn deze vergeleken met metingen van de 38 KNMI stations die ook via WOW beschikbaar zijn. Voor iedere tijdsstap van 10 minuten zijn de metingen van de KNMI stations geïnterpoleerd naar de locaties van de WOW stations met behulp van Inverse Distance Weighting (IDW). Hierbij wordt de waarde op een onbekend punt berekend op basis van een gewogen gemiddelde van de waarden op bekende punten, waarbij het gewicht invers gerelateerd is aan de afstand tot dat punt (Lu & Wong, 2008). Er is gekozen voor IDW als interpolatiemethode vanwege gemakkelijke toepasbaarheid en omdat deze methode relatief eenvoudig is. Er is geen uitgebreide afweging gemaakt tussen verschillende interpolatiemethodes, vanwege raakvlak met het afstudeeronderzoek van Thomas Merkus. Uit zijn voorlopige resultaten van de vergelijking tussen IDW, Universal/Ordinary Kriging en Thin Plate Splines blijkt dat interpolatie met behulp van Thin Plate Splines na crossvalidatie iets betere resultaten geeft, maar dat de verschillen tussen de methodes klein zijn (orde 10^{-1} °C) (Merkus, 2016). De fout die wordt geïntroduceerd door interpolatie ligt gemiddeld rond de 1 °C. De keuze voor IDW lijkt hiermee gerechtvaardigd.

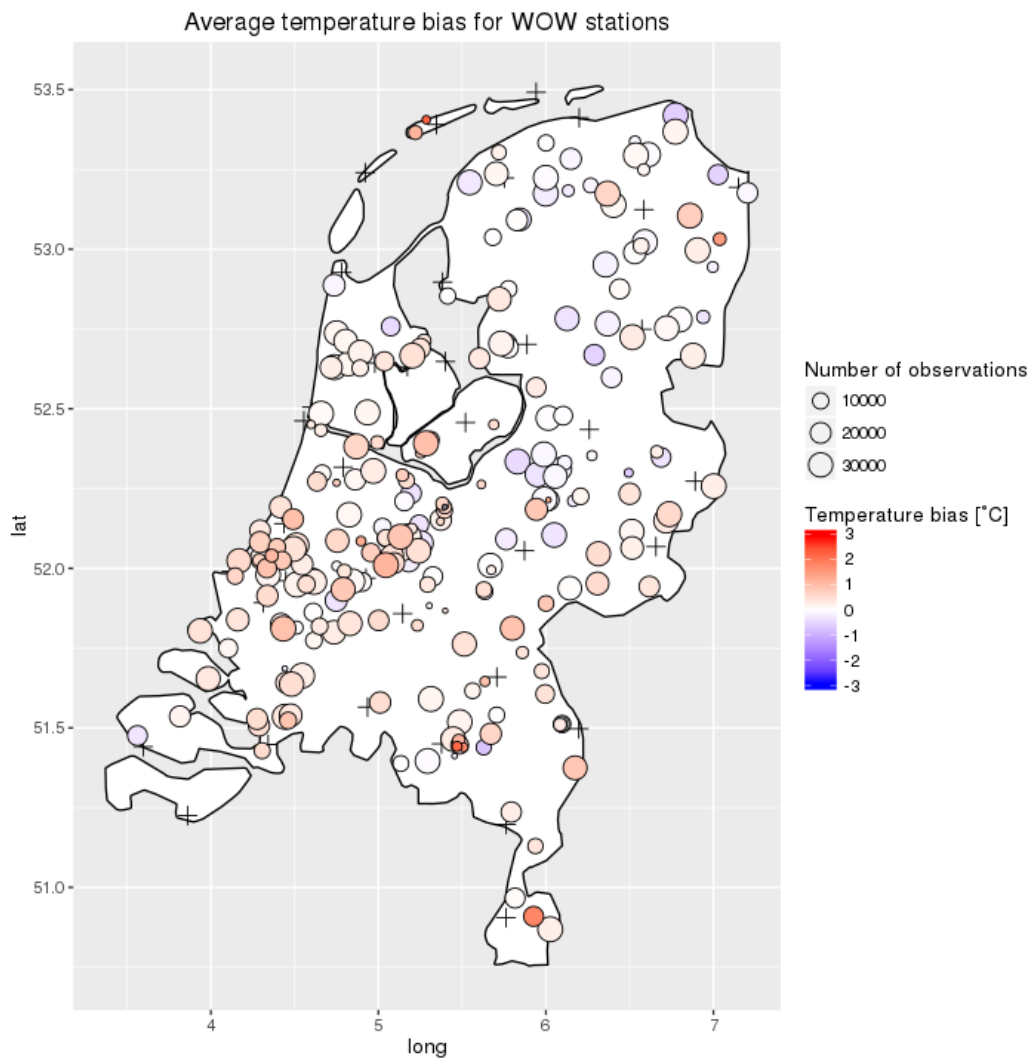
Met behulp van de geïnterpoleerde waarden is per station het verschil berekend tussen geïnterpoleerde temperatuur en waargenomen temperatuur. Vervolgens is getracht deze verschillen te verklaren met behulp van de metadata uit WOW over o.a. locatie en apparatuur, zonnestraling en uur van de dag. Zonnestraling is van belang omdat verschillen kunnen worden veroorzaakt doordat sensoren te veel opwarmen door invloed van zonnestraling. Het uur van de dag kan daar invloed op hebben, omdat stations soms een deel van de dag zijn blootgesteld aan direct zonlicht en een deel van de dag in de schaduw staan. Verschillen kunnen daarnaast worden veroorzaakt door: kleinschalige weersystemen, omgevingseffecten (zoals stadsklimaat), incorrecte kalibratie en door de interpolatie.

Daarnaast is onderzocht of het mogelijk is om de WOW waarnemingen (automatisch) te corrigeren met behulp van verschillende machine learning technieken: Artificial Neural Networks, Random Forests en multiple lineaire regressie.

3.2 Resultaten

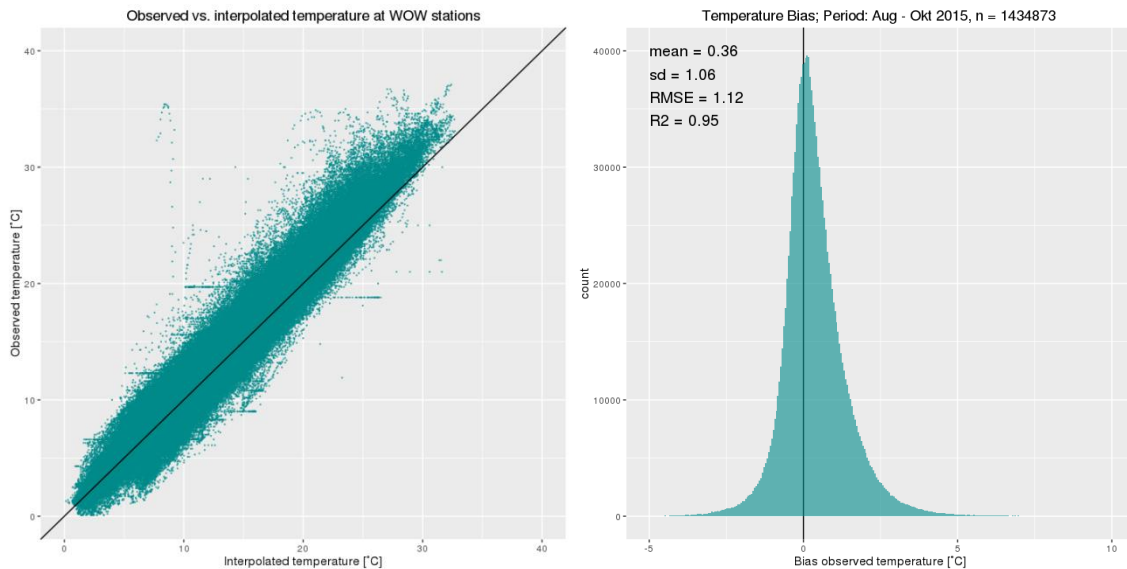
Voor alle beschikbare metingen uit WOW is nu zowel een gemeten waarde bekend als een geïnterpoleerde waarde. Per station is een gemiddelde afwijking berekend over alle geregistreerde metingen. Figuur 3 toont de gemiddelde afwijkingen voor alle WOW stations in Nederland. Hierbij zijn stations die de meeste waarnemingen hebben gedaan groter afgebeeld dan stations die slechts korte tijd uploaden naar WOW. Te zien is dat stations rondom de randstad en Utrecht over het algemeen gemiddeld hogere temperaturen registreerden dan de geïnterpoleerde waarden. De KNMI stations die zijn gebruikt om te interpoleren, staan over het algemeen opgesteld in een open omgeving. Op deze manier worden de metingen zo weinig mogelijk beïnvloed door obstakels of stedelijke effecten en zijn beter representatief voor een groter gebied. WOW stations staan vaak juist dichter bij steden.

Rond de Veluwe en in Noord-Groningen registreerden WOW-stations gemiddeld juist lagere temperaturen. Mogelijk spelen hierbij de plaatsing van de stations in bosrijke omgeving rondom de Veluwe een rol of de afstand tot de kust bij een aantal stations in Noord-Groningen.



Figuur 3: Gemiddelde temperatuur bias per station. KNMI stations zijn weergegeven met een "+"

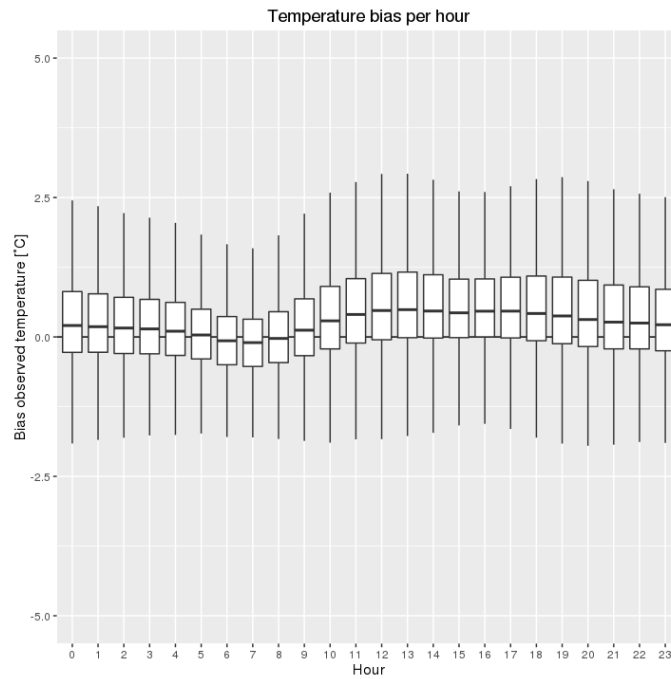
Figuur 4a toont de geïnterpoleerde temperatuur op de x-as en de waargenomen temperatuur op de y-as voor alle waarnemingen op WOW-NL voor de periode augustus – oktober 2015. De KNMI stations uit WOW zijn hierbij niet meegenomen, omdat deze zijn gebruikt voor de interpolatie. Te zien is dat de WOW stations gemiddeld hogere temperaturen waarnemen dan de interpolatie op basis van de KNMI metingen. Voor temperaturen boven de 25 °C is dit effect het sterkst. Figuur 4b toont de histogram van de fout tussen de geïnterpoleerde en waargenomen temperaturen. Ook hier is te zien dat een aanzienlijk deel van de metingen warmer is dan de geïnterpoleerde waarde. Verder is te zien dat de fout voor nagenoeg alle metingen kleiner is dan ± 5 °C en dat de standaardafwijking ca. 1 °C is. Dit is in de orde van grootte van de fout t.g.v. de interpolatie (Merkus, 2016). Dit suggereert dat de meetfout over het algemeen klein is en een groot deel van de verschillen wordt veroorzaakt door lokale invloeden/plaatsing en door de interpolatie.



Figuur 4a+b: Waargenomen en geïnterpoleerde temperatuur voor alle waarnemingen in de periode augustus - oktober 2015

Figuur 5 toont de spreiding van de fout per uur van de dag. Dit is gepresenteerd met boxplots, waarbij de box wordt ontsloten door de eerste en derde kwartiel van alle metingen, de lijnen geven de middelste 95% weer en de dikke lijn in het midden toont de mediaan.

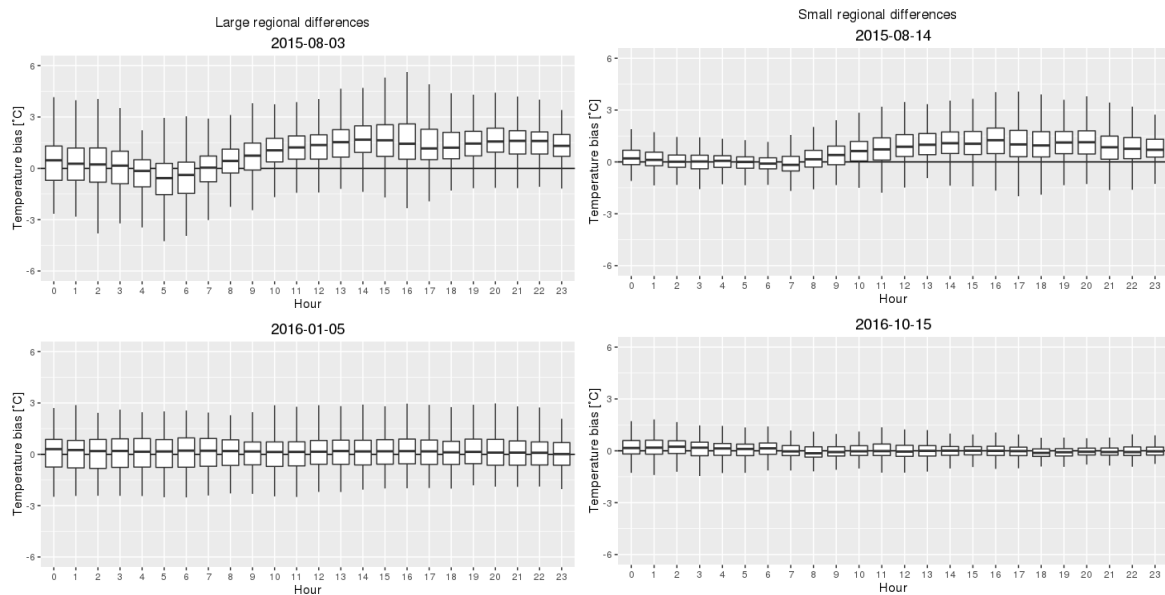
Te zien is dat de WOW metingen vanaf ca. 10 uur 's ochtends consequent hoger zijn dan de geïnterpoleerde temperaturen. De oorzaak voor het waarnemen van te hoge temperaturen kan voor een deel worden verklaard doordat WOW stations met goedkopere temperatuurhutten te veel opwarmen door invloed van zonnestraling. In Figuur 5 is te zien dat de verschillen 's avonds en 's nachts geleidelijk kleiner worden, maar dat de temperatuur gemiddeld nog steeds hoger is. Dit kan niet worden veroorzaakt door invloed van directe zonnestraling. Rond 6-7 uur 's ochtends zijn de verschillen het kleinst en is de temperatuur gemiddeld zelfs wat lager dan de geïnterpoleerde waardes. Mogelijk speelt de invloed van bebouwing hierbij een belangrijke rol. Deze kan ervoor zorgen dat warmte 's avonds langer wordt vastgehouden en dat het 's ochtends langer duurt voordat de lucht opwarmt, doordat de zon pas later boven de bebouwing uitkomt.



Figuur 5: Spreiding van temperatuurverschillen per uur van de dag

Om een idee te krijgen van de invloed van de interpolatie en zonnestraling op de totale fout zijn 4 verschillende situaties bekeken: 2 zonnige dagen en 2 bewolkte dagen, waarbij de temperatuurverschillen in Nederland in de ene situatie groot waren en in de andere klein (grote vs kleine gradiënt).

3 augustus 2015	Zonnig	Grote gradiënt (Tmax 18 – 32 °C)
5 januari 2016	Bewolkt	Grote gradiënt (Tmax –6 – 8 °C)
14 augustus 2015	Zonnig	Kleine gradiënt (Tmax 23 – 25 °C)
15 oktober 2015	Bewolkt	Kleine gradiënt (Tmax 5 – 8 °C)

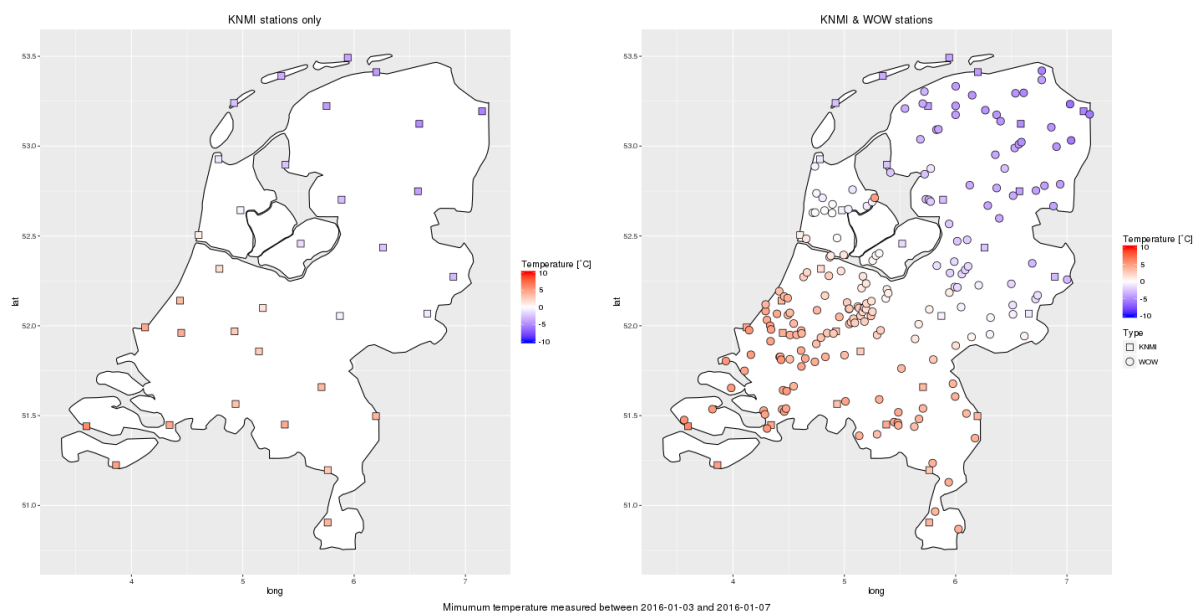


Figuur 6a+b: Temperatuurverschillen per uur van de dag voor dagen met grote gradiënt (a) en kleine gradiënt (b)

De twee figuren aan de linkerkant laten zien dat de invloed van grote regionale temperatuurverschillen ook voor een grotere spreiding van de fouten bij de WOW stations zorgen. Op zowel 3 augustus als op 5 januari was het temperatuurverschil binnen Nederland ca. 15 °C. Zo was de maximumtemperatuur op 3 augustus 32 °C in Limburg, terwijl het aan de kust slechts 18 °C werd. Op 5 januari werd het in Groningen -6 °C, terwijl het aan de kust ca. 8 °C was. De fout die wordt veroorzaakt door de interpoleren tussen KNMI stations zal in dit soort situaties waarschijnlijk groter zijn. Dit is te zien aan de grotere spreiding van de fouten bij de twee linker grafieken.

In de twee bovenste figuren is met name 's middags duidelijk te zien dat er hogere temperaturen worden waargenomen op de WOW stations. Beide dagen zijn in augustus, dus hoogstwaarschijnlijk wordt dit verschil veroorzaakt doordat de omgeving waarin de temperaturen worden gemeten opwarmt door de zon. Dit kan komen doordat temperatuursensoren niet goed zijn afgeschermd, doordat ze op een warme plek staan (bijv. boven verhard oppervlak of op daken) of door bijvoorbeeld stadseffecten. Ook hier is duidelijk te zien dat na zonsondergang nog steeds hogere temperaturen worden waargenomen en dat de temperaturen rond zonsopkomst wat lager zijn.

In situaties met grote temperatuurgradiënten, zoals op 5 januari 2016 en de dagen daaromheen, is met behulp van de hogere ruimtelijke resolutie die WOW biedt goed te zien hoe de temperatuur in Nederland verdeeld is. Figuur 7: Vergelijking tussen metingen van de minimumtemperatuur van 3 tot 7 januari 2016 door KNMI-weerstations (links, 35 meetpunten) en WOW-NL-weerstations (rechts, 228 meetpunten) laat zien dat na toevoeging van de WOW metingen veel duidelijker te zien is waar de vorstgrens liep in de periode 3-7 januari 2016.

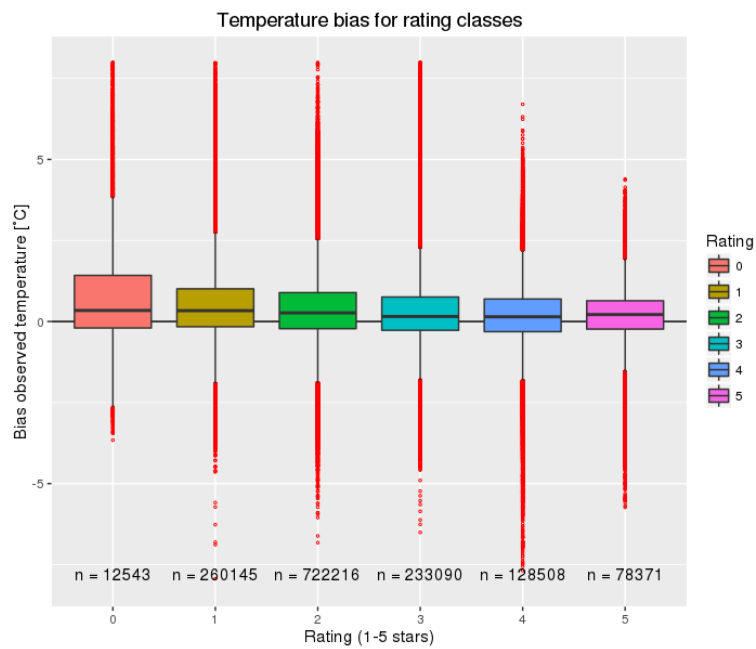


Figuur 7: Vergelijking tussen metingen van de minimumtemperatuur van 3 tot 7 januari 2016 door KNMI-weerstations (links, 35 meetpunten) en WOW-NL-weerstations (rechts, 228 meetpunten)

Invloed metadata

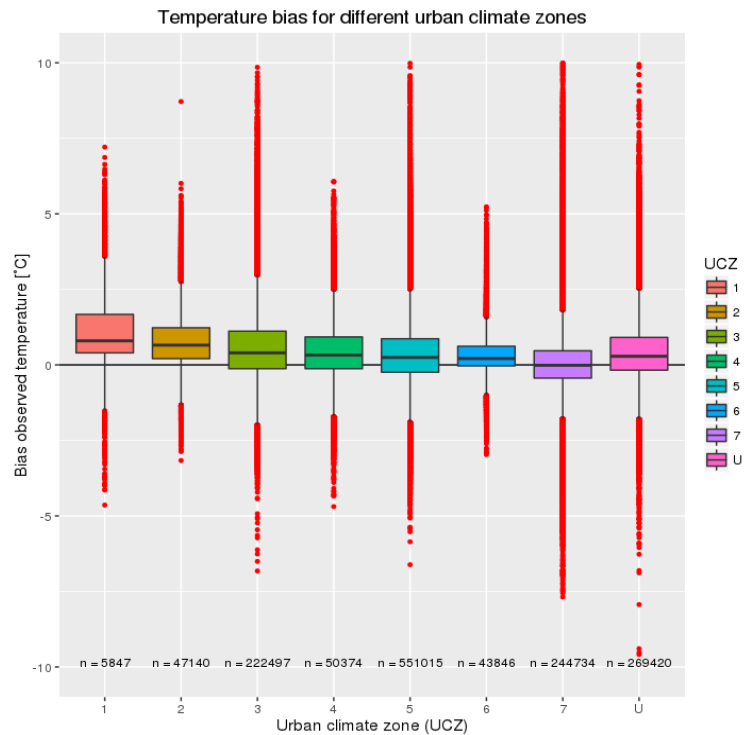
De boxplots in Figuur 8 laten zien wat de spreiding van de fout is t.o.v. het aantal sterren van een WOW station. Het aantal sterren wordt bepaald aan de hand van metadata die de gebruikers zelf kunnen opgeven, zoals de ligging van het weerstation en type meetinstrumenten. De fout lijkt iets kleiner te worden naarmate het aantal sterren toeneemt, maar dit effect is niet heel sterk. Als wordt gekeken naar de 'outliers'

(hoogste/laagste 2,5% van de metingen, in het rood), is te zien dat de outliers met name bij de stations met 4 en 5 sterren minder verspreid zijn.



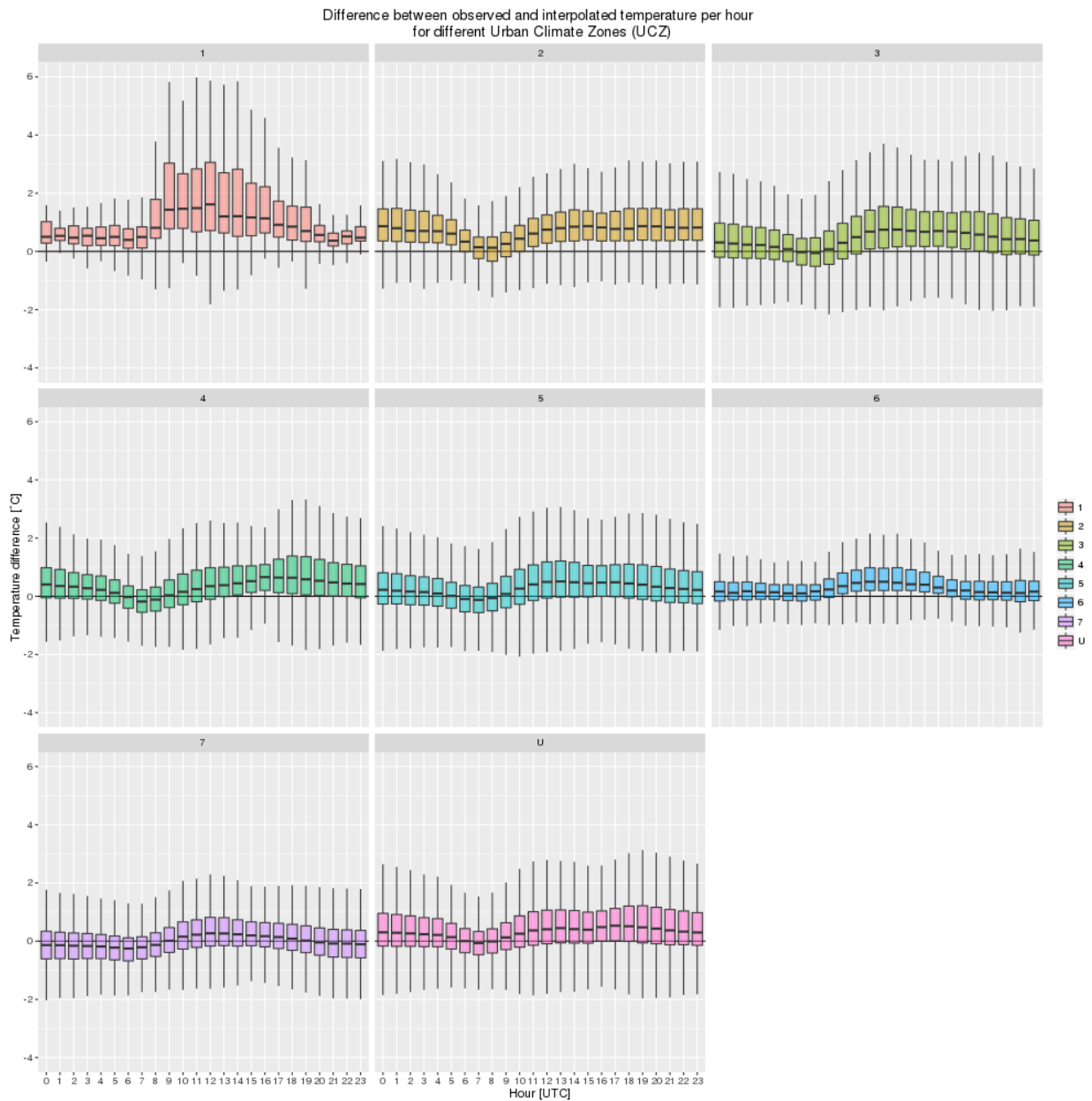
Figuur 8: Temperatuurverschil per klasse (1-5 sterren, klasse 0 = te weinig informatie bekend)

Hetzelfde is gedaan voor de classificering voor stedelijk gebied (urban climate zone) die deelnemers zelf beoordelen bij registratie bij WOW. Het resultaat is te zien in Figuur 9. Stations met UCZ classificatie 1 of 2 geven gemiddeld de grootste positieve fout (te warm). UCZ 1 of 2 staat voor zeer sterk ontwikkeld stedelijk gebied. Mogelijk zijn hier urban heat island effecten zichtbaar, omdat er wordt vergeleken met temperaturen gemeten door KNMI stations, die over het algemeen buiten de stad staan.



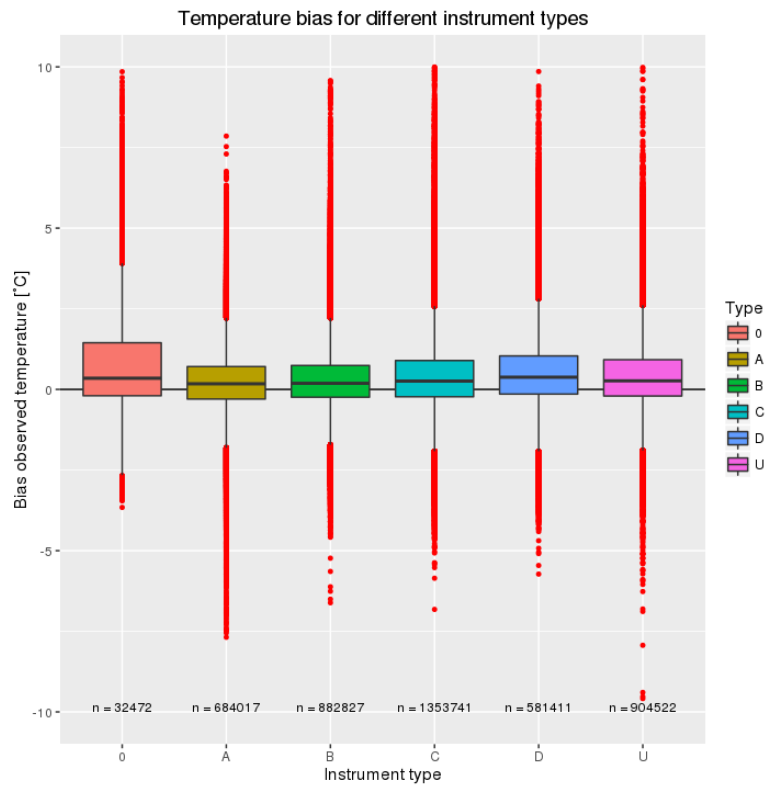
Figuur 9: Temperatuurverschillen voor verschillende UCZ klassen (van 1-7, waarbij 1= Zeer sterk ontwikkelde stedelijke zone, 7= (semi-) landelijke zone, U = 'unknown')

Figuur 10 laat het verloop zien over de dag van de verschillen tussen de geïnterpoleerde en waargenomen temperaturen voor de verschillende UCZ klassen. De variatie in waargenomen temperaturen in de middag is groot in de meest verstedelijkte zone (UCZ = 1) en gemiddeld zijn de temperaturen hier ook het hoogst. Waarschijnlijk wordt dit deels vertekend doordat het aantal waarnemingen in deze klasse veel kleiner is dan voor de overige klassen (zie Figuur 9). Er waren in de geselecteerde periode slechts twee stations actief met UCZ =1, waarvan er één grote uitschieters vertoonde op warme dagen. Mogelijk is dit station erg gevoelig voor de invloed van zonnestraling. Verder valt op dat voor de meer stedelijke gebieden (klasse 1-5) de temperatuur 's avonds en 's nachts inderdaad over het algemeen hoger is en dat er een dip zit in de temperatuur rond zonsopkomst. Bij klasse 6 en 7 is dit effect nauwelijks meer zichtbaar. Dit versterkt het vermoeden dat bebouwing een belangrijke rol speelt bij de oorzaak van de hogere waargenomen temperaturen 's avonds en 's nachts en ook een mogelijke oorzaak is voor de lagere temperaturen rond zonsopkomst. Doordat het langer duurt voordat de zon boven de bebouwing uitkomt, kan het langer duren voordat de lucht opwarmt.



Figuur 10: Temperatuurverschillen voor verschillende klassen van Urban Climate Zone (van 1-7, waarbij 1= zeer sterk ontwikkelde stedelijke zone, 7= (semi-) landelijke zone, U = 'unknown')

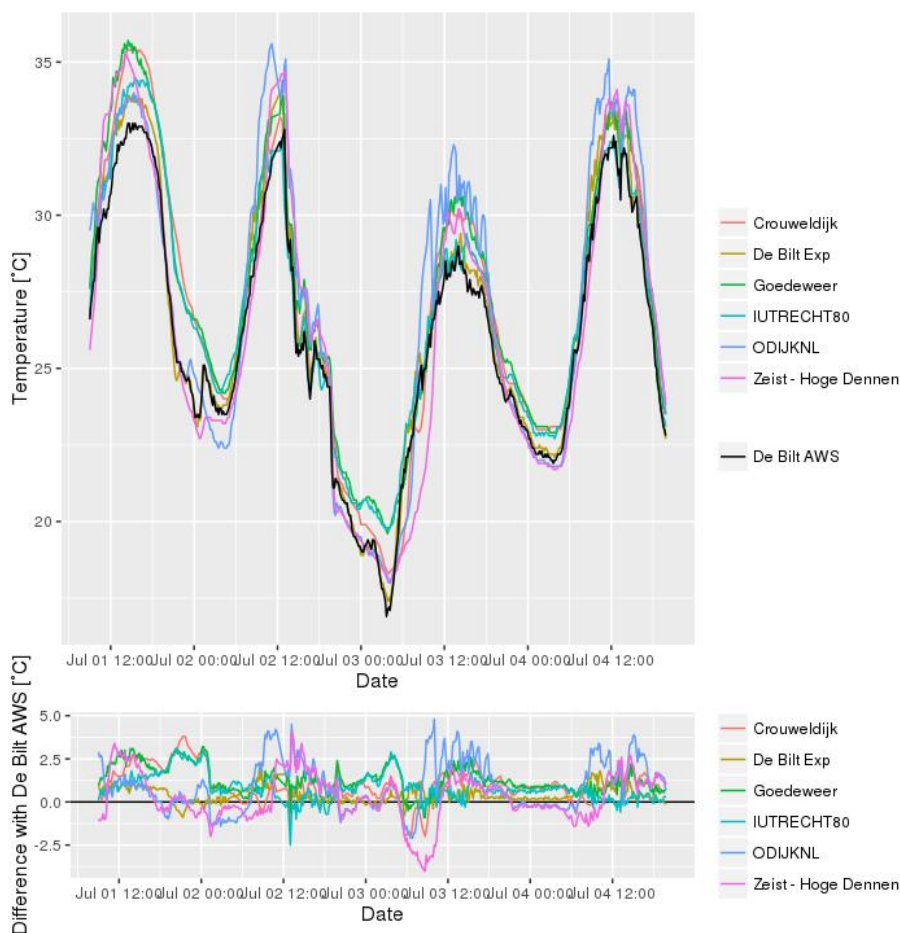
Figuur 11 laat zien wat het effect is van het type temperatuursensor en behuizing. Klasse A staat hierbij voor “Standaardinstrumenten in Stevenson-scherm; in de afgelopen 10 jaar geïjkt”. Te zien is dat de verschillen voor deze klasse het kleinst zijn. Klasse 0 geeft de grootste spreiding. Deze klasse staat voor “Hier worden geen temperatuurmetingen gedaan”. Dit is opvallend, omdat er in de maanden augustus – oktober 2015 toch ca. 32000 temperatuurmetingen zijn gedaan in deze klasse. Blijkbaar worden de metadata niet altijd correct ingevoerd door de gebruikers of vergeten zij de metadata aan te passen als hun situatie wijzigt.



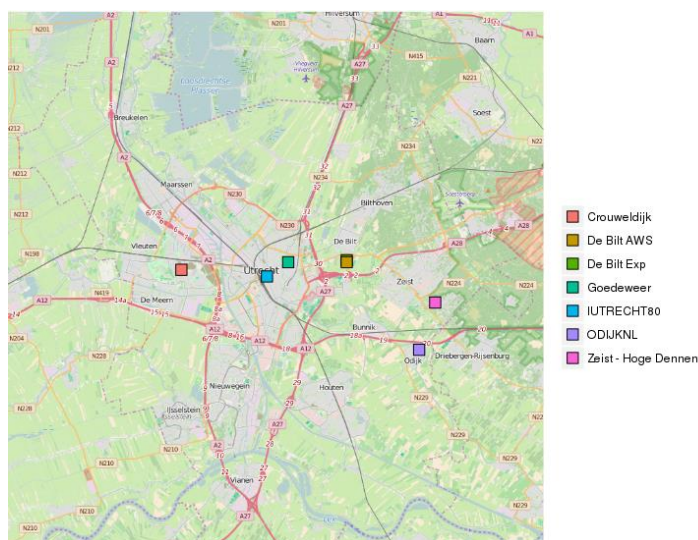
Figuur 11: Verschillen voor verschillende instrument types

3.3 Case study stadsklimaat

Een van de situaties waarvan wordt verwacht dat WOW van toegevoegde waarde kan zijn op het bestaande meetnet, is stadsklimaat en met name op warme dagen. Vooral nog zijn er in de meeste Nederlandse steden niet meer dan 3 of 4 WOW stations, wat het moeilijk maakt om meerdere stations onder min of meer gelijke omstandigheden met elkaar te vergelijken. Om toch een idee te krijgen zijn alle WOW stations in/rondom Utrecht met elkaar vergeleken voor de periode 1-4 juli 2015. De maximumtemperatuur was op die dagen tussen de 30 en 35 °C, waardoor potentiële urban heat islands goed zichtbaar zouden moeten zijn.



Figuur 12: Temperatuur in/rondom Utrecht in de periode 1-4 juli 2015



Figuur 13: Actieve WOW stations rondom Utrecht in de periode 1-4 juli 2015

Figuur 12 laat de gemeten temperatuur van alle stations rondom Utrecht zien in de periode 1-4 juli. Ter referentie is ook de temperatuur van het KNMI station in De Bilt weergegeven. Figuur 13 toont de locatie van deze stations. Vrijwel alle WOW stations meten hogere temperaturen dan De Bilt. Te zien is dat met name station “Goedeweer”, in het centrum van Utrecht, op 1 en 2 juli hogere temperaturen meet dan de rest. Maar ook stations “Crouweldijk”, in Leidsche Rijn, en “ODIJKNL”, in Odijk, zijn op bepaalde momenten behoorlijk hoger dan De Bilt. Het is niet goed duidelijk of de verschillen worden veroorzaakt door meetfouten,

omgevingsfactoren of kleinschalige systemen, maar het is wel opmerkelijk dat vrijwel alle stations duidelijke hogere temperaturen waarnamen dan De Bilt. Ook hier is goed te zien dat de temperaturen op de WOW stations 's avonds en 's nachts minder snel zakken dan in De Bilt. Als er in de toekomst meer WOW stations komen in stedelijk gebied, is beter te verklaren waardoor dit soort verschillen wordt veroorzaakt door meerdere stations met elkaar te vergelijken onder vergelijkbare condities.

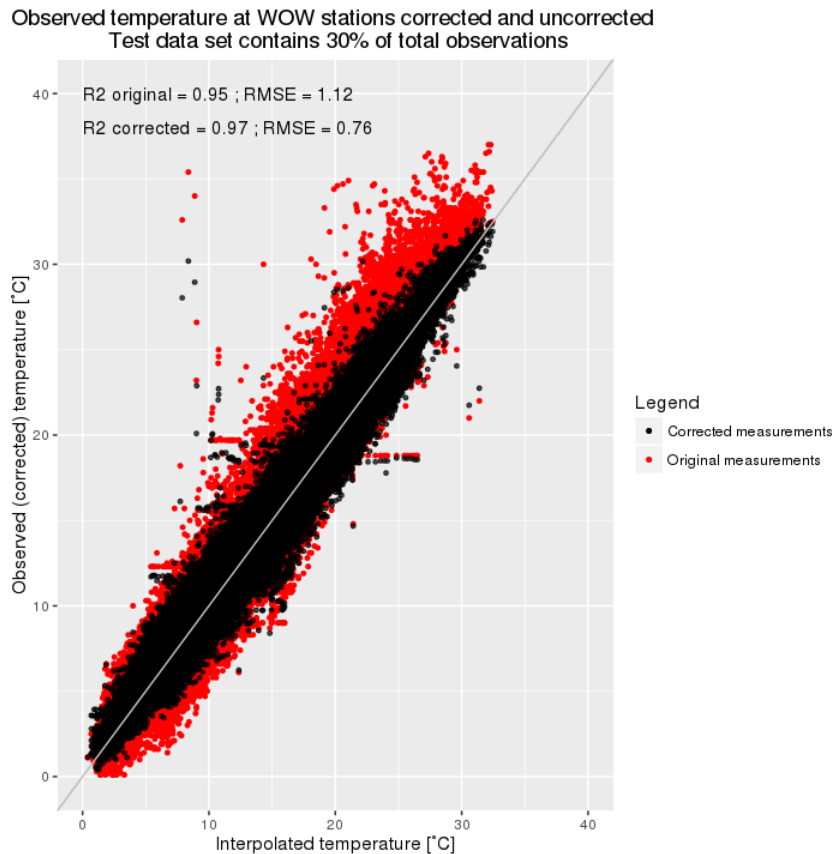
3.4 Correctiemodellen

Door Bell (2014) werd al aangetoond dat WOW metingen gecorrigeerd met behulp van een Bayesiaans lineair regressiemodel beter bruikbaar zijn dan ongecorrigeerde metingen. Het door hem gebruikte correctiemodel maakt gebruik van empirisch bepaalde relaties tussen zonnestraling en meetfout voor verschillende typen temperatuurhutten. Vervolgens kan aan de hand van de waargenomen afwijkingen een schatting worden gemaakt van wat voor soort temperatuurhut er wordt gebruikt, om vervolgens correctie toe te passen. Dit model is echter moeilijk reproduceerbaar zonder deze relaties te kennen voor de verschillende weerstation types. Bovendien is voor de meeste WOW stations niet goed bekend wat voor type station er wordt gebruikt. Daarom zijn de mogelijkheden verkend om correctie te kunnen toepassen met behulp van modellen die eenvoudiger te implementeren zijn.

Uitgaande van dat de fout door interpolatie kleiner is dan de meetfout en de invloed van omgevingsfactoren, is geprobeerd om de metingen van WOW stations automatisch te corrigeren met behulp van verschillende regressiemodellen met aanvullende data van gemeten zonnestraling en tijdstip op de dag. Een belangrijke aanname hierbij is dat de geïnterpoleerde temperatuur hierbij wordt gezien als "correcte" temperatuur. Het model zal dus proberen om de gemeten temperaturen te corrigeren naar de geïnterpoleerde temperatuur met behulp van de overige variabelen.

De zonnestraling is geïnterpoleerd vanuit de KNMI stations op dezelfde manier als dat voor temperatuur is gedaan (IDW). Het tijdstip is meegenomen om te kunnen corrigeren voor stations die een deel van de dag in de zon staan en een deel van de dag in de schaduw. Verder wordt de waargenomen temperatuur ook meegenomen als variabele. Zo kan er ook gecorrigeerd worden voor bijvoorbeeld kalibratiefouten.

Het correctiemodel is voor ieder station afzonderlijk gerund, waarbij per station 70% van de metingen zijn gebruikt om het model te trainen en de overige 30% om het model te valideren. Deze verdeling is random gemaakt. Hiervoor is de gehele dataset van augustus t/m oktober 2015 gebruikt. Figuur 14 toont in het zwart de gecorrigeerde temperaturen en in het rood de oorspronkelijke metingen. Te zien is dat de R^2 ("Coefficient of Determination", 2016) van de gehele validatie set wordt verhoogd van 0.95 naar 0.97. Voor individuele stations wordt de R^2 in sommige gevallen zelfs verhoogd van 0.50 naar 0.90. De RMSE (root mean squared error) voor de totale set neemt af van 1.12 naar 0.76 °C.



Figuur 14: Gecorrigeerde en waargenomen temperatuur

Een nadeel van deze methode is dat niet alle beschikbare metadata wordt meegenomen, waardoor bijvoorbeeld voor stadseffecten ten onrechte wordt ‘gecorrigeerd’.

Meer geavanceerde methodes om de WOW metingen te corrigeren, zijn bijvoorbeeld Artificial Neural Networks (“Artificial Neural Networks”, 2016) en Random Forests (“Random Forest”, 2016). Dit zijn bekende “machine learning” algoritmes. Het voordeel van deze methodes is dat beter inzichtelijk te maken is wat de bijdrage is van de verschillende variabelen die aan het model worden toegevoegd. Een belangrijke aanname hierbij is dat de geïnterpoleerde temperatuur de 'werkelijke' temperatuur is en de verschillen met behulp van een model volledig kunnen worden verklaard door de variabelen uit de metadata en zonnestraling.

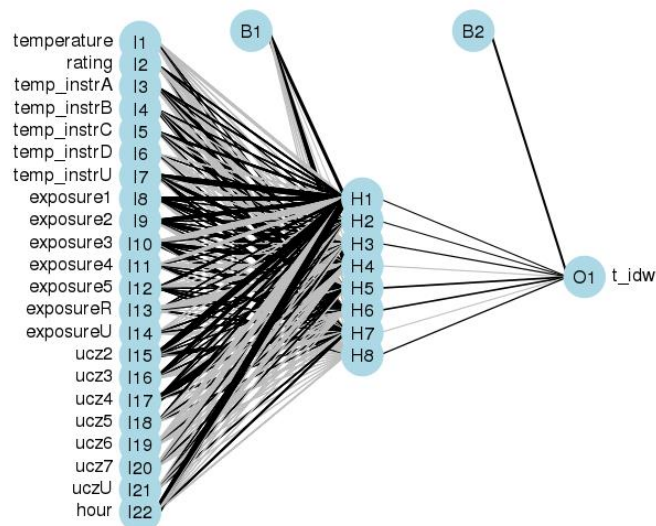
De geschiktheid van deze methodes is getest voor de periode 1 – 7 juli. De maximum temperatuur was op deze dagen ca. 35 °C, waardoor de invloed van zonnestraling en urban heat islands op de WOW metingen potentieel groot is. De verschillen tussen gemeten en geïnterpoleerde temperatuur waren op deze dagen dan ook groot. Naast zonnestraling is er nog een aantal andere variabelen uit de metadata van WOW meegenomen in het model. Tabel 1 toont een overzicht van de gebruikte variabelen. Voor een complete beschrijving zie <http://wow.knmi.nl/meedoen/classificatie>.

Exposure	Ligging van het station, afstand tot obstakels. Klassen 1 – 5, waarbij 1 staat voor obstakels binnen 1h en 5 voor geen obstakels binnen 10h. R zijn stations op daken en U staat voor unknown. (h = hoogte van obstakel)
----------	--

Urban Climate Zone (UCZ)	Aanwezigheid van bebouwing in directe omgeving. Klassen 1-7, waarbij 1 = zeer sterk ontwikkelde stedelijke zone (hoogbouw) en 7 = Semi – landelijke zone
Air temperature instrument	Afscherming van instrumenten, wel/niet geijkt. Klassen A, B, C, D, waarbij A = Standaardinstrumenten in Stevenson-scherm; in de afgelopen 10 jaar geijkt, D = geen stralingsscherm/beschutte locatie
Rating	Aantal sterren van een WOW station, berekend m.b.v. andere variabelen (1 – 5)
Hour	Uur van de dag
Solar radiation	Gemeten zonnestraling [J/cm^2], geïnterpoleerd vanaf KNMI stations
Measured temperature	Gemeten temperatuur op het WOW station

Tabel 1: Modelvariabelen

Het Neural Network model is opgezet met behulp van het R pakket “nnet”, dat gebruik maakt van “feed forward neural networks with a single hidden layer”. In Figuur 14 is het getrainde Neural Network schematisch weergegeven. Het model is getraind met behulp van 70% van de waarnemingen in de testperiode en getest op de overige 30% (random geselecteerd).



Figuur 15: Neural Network. Zwarte lijnen geven positieve gewichten weer en grijze lijnen negatieve. De dikte van de lijn is evenredig aan de magnitude van het gewicht. I1-22 zijn de inputvariabelen, H1-8 zijn de componenten van de zgn. “hidden layer”, B1-2 zijn de “bias componenten” en O1 is de outputvariabele.

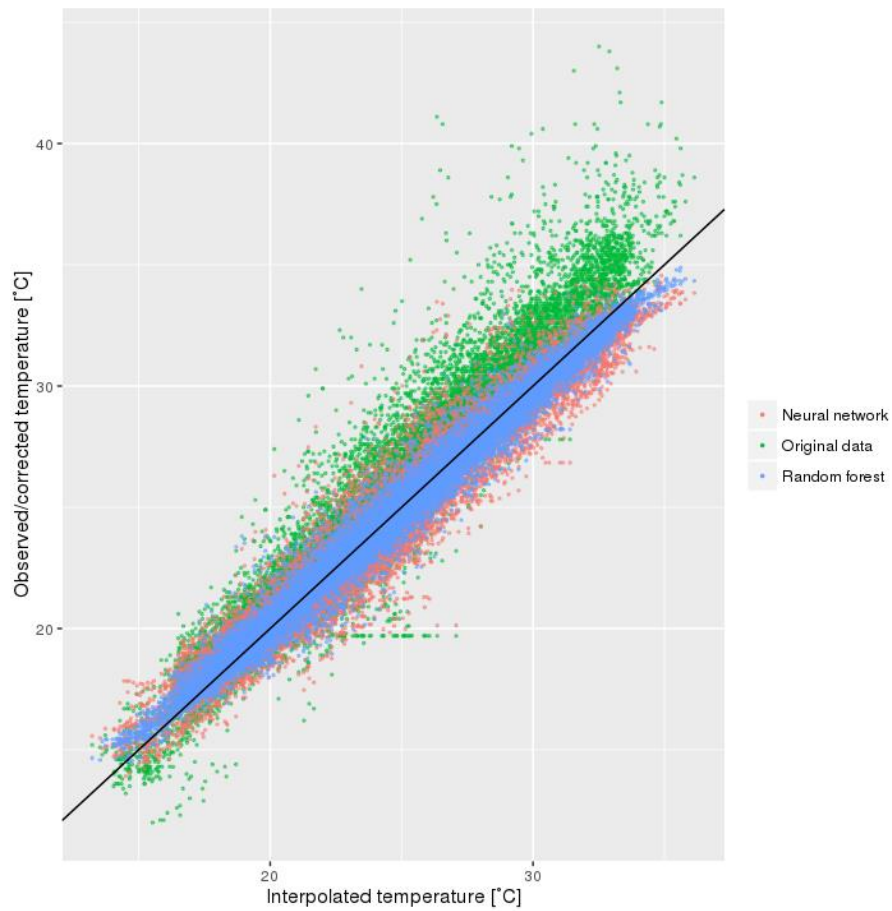
Ter vergelijking is op dezelfde manier een Random Forest model gebruikt om de metingen te corrigeren met behulp van R pakket “randomForest”.

Onderstaande figuur toont de resultaten van de test set (30%), met in groen de originele temperatuurmetingen van 1-7 juli, in roze de gecorrigeerde metingen m.b.v. Neural Networks en in blauw de gecorrigeerde metingen met het Random Forest.

Tabel 2 toont de resultaten van de verschillende correctiemodellen en de originele data. Te zien is dat zowel de RMSE (Root Mean Squared Error) als de R^2 behoorlijk verbeteren na correctie en dat het Random Forest model de beste resultaten geeft (laagste RMSE en hoogste R^2). Met behulp van het Random Forest model kan ook de relatieve bijdrage van de modelvariabelen worden bepaald. Hierbij wordt per variabele berekend met hoeveel procent de MSE (Mean Squared Error) toeneemt, als deze variabele niet wordt meegenomen. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 3. Hierin is te zien dat de gemeten temperatuur, de (geïnterpoleerde) zonnestraling en het uur van de dag de grootste bijdrage hebben aan de MSE van het model. De andere metadata uit WOW, Urban Climate Zone, Exposure en Instrument type, blijken een minder grote invloed te hebben.

Ter vergelijking is ook het eerder besproken lineaire regressie model nogmaals gerund voor alleen de periode 1-7 juli 2015. Het lineaire regressiemodel blijkt bijna even goed te presteren als het Random Forest model en beter dan de Neural Networks. Een voordeel van het gebruik van meer geavanceerde methodes, is dat op deze manier wel goed duidelijk wordt wat de bijdrage is van de verschillende parameters uit de metadata. Met het lineaire regressie model is dat moeilijker, omdat de correctie hier per station wordt bepaald.

Een grote beperking van het toepassen van dit soort correcties is dat de modellen weliswaar goed in staat zijn om de geïnterpoleerde ("werkelijke") temperatuur te voorspellen met behulp van de metadata, maar dat ook potentieel interessante kleinschalige effecten, zoals stadseffecten, na correctie niet meer zichtbaar zijn.



Figuur 16: Temperatuurmetingen 1-7 juli 2015 (geobserveerd en gecorrigeerd). De testset bestaat uit 30% van de data (random geselecteerd).

	RMSE	R ²
Originele data	2.11	0.83
Gecorrigeerd met Neural Networks	1.10	0.94
Gecorrigeerd met Random Forest	0.68	0.98
Gecorrigeerd met lineaire regressie	0.81	0.97

Tabel 2: Resultaten van correctiemodellen

Variabele	%IncMSE
Temperature	19.1
Solar radiation	5.4
Hour of the day	3.6
Urban Climate Zone	0.8
Exposure	0.7
Instrument type	0.7

Tabel 3: Relatieve bijdrage van variabelen aan Random Forest model

3.5 Conclusies en aanbevelingen

Over het algemeen komen de temperatuurmetingen van WOW stations redelijk overeen met de geïnterpoleerde temperatuur van de officiële KNMI stations. Zeker bij temperaturen beneden de 20 °C zijn de verschillen over het algemeen niet groter dan $\pm 2^\circ\text{C}$. Na filtering van enkele onrealistische metingen (bijvoorbeeld stations die ‘hangen’) kunnen de temperatuurmetingen van WOW goed worden gebruikt om bijvoorbeeld een extra check te kunnen doen in geval van verdachte metingen bij een KNMI station of t.b.v. specifiekere informatie bij situaties met grote lokale temperatuurverschillen, zoals kleinschalige weerverschijnselen of het stadseffect. Uit de resultaten blijkt dat de WOW temperatuurmetingen met name ’s middags hoger zijn dan de metingen van de KNMI stations. Voor een deel wordt dit veroorzaakt door invloed van zonnestraling op de temperatuursensoren, maar doordat temperaturen ’s nachts vaak ook hoger zijn, blijkt ook dat WOW stations vaak in warmere omgevingen staan dan KNMI stations. Zonnestraling kan hier niet de oorzaak zijn. Dit effect is het sterkst bij stations in een stedelijke omgeving. Hieruit blijkt dat WOW metingen van toegevoegde waarde kunnen zijn op het bestaande meetnet van het KNMI, omdat er andere fenomenen worden waargenomen.

Bij hogere temperaturen neemt de fout in de temperatuurmetingen van WOW toe. Vooral overdag is aan de hand van de beschikbare metadata uit WOW niet altijd goed te verklaren waardoor verschillen worden veroorzaakt. Dit zou kunnen verbeteren door toename van het aantal deelnemers, zodat een betere vergelijking kan worden gemaakt tussen stations onder dezelfde omstandigheden, of door specifiekere informatie te verzamelen over de plaatsing van het weerstation. Bijvoorbeeld door middel van foto’s van de opstelling of opgave van het merk en type van het gebruikte weerstation. Het blijkt van belang te zijn om de exacte plaatsing van een station te kennen. Jenkins (2015) toonde aan dat temperatuurwaarnemingen met een eenvoudige sensor afhankelijk van de locatie binnen een tuin ca. 4 °C kunnen verschillen.

Aan de hand van verschillende machine learning technieken is het mogelijk om de temperatuurmetingen te corrigeren. De verschillen tussen de waargenomen en geïnterpoleerde temperaturen worden daardoor aanzienlijk kleiner. Het gevaar is echter dat ook potentieel interessante kleinschalige effecten, zoals stadseffecten, na correctie niet meer zichtbaar zijn. Ter verbetering zouden alle WOW metingen kunnen worden onderworpen aan een aantal vooraf opgestelde toetscriteria, bijvoorbeeld gebaseerd op de maximale afwijking t.o.v. de geïnterpoleerde waarde of maximale afwijking t.o.v. naburige stations. Op deze manier kunnen ‘verdachte’ stations uit de set worden verwijderd voor verdere analyse. Als het technisch mogelijk is

om gebruikers terugkoppeling te geven, zou het goed zijn om gebruikers (automatisch) op de hoogte te brengen als hun station verdachte waardes uploadt.

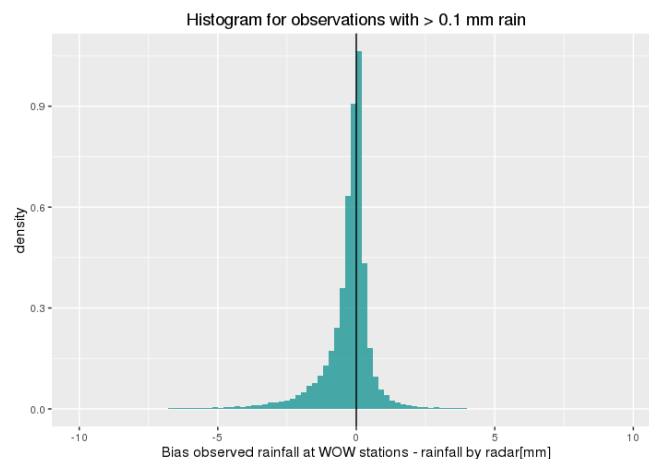
4 Neerslag

4.1 Introductie

De gemeten neerslagintensiteit op de WOW stations is vergeleken met de gecorrigeerde radardata van het KNMI. WOW registreert neerslagintensiteit [mm/u) en de radar neerslagsom [mm]. Aangenomen is dat de geregistreerde intensiteit gemiddeld is over het uploadinterval van 10 minuten. Vervolgens zijn deze 10-minuten intensiteiten geaggregeerd naar 1-uursommen. Radarbeelden zijn beschikbaar per 5-minutensommen of per 1-uursommen. Hierbij is gekozen voor de 1-uursommen i.v.m. betere correctie met de KNMI regenmeternetwerken. Een bijkomend voordeel van het gebruik van een lagere tijdsresolutie is dat eventuele verschillen in timing van de metingen tussen de radar- en grondmetingen daardoor deels worden vereffend.

4.2 Resultaten

Figuur 17 toont een histogram van de verschillen (WOW – radar). Hierbij zijn alleen metingen meegenomen waar de neerslagsom >0.1 mm is (radar en/of WOW station). Te zien is dat de waargenomen neerslag op de WOW stations in veel gevallen lager is dan de bijbehorende radarwaarde.

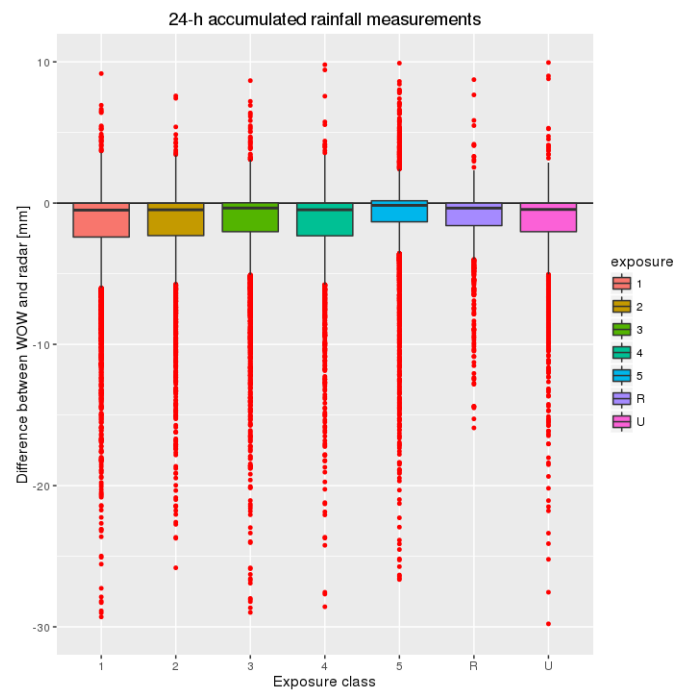


Figuur 17: Histogram van de verschillen tussen neerslag (1-uursom) bij WOW stations en neerslagradar

Verder valt op dat er op sommige momenten extreem hoge neerslagintensiteiten worden geregistreerd (tot ca. 25000 mm/u). De oorzaak hiervan is moeilijk te achterhalen. Mogelijk ligt de oorzaak bij de sensoren in de neerslagmeters (vaak “tipping buckets”). Extreem hoge intensiteiten kunnen optreden door een groot aantal “tips” in een erg kort tijdsinterval. Maar het zou ook kunnen dat de oorzaak van dit probleem zit in de software die wordt gebruikt om data te kunnen uploaden naar WOW. Het is namelijk niet precies bekend hoe in de verschillende softwarepakketten een 10-minuut gemiddelde neerslagintensiteit wordt berekend en of er verschillen zijn tussen de verschillende softwarepakketten. Het zou goed zijn als in de metadata van WOW ook de gebruikte software om te uploaden wordt geregistreerd. Dan kan beter achterhaald worden of er verschillen bestaan tussen de algoritmes die worden gebruikt om tot een 10-minuut gemiddelde te komen.

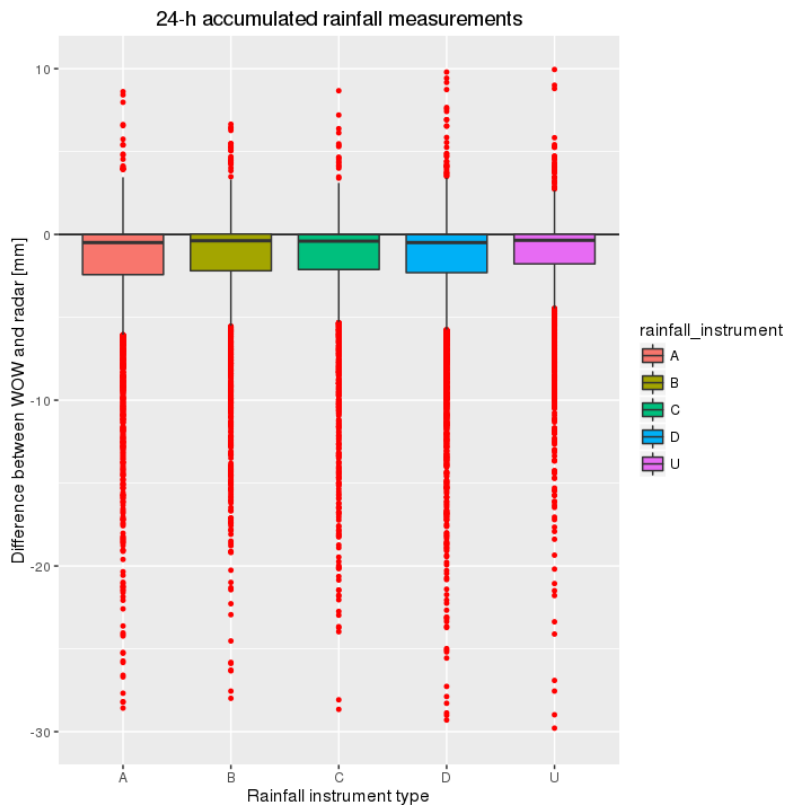
Deelnemers aan WOW vullen bij hun aanmelding ook in hoe hun station is gelegen (afstand tot obstakels), waarbij 1 staat voor obstakels binnen 1h en 5 voor geen obstakels binnen 10h (h staat voor de hoogte van het obstakel). R zijn stations op daken en U staat voor “unknown”. Figuur 18 laat de verschillen zien voor de verschillende ‘exposure’ klassen. Te zien is dat de negatieve afwijking het kleinst is voor klasse 5, maar dat de

verschillen voor klassen 1-4 vrijwel hetzelfde zijn. Aan de hand van exposure alleen zijn de verschillen dus niet goed te verklaren.



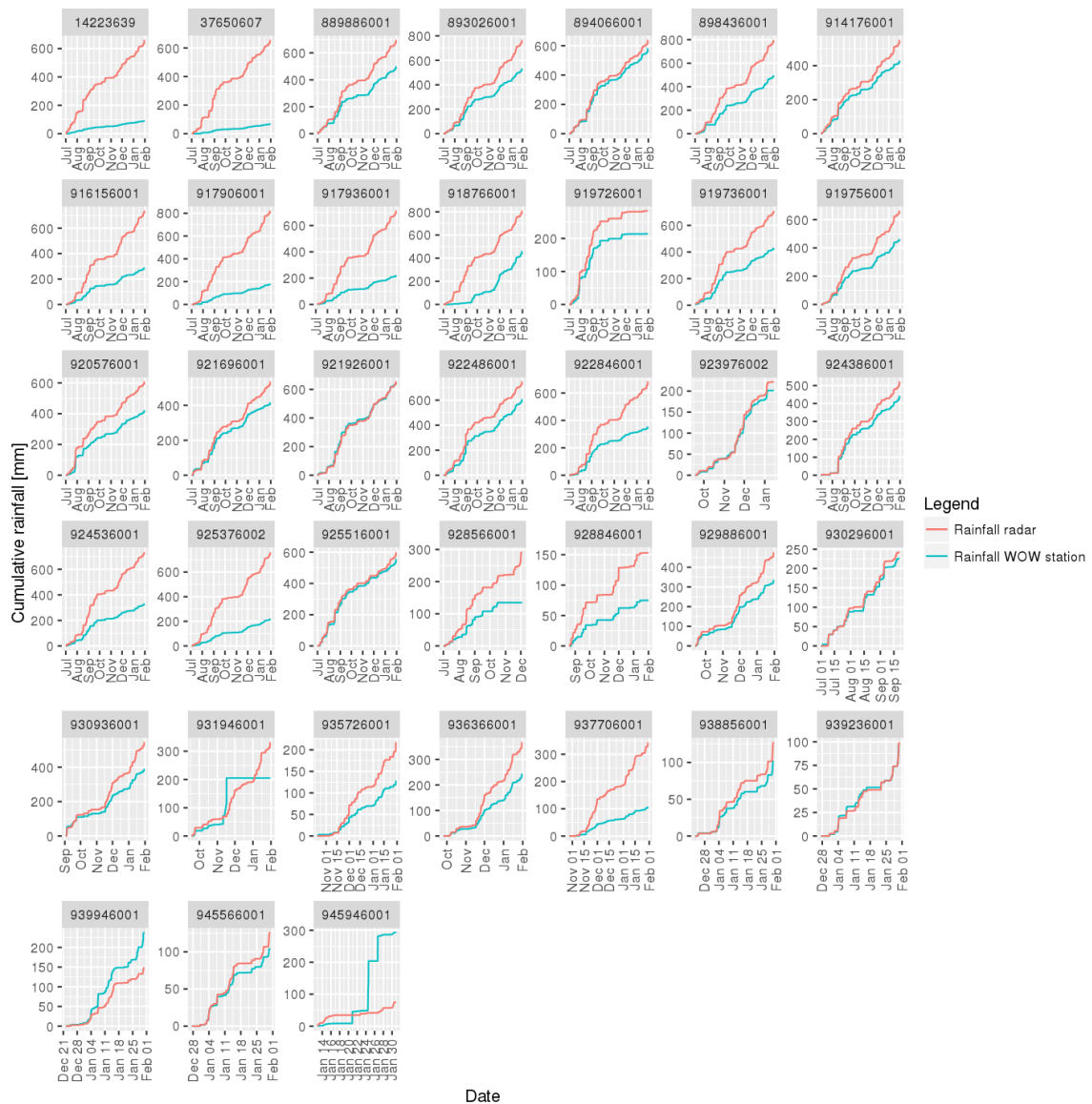
Figuur 18: Verschillen WOW - radar voor verschillende exposure klassen (klassen 1-5, waarbij klasse 1 staat voor “beschut, er bevinden zich obstakels binnen 1h” en klasse 5 voor “zeer open, er bevinden zich geen obstakels binnen minimaal 10h”. R staat voor “rooftop” en U voor “unknown”).

Figuur 19 laat een vergelijkbaar beeld zien voor het instrument type om neerslag te meten (ook uit WOW metadata). Alle klassen tonen vergelijkbare afwijkingen. Overigens is de classificering voor het instrument type afhankelijk van de exposureklasse (“situeringsklasse”), wat het moeilijk maakt om een onafhankelijke vergelijking te maken voor deze twee variabelen.



Figuur 19: Verschillen WOW - radar voor rainfall instrument types (klasse A-D, waarbij A staat voor “Handmatig af te lezen standaardregenmeter of geijkte regenmeter met kantelbakje, op standaardhoogte boven de grond (30 cm); minimale situeringsclassificatie locatie = 3” en D voor “Handmatig af te lezen niet-standaardregenmeter of regenmeter met kantelbakje; situeringsclassificatie locatie = 1 of minder.” U staat voor “unknown”)

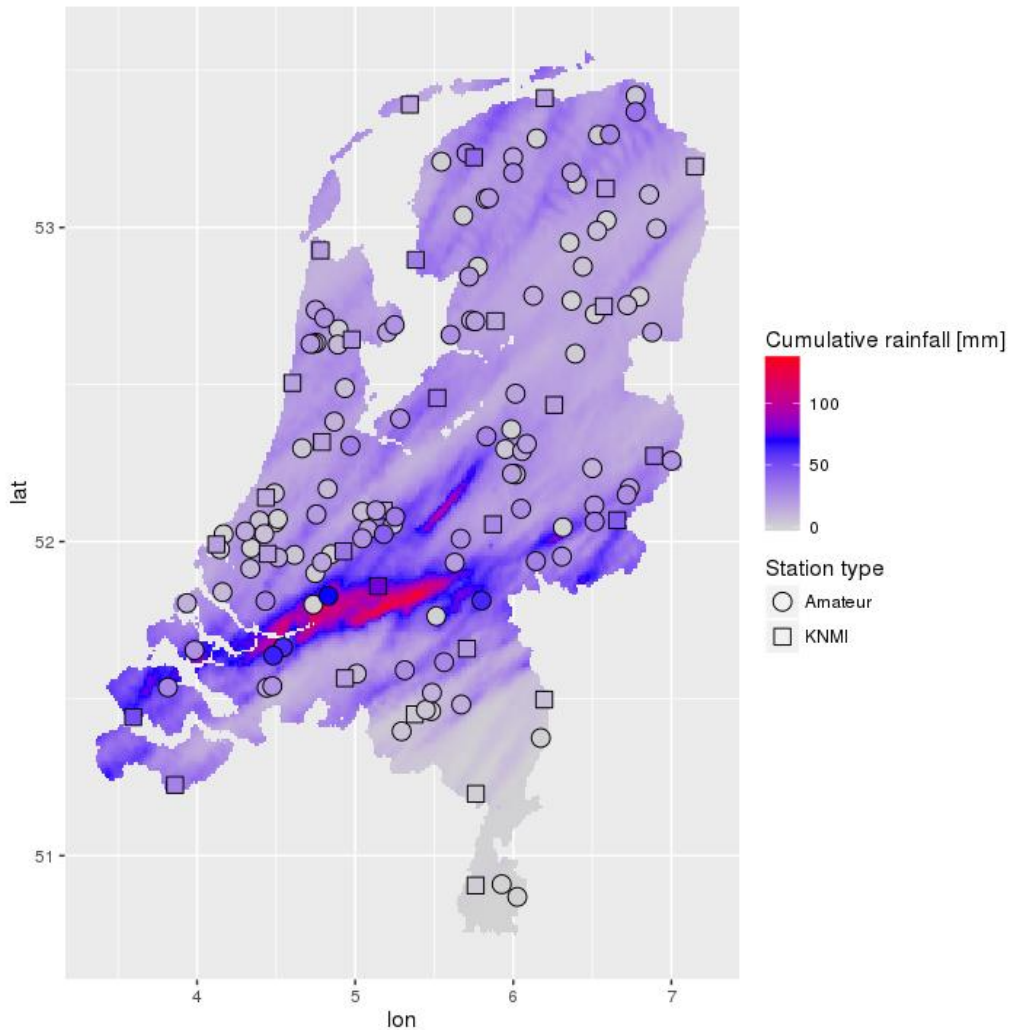
Figuur 20 toont de cumulatieve neerslag van alle WOW stations met exposure klasse 1. Klasse 1 is geselecteerd, omdat wordt verwacht dat de verschillen hier het grootst zijn. De cumulatieve neerslag is berekend over de gehele periode dat het weerstation actief was (max. juli '15 - februari '16). Te zien is dat de resultaten per station erg verschillen. Sommige stations, zoals 894066001 of 925516001, volgen de radar vrijwel perfect, maar een aantal stations registreert enkele honderden millimeters neerslag minder over een paar maanden.



Figuur 20: Cumulatieve neerslag voor alle stations met exposure klasse 1

De afwijkingen van de neerslagmetingen lijken dus niet zo goed te verklaren aan de hand van metadata. Zowel in de 'slechtere' als in de 'betere' klassen van exposure en instrument type zitten stations met grote en kleine afwijkingen. Het lijkt er dus op deze afwijkingen grotendeels niet worden bepaald door te beschutte opstelling of instrumenttype. Mogelijk speelt het (nalaten van) onderhoud en schoonmaken van de neerslagmeters een belangrijke rol of staan neerslagmeters in werkelijkheid anders opgesteld dan volgens de metadata.

Figuur 21 toont de 24-uursom van de neerslag op 30 augustus 2015, toen enkele zware buien over Nederland trokken. Hier is duidelijk te zien dat veel WOW stations veel minder neerslag registreerden dan de radar en dat de zwaarste neerslag in de band Dordrecht – Nijmegen door WOW nauwelijks is geregistreerd.



Figuur 21: 24-uurs cumulatieve neerslag op 30 augustus 2015, geregistreerd door de neerslagradar, WOW stations en KNMI stations.

4.3 Conclusies en aanbevelingen

De kwaliteit van de neerslagmetingen kan per station erg verschillen. Bovendien zitten er af en toe extreme uitschieters in de data. Deze uitschieters zijn er gemakkelijk uit te filteren, maar het zou wel goed zijn om te kunnen achterhalen waardoor dit soort uitschieters worden veroorzaakt. Als de oorzaak bij de software ligt, zou het namelijk kunnen dat er nog meer van dit soort onregelmatigheden optreden die minder opvallend zijn. Het zou goed zijn om ook in de metadata te registreren wat voor soort software er wordt gebruikt om te uploaden naar WOW.

De informatie over het gebruikte type neerslagmeter (instrument type) blijkt grotendeels afhankelijk van de exposureklasse. Doordat deze twee variabelen afhankelijk van elkaar zijn, is het moeilijk om een goede gevoeligheidsanalyse te doen. Het zou beter zijn als “instrument type” alleen iets zegt over de gebruikte neerslagmeter (bijvoorbeeld type, hoogte boven de grond, ijking) en “exposure” over de exposure.

De meeste stations meten duidelijk minder neerslag dan de radar. Dit kan veroorzaakt worden door een te beschutte opstelling, maar uit de metadata blijkt dat hiermee niet alle verschillen te verklaren zijn. Hetzelfde geldt voor instrumenttype. Mogelijk speelt het (nalaten van) onderhoud en schoonmaken van de neerslagmeters een belangrijke rol of staan neerslagmeters in werkelijkheid anders opgesteld dan volgens de

metadata. Er zijn echter ook stations bij die nauwelijks afwijken van de radar. De data van de betere stations zou bijvoorbeeld gebruikt kunnen worden voor verdere analyses over opgetreden extremen of voor(aanvullende) validatie van de radarwaarnemingen. Het zou goed zijn om eerst een soort snelle toets te doen of een stations realistische waarnemingen registreert (met behulp van radar). Vervolgens kunnen alleen de beste stations worden gebruikt en de slechtere worden weggelaten. In eventuele verbeteringen van het WOW portaal zou het dan ook nuttig zijn om cumulatieve neerslag (bijvoorbeeld over 24 uur) te kunnen inzien in plaats van enkel intensiteit. Dan kan er snel een vergelijking worden gemaakt met de waardes van de neerslagradar.

5 Wind

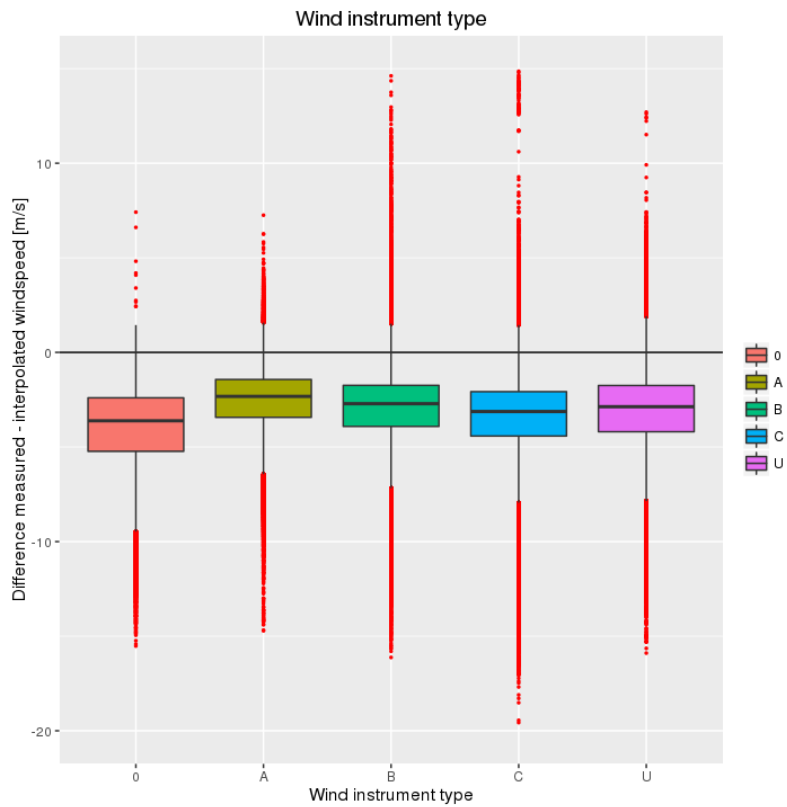
5.1 Algemeen

Voor analyse van de metingen van windsnelheid uit WOW is de focus gelegd op analyse van een bepaald event: de frontpassage op 29 november 2015. Hierbij is voor een drietal geselecteerde stations een vergelijking gemaakt met verwachtingen van het HARMONIE model. De stations zijn geselecteerd op basis van ligging.

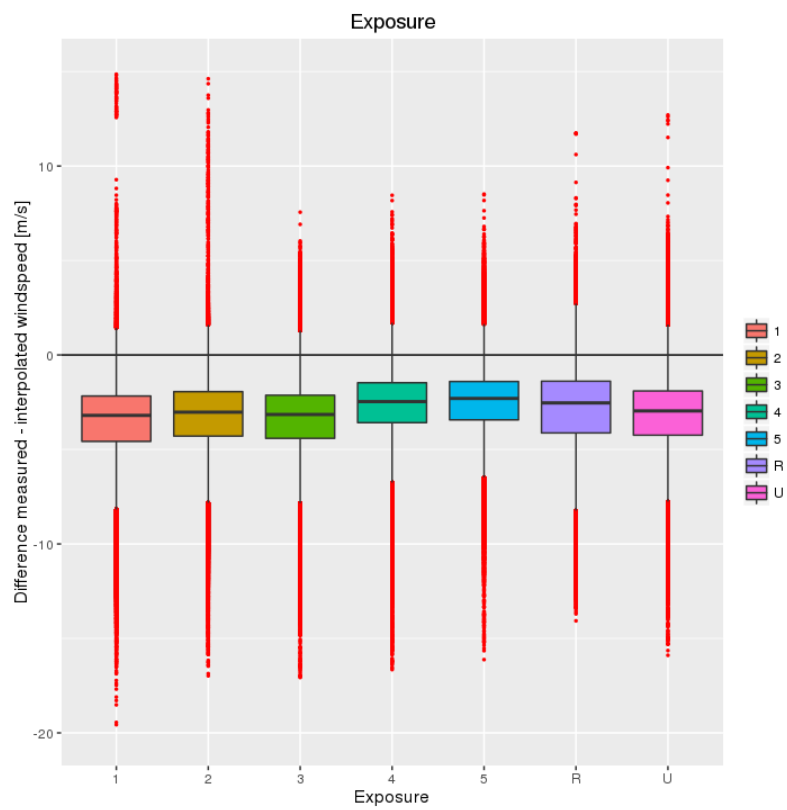
Ook is er gekeken naar de algemene kwaliteit van de windsnelheid metingen, op dezelfde manier als bij temperatuur. Ook hier is een (IDW) interpolatie gedaan met behulp van de metingen van KNMI stations. Vervolgens zijn de geïnterpoleerde waardes vergeleken met de gemeten waardes.

Figuur 22 geeft de verschillen tussen de geïnterpoleerde windsnelheden en gemeten windsnelheden door de WOW stations voor de verschillende klassen van wind instrument type. Het is duidelijk te zien dat een groot deel van de windsnelheden afkomstig van WOW stations lager zijn dan de geïnterpoleerde windsnelheden. De verschillen zijn het kleinst bij stations met wind instrument type A. Klasse A staat voor *“De windmeters zijn in de afgelopen 10 jaar geïjkt, zijn 10 m boven de grond bevestigd aan een paal of mast, en binnen een straal van 100 m bevinden zich geen obstakels.”* Stations met klasse 0 laten over het algemeen de grootste afwijkingen zijn. Klasse 0 staat voor *“Op deze locatie worden geen windmetingen gedaan”*, dus dat is opvallend. Dit zagen we eerder ook al bij de temperatuurwaarnemingen. In algemene zin lijkt van de afwijkingen redelijk te verklaren aan de hand van de wind instrument type klasse, maar ook bij de beste klasse zijn de windsnelheden uit WOW gemiddeld 2-3 m/s lager dan de geïnterpoleerde waarde. Ook hier geldt, net als bij neerslag, dat sommige stations consequent lagere windsnelheden registreren dan de geïnterpoleerde waarde. Voor verdere analyse dient het tot de aanbeveling om alleen de ‘betere’ stations te selecteren. Overigens is de wind instrument type klasse, net als bij neerslag, afhankelijk van de exposure klasse. Het dient tot de aanbeveling om deze klassen onafhankelijk van elkaar te definiëren.

Hetzelfde geldt voor de exposure (Figuur 23). De afwijkingen van de windmetingen zijn duidelijk kleiner voor klassen 4 en 5, maar niet alle verschillen zijn hiermee te verklaren.



Figuur 22: Verschillen in gemeten windsnelheid voor wind instrument type klassen

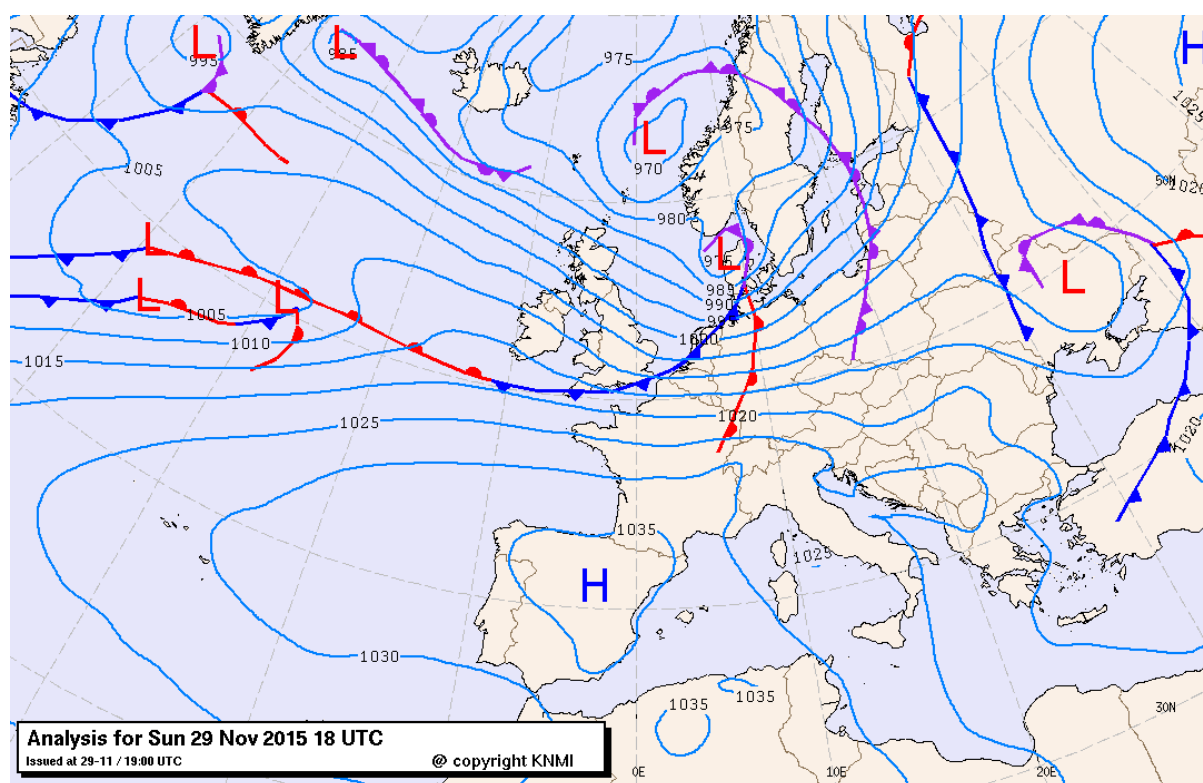


Figuur 23: Verschillen in gemeten windsnelheid voor exposure klassen

5.2 Case study 29 november

Op 29 november 2015 trok er een koufront over Nederland. Met name aan de kust ging dit gepaard met zware windstoten. Voor dit front zijn de metingen van een aantal WOW stations vergeleken met die van twee runs van het HARMONIE model. De HARMONIE runs bestaan uit een 12-uurs forecast; een run lopend vanaf 29-11-2015 15:00 en een vanaf 29-11-2015 18:00 (alle tijden in UTC). Hierbij is gekeken naar windsnelheid, windrichting en temperatuur. Voor de WOW stations zijn dat gemiddelden over 10 minuten, voor HARMONIE gemiddelden over 1 uur (tijdens de frontpassage 20 minuten). Er zijn HARMONIE runs gemaakt voor drie selecteerde locaties t.b.v. vergelijking met WOW. De WOW stations “Bonrepas”, “Odijk” en “Meteotoren” zijn hiervoor geselecteerd, i.v.m. hun vrije ligging en hoge klasse windinstrumenten. ‘Op het oog’ leken de windsnelheid metingen voor deze stations op 29 november enigszins correct. Als referentie zijn ook de metingen van het dichtstbijzijnde KNMI station (De Bilt, Cabauw en Hoek van Holland) getoond.

Op onderstaande figuur is te zien dat het front Nederland bereikt om ca. 18:00 uur (UTC).

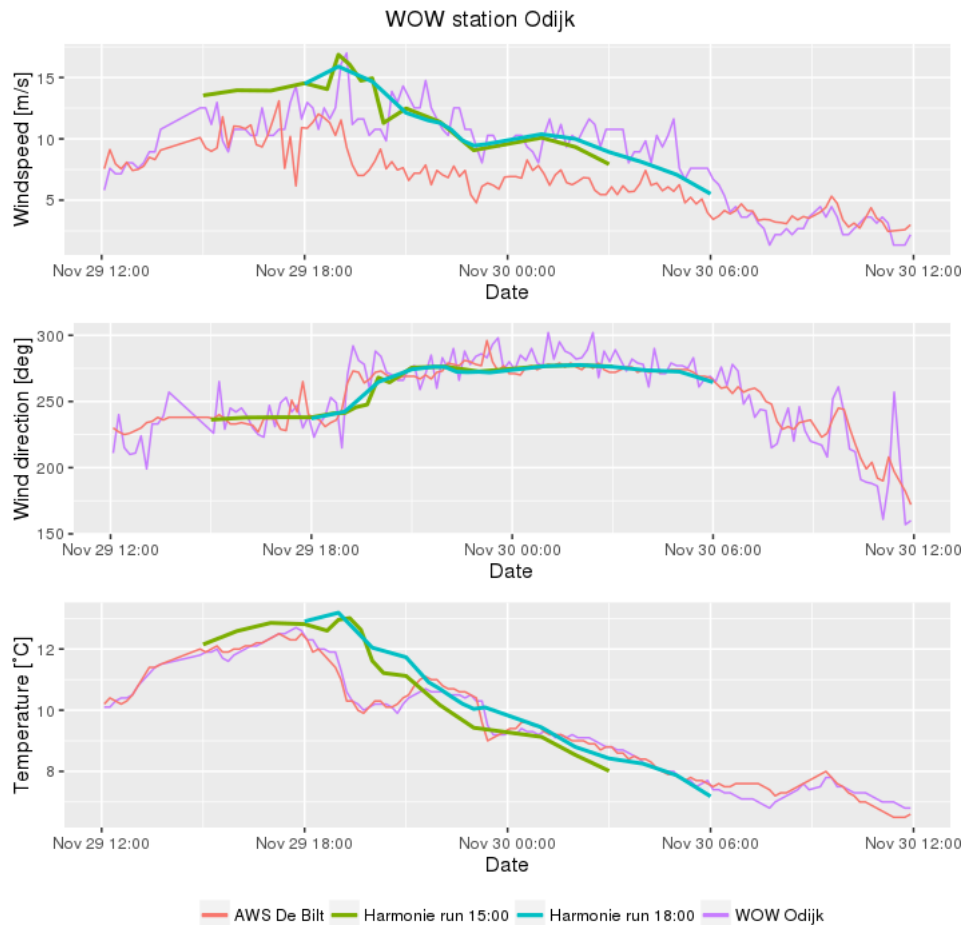


5.2.1 WOW station Odijk

Figuur 24 toont de metingen voor WOW station Odijk, ca. 6 km ten Zuidoosten van De Bilt. De HARMONIE output en de metingen van het WOW station komen behoorlijk overeen. Om ca. 19:00 is duidelijk te zien dat de windrichting plotseling verandert en de temperatuur daalt. Dit is het moment dat het front passeert. Zowel in de WOW metingen als in die van KNMI station De Bilt is dit duidelijk te zien. In de HARMONIE runs is dit minder duidelijk herkenbaar, mogelijk vanwege de grotere tijdstap van de modeloutput.

Na het passeren van het front is de windsnelheid in De Bilt ca. 5 m/s lager dan bij WOW station Odijk en

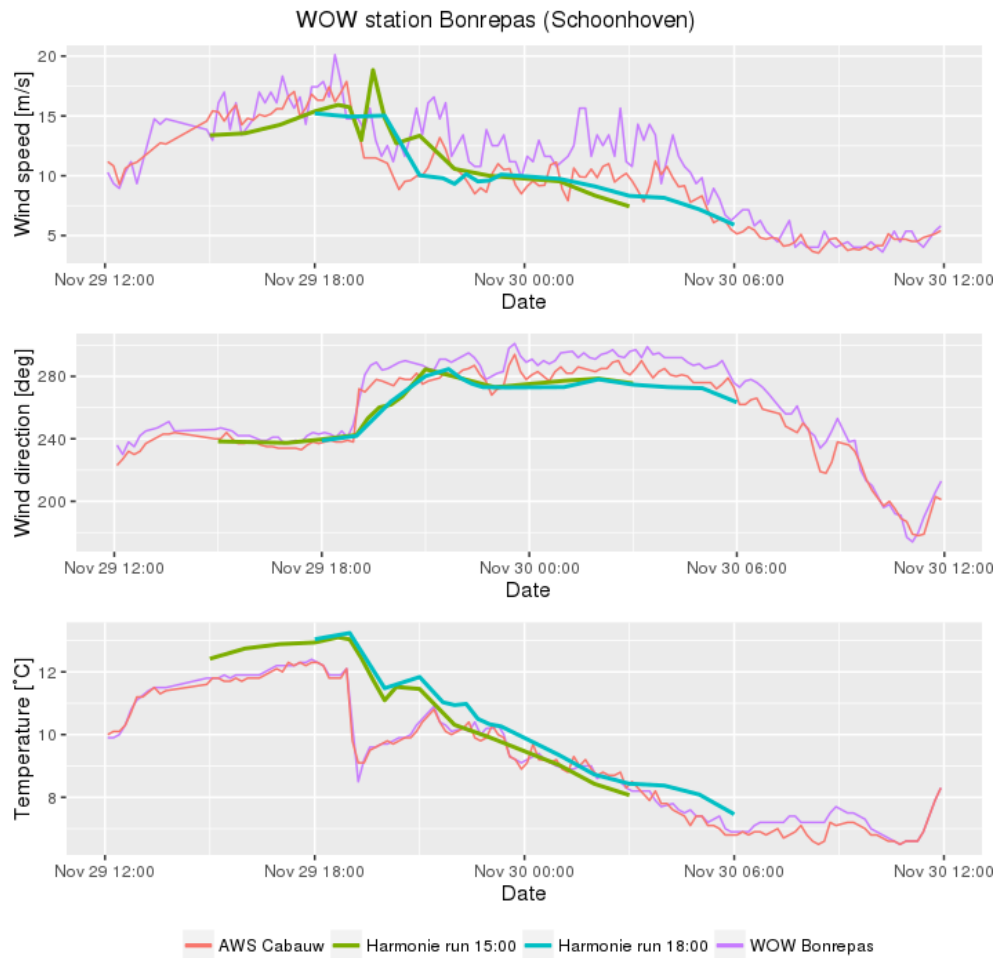
HARMONIE. Hier is goed de invloed van de stad Utrecht te zien op de gemeten windsnelheden in De Bilt, omdat de in De Bilt gemeten windsnelheden duidelijk lager zijn vanaf het moment dat de wind meer naar het westen draaide. Met meer zuidwesten wind (tussen 12:00 en 18:00 UTC) was dit verschil minder duidelijk aanwezig.



Figuur 25: Resultaten voor WOW station Odijk

5.2.2 WOW station Bonrepas (Schoonhoven)

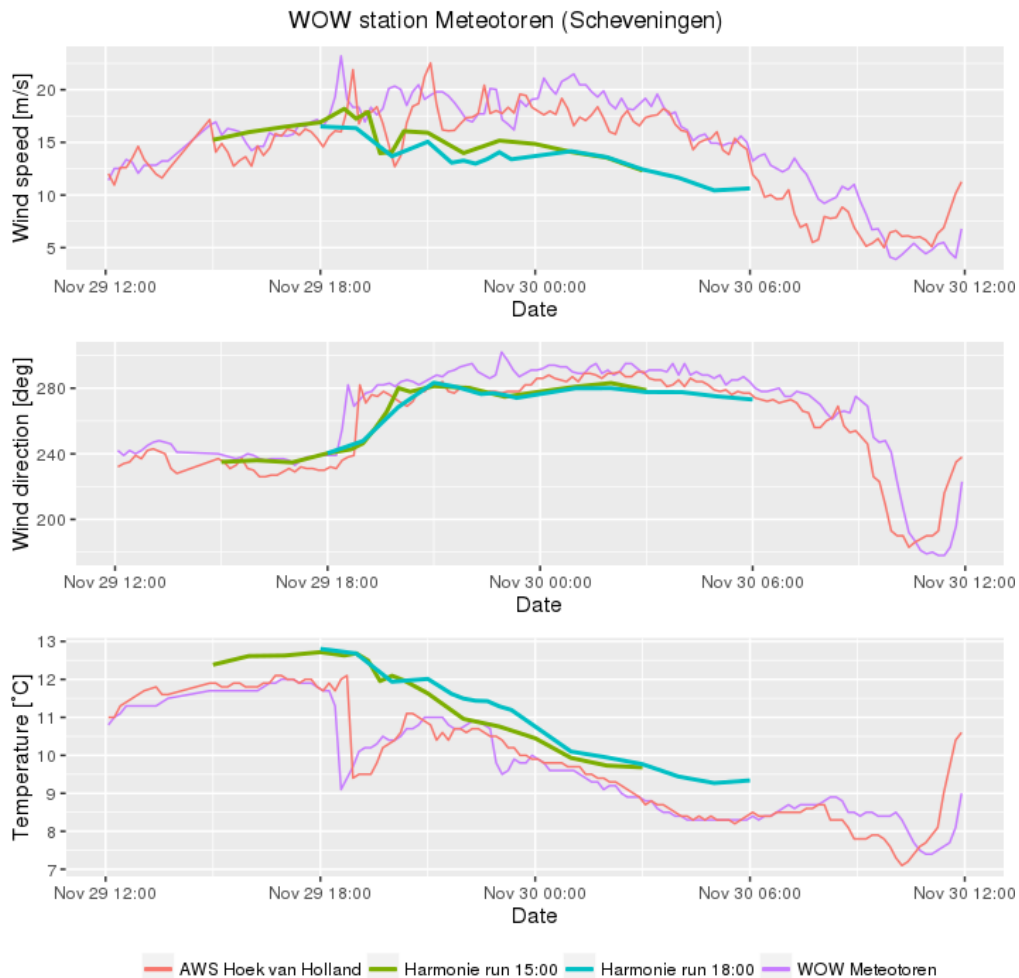
De metingen van WOW station Bonrepas en het KNMI station in Cabauw komen aan het begin van de storm goed overeen (Figuur 25) maar er is duidelijk te zien dat de storm na middernacht volgens de HARMONIE runs al afneemt, terwijl bij WOW station Bonrepas nog wel windsnelheden van ca. 15 m/s worden gemeten. Bij WOW station Bonrepas wordt iets waargenomen dat in de officiële metingen en in de HARMONIE output niet duidelijk aanwezig is. Mogelijk was hier een kleinschalig weersysteem actief. Hieruit blijkt de toegevoegde waarde van de hogere resolutie van het meetnet die WOW biedt. Ook hier is duidelijk te zien op welk moment het front passeert, zowel bij WOW Bonrepas als bij Cabauw.



Figuur 26: Resultaten voor WOW station Bonrepas

5.2.3 WOW station Meteotoren (Scheveningen)

WOW station Meteotoren (Figuur 26) ligt langs de kust bij Scheveningen op een toren (hoogte ca. 40 m). Hier worden duidelijk hogere windsnelheden gemeten dan volgens HARMONIE. Waarschijnlijk speelt de hoogte van het station hierbij een rol. De metingen komen wel goed overeen met die van KNMI station Hoek van Holland. Bij beide is duidelijk het moment te herkennen waarop het front passeert.



Figuur 27: Resultaten voor WOW station Meteotoren

5.3 Conclusies en aanbevelingen

De metingen van de drie geselecteerde WOW stations komen redelijk tot goed overeen met de output van het HARMONIE model en de metingen van het dichtstbijzijnde KNMI station. Deze stations zijn geselecteerd op basis van de metadata en op basis van of de meetgegevens op het oog enigszins correct leken. Uit de resultaten blijkt wel dat WOW stations op bepaalde momenten hogere windsnelheden waarnamen dan het dichtstbijzijnde KNMI station of HARMONIE. Hieruit kan blijken dat locaties van KNMI stations soms niet ideaal lijken (zoals bij De Bilt vs. Odiijk) of dat er kleinschalige weersystemen actief zijn die wel zichtbaar zijn in WOW, maar niet in de officiële waarnemingen, zoals bij Bonrepas.

Voor wind geldt, net als voor neerslag, dat veel stations te lage waarden geven. Ook hier zou het goed zijn om toetscriteria op te stellen aan de hand van de data waaraan stations moeten voldoen alvorens de data verder te gebruiken. De metadata geven hier onvoldoende inzicht in de oorzaak van de verschillen. Daarnaast dient het tot de aanbeveling om de metadata klassen voor wind instrument type en exposure onafhankelijk van elkaar te definiëren.

Daarnaast blijkt na overleg met de meteorologen uit de weerkamer bij extreme events met name de maximale windstoot interessant te zijn. Via WOW wordt nu alleen een 10-minuten gemiddelde windsnelheid

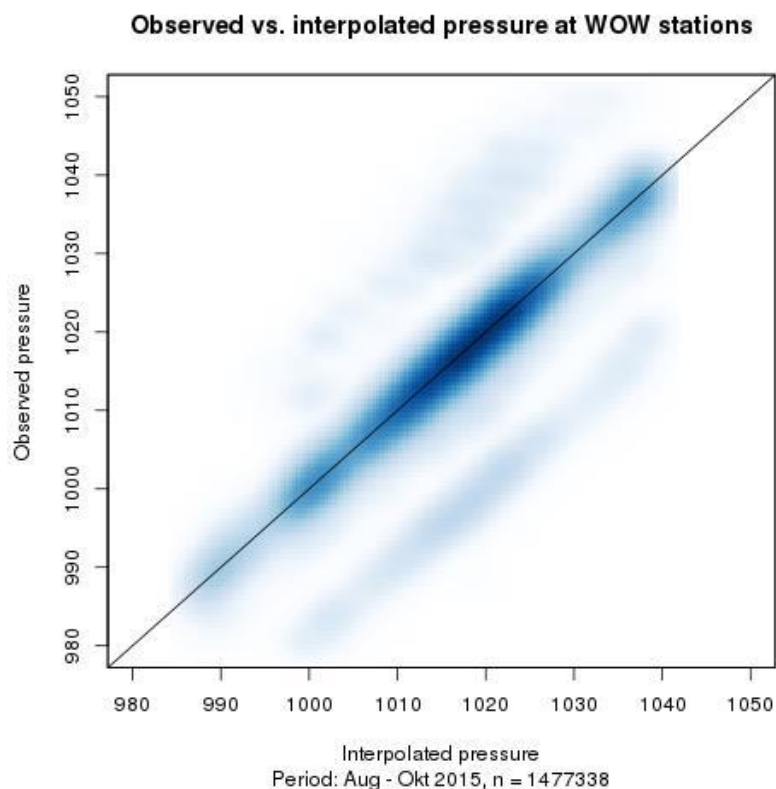
geregistreerd. Bij volgende versies van WOW zou het goed zijn om ook andere windkarakteristieken op te nemen, voor zover amateurstations deze registreren.

6 Overige variabelen

De variabelen luchtdruk en luchtvochtigheid worden ook via WOW ontsloten, maar hebben in deze analyse weinig of geen aandacht gekregen. Naar de kwaliteit van de luchtdrukmetingen is wel kort gekeken, op zelfde manier als bij temperatuur is hiervoor een interpolatie gemaakt van de officiële KNMI metingen. Over het algemeen vertonen de metingen geen grote afwijkingen (zie Figuur 29), maar het komt wel voor dat stations systematisch enkele hPa afwijken. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt doordat de luchtdruk afhankelijk is van de hoogte waarop het station zich bevindt. Alle luchtdrukmetingen in WOW zouden in principe gecorrigeerd moeten zijn naar MSL (Mean Sea Level), maar dit vereist enige aandacht in het correct invullen van de metadata. Het is zowel mogelijk om "MSL pressure (MSLP)" te uploaden als lokale luchtdruk. WOW converteert dan zelf naar MSLP aan de hand van de ingevoerde hoogte. In de praktijk blijkt dit niet altijd goed te gaan, waarschijnlijk door verkeerde instellingen.

Overigens is het redelijk eenvoudig om de systematische fout voor verschillende stations te bepalen op een dag dat de luchtdruk in Nederland gelijkmatig verdeeld is. De stations die dan afwijken zijn niet goed ingesteld en de fout is dan bekend. Vervolgens kunnen de overige metingen van deze stations lineair gecorrigeerd worden.

Aan luchtvochtigheid is nog geen aandacht besteed. Jenkins (2014) onderzocht de kwaliteit van o.a. luchtvochtigheidsmetingen voor twee veelgebruikte weerstations. Daaruit bleek dat de metingen 's nachts goed overeenkomen, maar dat er grote verschillen optreden onder invloed van zonnestraling.



Figuur 29: Waargenomen vs. geïnterpoleerde luchtdruk (hPa). De twee banden op +/- 20 hPa van de middellijn tonen de resultaten van twee stations waarbij ten onrechte wordt uitgegaan van MSLP

7 Referenties

Artificial Neural Networks (2016), Wikipedia. Retrieved in May 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network

Bell, S. J. (2014). Quantifying Uncertainty in Citizen Weather Data, PhD Thesis, Aston University.

Coefficient of determination (2016), Wikipedia. Retrieved in May 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_determination

Jenkins, G. (2014). A comparison between two types of widely used weather stations. *Weather* Volume 69, No. 4, April 2014, p105-110.

Jenkins, G. (2015). Simple investigations of local microclimates using an affordable USB temperature logger. *Weather* Volume 70, no. 3, March 2015, p85–88.

Lu, G. Y., & Wong, D. W. (2008). An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, Volume 34, Issue 9, p1044-1055.

Merkus, T (2016). MSc Thesis: Integrating formal and informal data (in progress)

Random Forest (2016), Wikipedia. Retrieved in May 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Random_forest

Siegmund, P. (2015). Plan van aanpak Evaluatie WOW-NL