

CS-MASK Project

Crowd-Sourced data for atmospheric Modelling At Sub-Kilometric scale

BRAIN-be 2.0 — Belgisch Wetenschapsbeleid (BELSPO)

Koninklijk Meteorologisch Instituut van België (KMI)

Context, Doelstellingen en Methodologie

Sub-kilometrische numerieke weersvoorspelling (NWP) laat toe om stedelijke morfologie, parkkoeling en zeebriesdynamiek expliciet te modelleren — effecten die op grovere resoluties onzichtbaar blijven. Het KMI beheert één van de meest geavanceerde operationele NWP-systemen van Europa (AROME op 1,3 km), maar WMO-conforme synoptische stations op open, landelijke locaties zijn niet ontworpen om modellen op sub-kilometrische schaal te evalueren. Niet-traditionele, "crowdsourced" (CS) waarnemingen — persoonlijke weerstations (PWS), burgerwetenschapsnetwerken en IoT-sensoren — bieden hoge ruimtelijke dichtheid in precies de stedelijke omgevingen die synoptische netwerken vermijden, maar vereisen een robuuste geautomatiseerde kwaliteitscontrole (QC) voor wetenschappelijk gebruik.

Het CS-MASK project werd uitgevoerd als een vierjarig doctoraatstraject voor Thomas Vergauwen (KMI / Universiteit Gent), gefinancierd door BELSPO in het kader van BRAIN-be 2.0. Drie werkpakketten werden gedefinieerd: (WP1) opbouw en QC van een CS-databank voor België (augustus 2020); (WP2) hectometrische AROME-SURFEX runs op 700 m en 1400 m; en (WP3) evaluatie van de modelruns ten opzichte van de kwaliteitsgecontroleerde waarnemingen. Na de lancering van het Europese Destination Earth (DestinE) initiatief — dat reeds pan-Europese hectometrische NWP nastreeft — werden de middelen strategisch omgeleid naar QC-innovatie, open-source tooling (MetObs-toolkit) en een nieuw verificatiekader voor dichte, heterogene waarnemingsnetwerken.

Observationele dataset. Tien netwerken werden samengesteld voor België voor augustus 2020, gekozen omwille van zijn meteorologische rijkdom: een 12-daagse hittegolf, intense nachtelijke stedelijke warmte-eilanden (UHI), zeebrieseverschijnselen en convectieve buien. De dataset combineert 29 WMO-synoptische stations met ~4 600 niet-traditionele stations, regionale monitoringnetwerken (~250) en Netatmo PWS (~4000). De Local Climate Zones (LCZ) per station werden bepaald om de lokale omgeving te categoriseren.

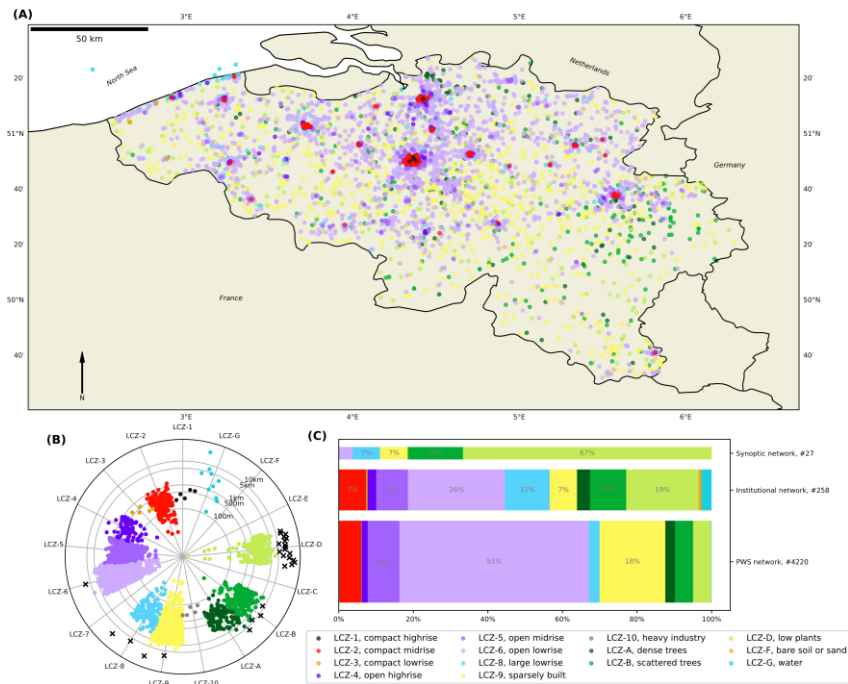


Figure 1: Ruimtelijke verdeling van alle stations met LCZ-classificatie; radarplot van de LCZ-diversiteit per netgroep

Kwaliteitscontrole. Twee innovaties werden gebouwd bovenop traditionele kwaliteitscontrole-algoritmen: (1) *Priority groups* worden gebruikt om de kwaliteitscontrole iteratief uit te voeren; hogere-prioriteit waarnemingen (synoptisch, daarna monitoringnetwerken) vormen zo niet-afwijsbare "gatekeeper"-achtergrond die verhindert dat biases de QC-statistieken voor lagere-prioriteit data corrumperen. (2) *LCZ-veiligheidsnetten* herbeoordelen observaties die afwijken van naburige observaties, maar die wel waarschijnlijk zijn wanneer het effect van de lokale omgeving in rekening wordt gebracht.

Hectometrische NWP. Voor het eerst werd AROME-SURFEX op 700 m uitgevoerd boven België, voor augustus 2020 met het Town Energy Balance (TEB) schema actief voor stedelijke omgevingen.

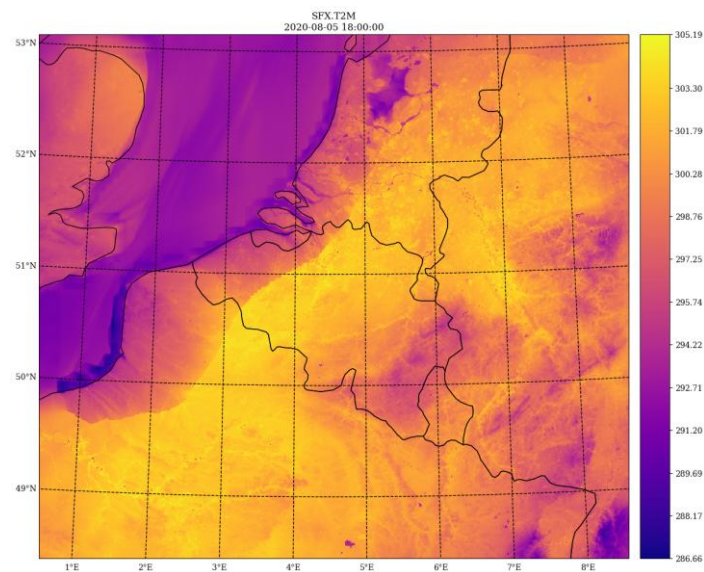


Figure 2: 2 m temperatuurveld op 18 UTC op 5 augustus 2020 van de 700 m AROME-SURFEX run, met het zeebrieffront

Verificatie. Naast standaard foutscores (bias, RMSE, MAE) toegepast op synoptische en niet-traditionele waarnemingen, werd een nieuwe *steekproefgebaseerde score* (Z^2_{SBS}) ontwikkeld voor het many-to-one verificatieregime — waarbij meerdere waarnemingen vallen binnen één modelrasterpunt — een situatie die de norm wordt bij gebruik van crowdsourced observaties en persoonlijke weerstations.

MetObs-toolkit. Een open-source Python-pakket dat de volledige workflow dekt van ruwe, heterogene data-invoer tot analyserijke uitvoer: synchronisatie, geautomatiseerde QC, vullen van gaten, aanvullen van metadata en analyse-hulpmiddelen met Google Earth Engine-integratie.

Resultaten, Conclusies en Aanbevelingen

Kwaliteitscontrole. De verbeterde pipeline heeft een vergelijkbaar totaal aantal afwijzingen als de conventionele aanpak, maar de kwaliteit van de bewaarde dataset is beduidend beter. Twee kerninzichten vloeien voort uit de casestudy. Ten eerste is de nieuwe pipeline bewust conservatiever in het afwijzen van waarnemingen: elke afwijzing door de nieuwe pipeline wordt ook door de conventionele gemaakt, maar niet omgekeerd. Ten tweede is de meerwaarde sterk afhankelijk van de observatiedichtheid. In regio's met lage stationsdichtheid, zoals Mechelen, produceert de nieuwe pipeline een aanzienlijk sterkere nachtelijke UHI-intensiteit (4,5°C versus 3°C bij de conventionele aanpak) en een duidelijkere stratificatie per LCZ-klasse. Stations in unieke micro-omgevingen — zoals een park (LCZ-B), een schoolgroenzone (LCZ-6) en een compact stadscentrum (LCZ-2) — worden correct behouden in plaats van onterecht afgewezen, wat leidt tot scherpere ruimtelijke temperatuurgradiënten. In regio's met hoge stationsdichtheid, zoals Antwerpen, zijn er geen significante verschillen in de temporele evolutie of de diurnale UHI-cyclus per LCZ-klasse: de nieuwe pipeline schaadt de prestaties niet waar de conventionele QC reeds goed werkt.

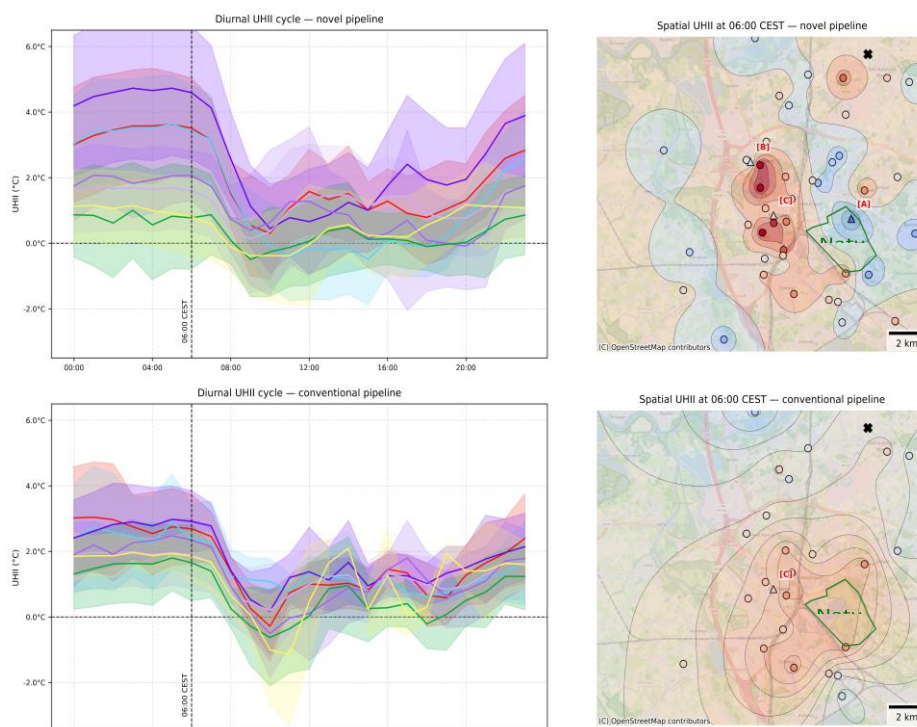


Figure 3: Diurnale UHI-intensiteit per LCZ-klasse voor Mechelen (hittegolf 5–16 augustus 2020), vergelijking verbeterde (boven) vs. conventionele QC-pipeline (onder); ruimtelijke Kriging-interpolatie van gemiddelde nachtelijke UHI-intensiteit op 06:00 UTC, toont een realistischer beeld met sterkere gradiënten

Hectometrische NWP. Het 700 m experiment bevestigde de technische haalbaarheid van hectometrische NWP boven België, met UHI-intensiteitskaarten voor Belgische steden en representatie van zeebries- en convectieve regenbuien. Een systematische warme bias werd vastgesteld voor bijna alle synoptische stations, wat aantoonde dat sub-kilometrische NWP zorgvuldige modelafstemming vereist. De bijdrage van CS-MASK aan hectometrische NWP geldt als een Belgische demonstratiestudie die als basis dient voor toekomstige DestinE-bijdragen.

Verificatie met niet-traditionele waarnemingen. Het opnemen van CS-waarnemingen verhoogt de verificatiedekking met meer dan een orde van grootte. LCZ-gestratificeerde verificatie van de 700 m-voorspelling toont dat de nachtelijke temperatuurstratificatie per LCZ-klasse correct wordt gereproduceerd — stedelijke klassen zijn warmer dan landelijke klassen, met intensiteiten die overeenkomen met de waarnemingen — wat duidt op een adequate gemiddelde werking van het TEB-schema.

Steekproefgebaseerde verificatiescores. In het many-to-one regime vertonen RMSE en MAE drie systematische problemen: dubbele telling van rasterpunten, autocorrelatie tussen fouttermen en niet-verrekenende subrastervariabiliteit, waardoor ze misleidend worden bij hoge observatiedichtheid. De Z^2 _SBS-score vermijdt deze problemen door per rasterpunt te testen of de voorspelwaarde consistent is met de waargenomen subrasterverdeling. In een perfect-model experiment met kunstmatige voorspellingen op 2–7,5 km-resolutie blijft Z^2 _SBS informatief in alle regimes, terwijl foutcores bij hoge observatiedichtheden oninterpreteerbaar worden.

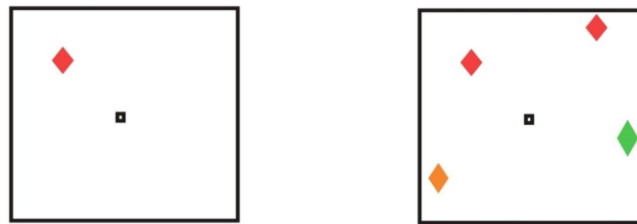


Figure 4: Illustratie één-op-één vs. many-to-one verificatieregime; RMSE, MAE en Z^2 _SBS als functie van voorspellingsresolutie en observatiedichtheid.

MetObs-toolkit. Gepubliceerd in het *Journal of Open Source Software* (Vergauwen et al., 2024), overgenomen door groepen in heel Europa en gebruikt als praktisch kader op de COST FAIRNESS zomerschool (Gent, 2023). De toolkit vormt ook de basis voor een QC-hoofdstuk in het *Springer handboek over Micrometeorological Measurements* (2026).



Figure 5: Logo MetObs-Toolkit

Aanbevelingen.

1. Integreer de prioriteitsgroep- en LCZ-veiligheidsnetinnovaties in de QC-algoritmen wanneer lokale effecten van het landgebruik van belang zijn, en wanneer crowdsourced of PWS-observaties gebruikt worden.

2. Gebruik Z^2 _SBS bij de verificatie wanneer de observationele dichtheid beduidend groter is dan de ruimtelijke resolutie van het model.
3. Benut de CS-MASK demonstratiestudie en het verificatiekader voor de bijdrage van het KMI aan DestinE.
4. Blijf de MetObs-toolkit onderhouden als gedeelde Europese infrastructuur voor niet-traditionele meteorologische waarnemingen. Nieuwe innovaties met betrekking tot QC en het vullen van gaten kunnen via de MetObs-toolkit snel tot internationale toepassingen komen.

Trefwoorden: crowdsourced waarnemingen · kwaliteitscontrole · hectometrische NWP · stedelijk warmte-eiland · modelverificatie