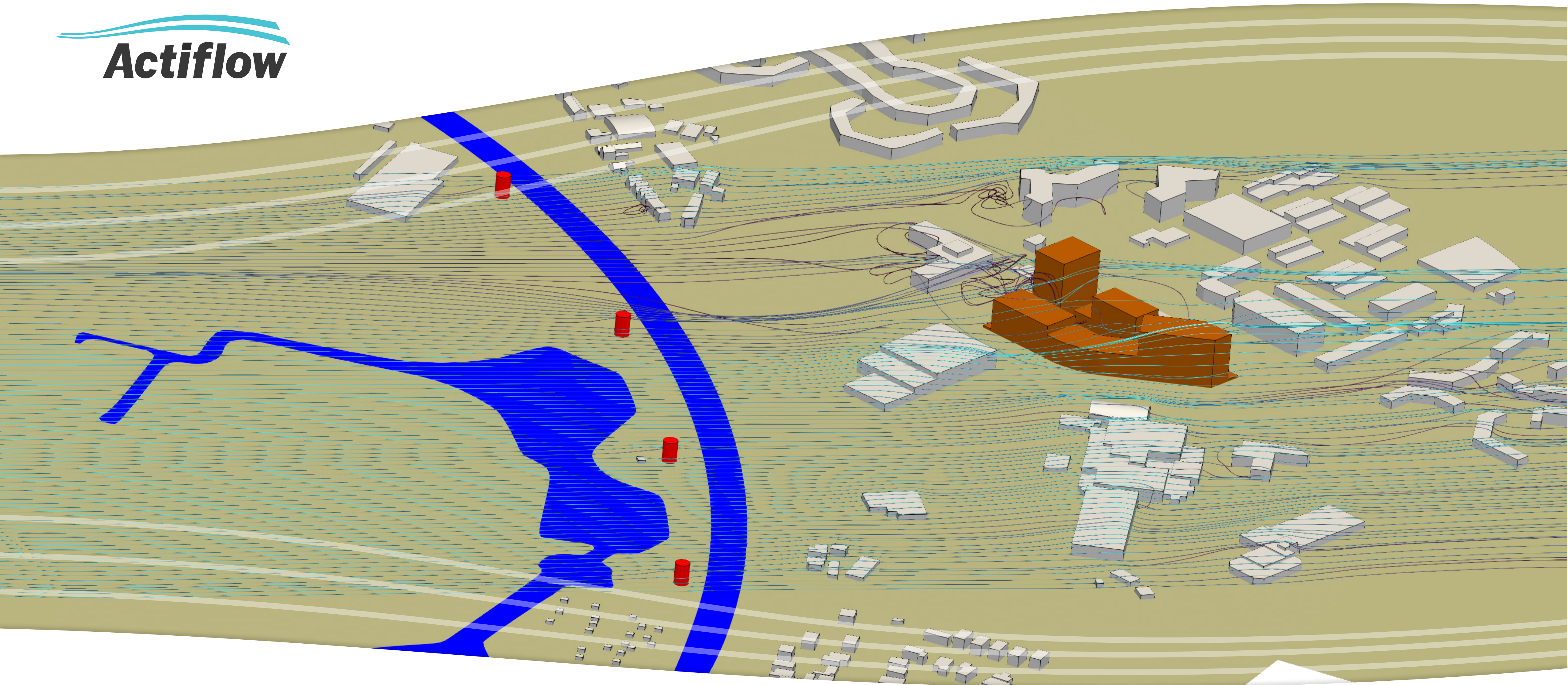




Inhoudsopgave

- 1 Introductie
- 2 Opzet van de berekening
 - 2.1 Software
 - 2.2 Geometrie en rekenrooster
 - 2.3 Aannames en randvoorwaarden
- 3 Resultaten
- 4 Conclusies
- A Bijlage

1 Introductie

Men is voornemens te Alkmaar nieuwbouw te ontwikkelen op de PostNL Locatie. Voorliggende rapportage omschrijft een windstudie gericht op de molenbiotopen van de nabijgelegen molens, uitgevoerd door [Actiflow](#) in opdracht van VenhoevenCS in relatie tot de ontwikkeling van deze nieuwbouw.

Het nieuwe gebouw bestaat uit enkele volumes en heeft een maximale hoogte van ongeveer 44 m. Op een afstand van ongeveer 220 m tot 450 m van het nieuwe gebouw zijn vier historische windmolens gelegen langs de Hoornsevaart. De toevoeging van de nieuwbouw kan een verandering in het lokale windklimaat veroorzaken, welke op zijn beurt de werking van de oude windmolens kan beïnvloeden.

Om dit inzichtelijk te maken is [Actiflow](#) gevraagd een windstudie uit te voeren, welke in onderhavige rapportage wordt gepresenteerd. Het doel van deze studie is om de potentiële vermindering (of vergroting) van de operationele tijd voor elke windmolen als gevolg van de aanwezigheid van het nieuwe gebouw te kwantificeren.

Voorliggende rapportage geeft dan ook informatie betreffende de wijzigingen in de windvang van de nabijgelegen windmolens bij toevoeging van de nieuwbouw. De resultaten zijn hierbij vergeleken tussen de bestaande en de toekomstige situatie.

Door [Actiflow](#) zijn met betrekking tot dit project reeds simulaties uitgevoerd (rapport AFR - 4801 d.d. 21-09-2018). De studie die nu gepresenteerd wordt betreft een ander gewijzigd bouwvolume, waardoor het gebouw nu zal worden benoemd als toekomstige situatie v2.

Deze studie is uitgevoerd met behulp van berekeningen op basis van Computational Fluid Dynamics (CFD). Het windklimaat van de nieuwe situatie is gesimuleerd voor 12 verschillende windrichtingen en vergeleken met gelijkwaardige simulaties voor de huidige situatie. Door de windstroompatronen met de lokale wind statistieken voor Alkmaar te combineren, is het mogelijk om de jaarlijkse operationele tijd voor elke windmolen te berekenen.

De gebruikte geometrie van het gebouw, de omgeving, het rekendomein en de bijbehorende randvoorwaarden zijn weergegeven in hoofdstuk 2. De resultaten van de berekeningen worden besproken in hoofdstuk 3, waarna de conclusies volgen in hoofdstuk 4.

2 Opzet van de berekening

2.1 Software

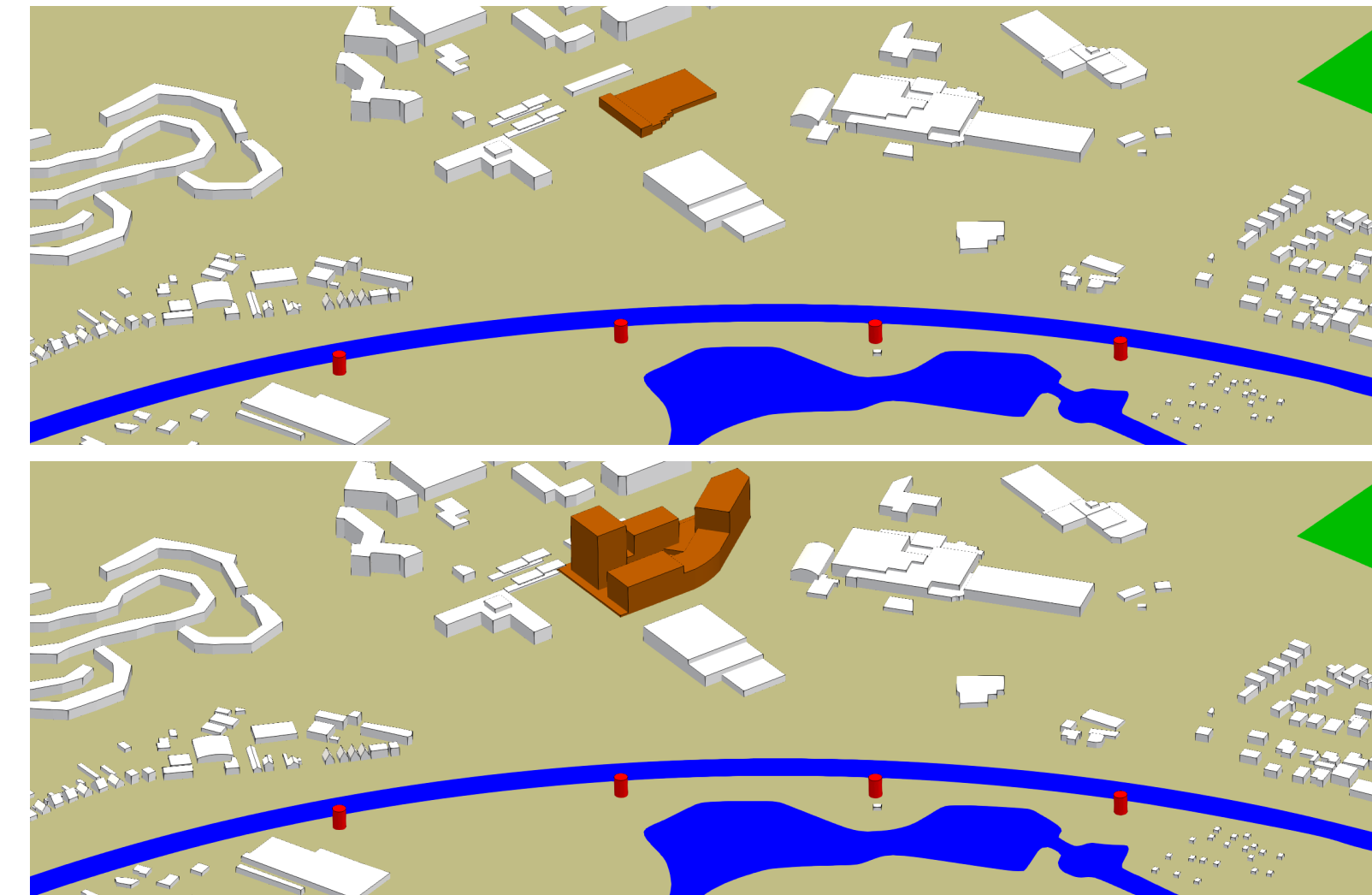
De berekening is uitgevoerd met behulp van OpenFOAM v1812, een softwarepakket dat bedoeld is voor het oplossen van problemen in de continuüm mechanica en thermodynamica. Voor dit project is "simpleFoam" gebruikt. Deze solver is gebaseerd op de incompressibele Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) vergelijkingen en houdt rekening met turbulentie. Turbulentie is gemodelleerd gebruik makend van het k- ω SST model.

2.2 Geometrie en rekenrooster

De geometrie van de modellen (bestaande en toekomstige situatie v2) zijn gebaseerd op de verkregen tekeningen en modellen van de opdrachtgever. De 3D-modellen zijn weergegeven in figuur 3.1. De modellen omvatten alle gebouwen binnen een straal van ruim 300 meter rond de nieuwbouw en de molens.

De omliggende bebouwing is als eenvoudige massa's weergegeven. Rond dit gebied is een cilindervormig domein geplaatst met een doorsnede van 3000 m en een hoogte van 500 m. Het plangebied is centraal in dit domein geplaatst, zodat hier verschillende windrichtingen op kunnen worden toegepast zonder dat het voor- of achtergebied te klein wordt. De ruwheid van het voorland is afgestemd op de werkelijke situatie.

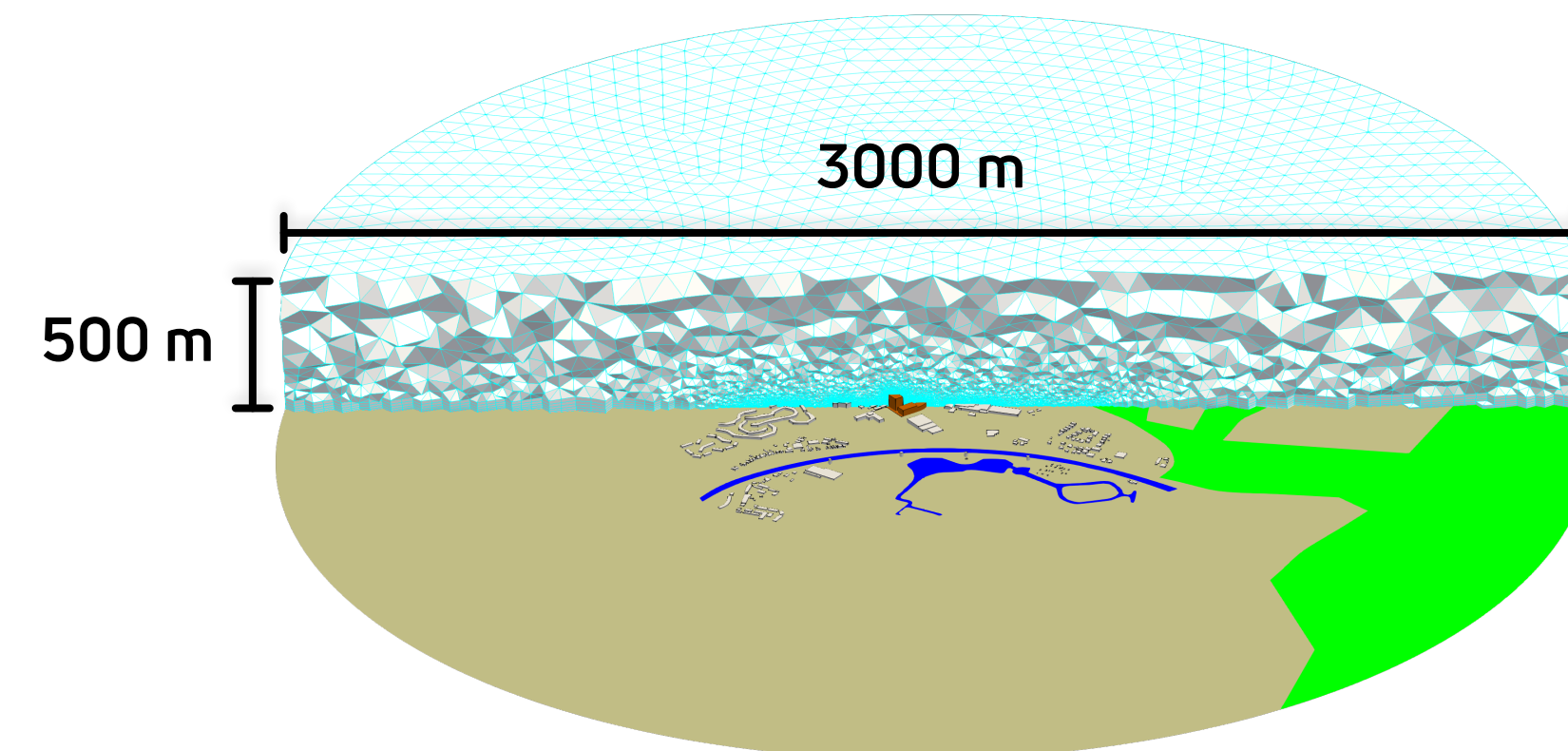
Het luchtvolume in de hierboven omschreven geometrie is vervolgens opgedeeld in een groot aantal kleine volumecellen. Deze cellen tezamen vormen het rekenrooster. Dit rooster bestaat uit 12 025 663 cellen voor de bestaande situatie en 14 897 542 voor de toekomstige situatie v2 (figuur 3.2). Over het grondoppervlak en de bebouwing zijn vijf lagen prisma's geplaatst. Deze prismalaag zorgt voor een betere berekening van de snelheidsgradiënt in de atmosferische grenslaag.



Figuur 3.1:
Impressie van het model

(a)
Bestaande situatie

(b)
Toekomstige situatie v2



Figuur 3.2:
Impressie rekengrid-
Toekomstige situatie v2

2.3 Aannames en randvoorwaarden

Om inzicht te krijgen in het windklimaat is de gehele windroos doorgerekend, te weten 12 windrichtingen. Er is aangenomen dat de atmosferische grenslaag een snelheidsprofiel heeft volgens vergelijking 3.1 en 3.2. Hierin is U_n de horizontale windsnelheid, z de hoogte vanaf het maaiveld, en z_0 een ruwheidslengte. De ruwheidslengte is een maat voor de ruwheid van het terrein. Verder geldt dat $\kappa = 0,41$. Deze empirische constante is gerelateerd aan het gebruik van wandfuncties.

Ook de turbulente grootheden k en ω verlopen volgens een voorgeschreven profiel, zoals aangegeven in vergelijking 3.3 en vergelijking 3.4. Hierin heeft C_μ de waarde 0,09. Deze empirische constante komt voort uit het gebruikte turbulente model (k - ω SST).

Voor de berekeningen is een windsnelheid van 5 m/s op een hoogte van 60 m opgegeven. Hierbij is een atmosferisch grenslaagprofiel toegepast. Voor de 12 windrichtingen die in beschouwing zijn genomen wordt een resulterend snelheidsveld bepaald. Hiermee is voor elke locatie per windrichting de versterkingsfactor ten opzichte van de opgelegde windsnelheid vastgelegd.

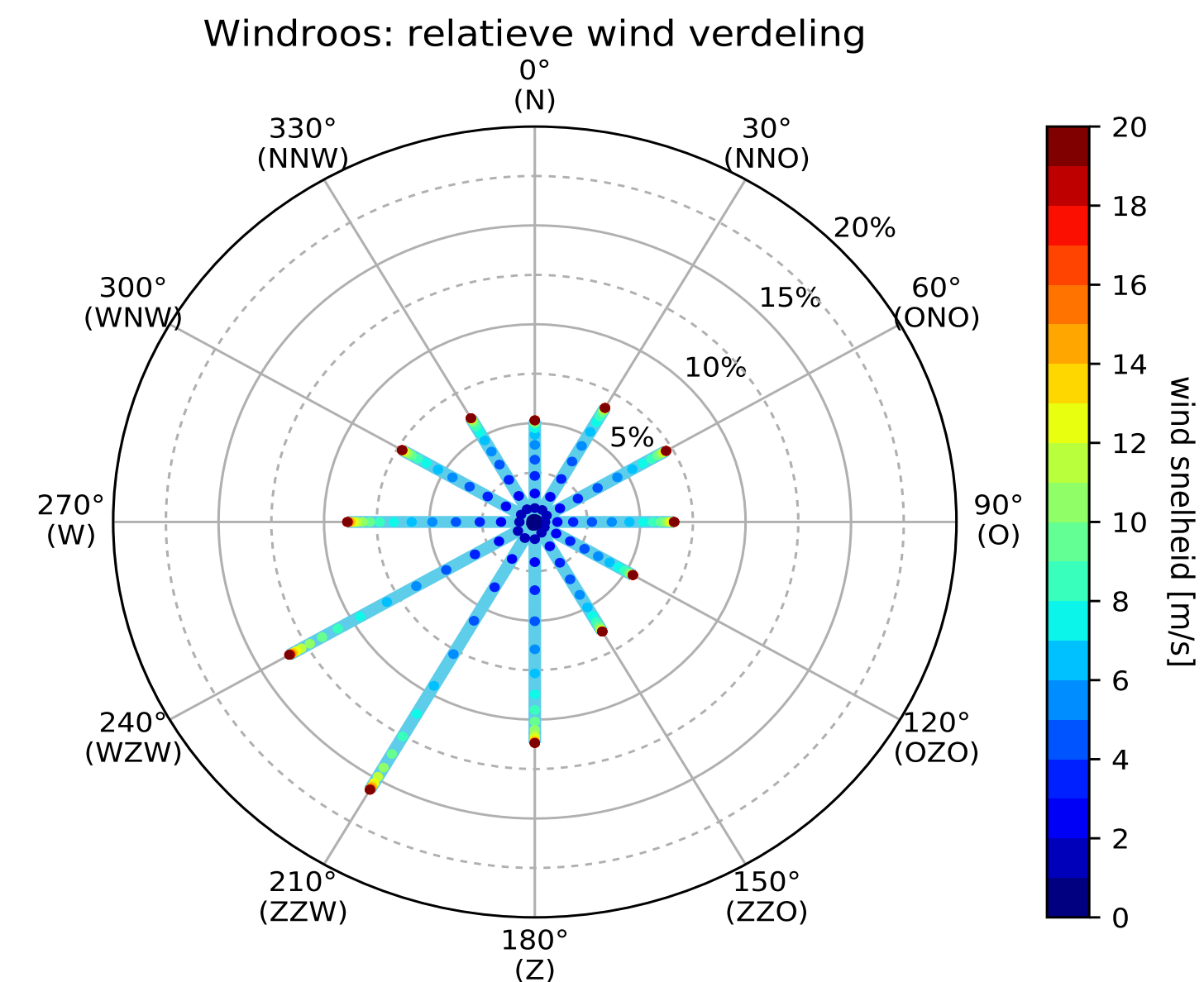
Vervolgens wordt de windstatistiek gecombineerd met de berekende versterkingsfactor, zodat voor elke windsnelheid op een locatie een overschrijdingskans kan worden bepaald van verschillende windsnelheden. Deze overschrijdingskans wordt vervolgens getoetst aan de gewenste kwaliteitsklasse om te bepalen of er een comfortabel windklimaat kan zijn. Een visualisatie van de lokale windstatistiek als windroos en als frequentieverdeling van de windsnelheid op 60 m hoogte is weergegeven in figuur 3.3.

$$U_n(z) = \left(\frac{U^*}{\kappa} \right) \ln \left(\frac{z + z_0}{z_0} \right) \quad (3.1)$$

$$U^*(z_0, U_{ref}, z_{ref}) = \frac{\kappa \cdot U_{ref}}{\ln \left(\frac{z_{ref} + z_0}{z_0} \right)} \quad (3.2)$$

$$k(z) = \frac{U^{*2}}{\sqrt{C_\mu}} \quad (3.3)$$

$$\omega(z) = \frac{U^*}{\kappa(z - z_{ground} + z_0)\sqrt{C_\mu}} \quad (3.4)$$



Figuur 3.3: Visualisatie van de windstatistiek welke is gebruikt bij de bepaling van windhinder en windgevaar.

3 Resultaten

De operationele windsnelheid van de vier windmolens valt binnen het bereik van 5,5 m/s (cut-in snelheid) tot 13,9 m/s (cut-out snelheid). Onder de cut-in snelheid van de windmolen is er onvoldoende druk van de wind om de wieken van de molen te laten draaien; boven de cut-out snelheid van de windmolen worden de wieken tot stilstand gebracht om te voorkomen dat er schade ontstaat als gevolg van de hoge windsnelheden.

Voor elk van de 12 windrichtingen, is het aantal uren per jaar waarin de windsnelheid binnen het operationele bereik valt berekend en opgeteld. Deze berekening werd uitgevoerd voor zowel de huidige als de toekomstige situatie. Deze parameter zal benoemd worden als T_{range} en bij vergelijking als ΔT_{range} . Naar de werkelijke operationele tijd van elke windmolen (het aantal uren per jaar dat de wieken kunnen draaien) zal worden verwezen als $T_{\text{operational}}$ en het verschil $\Delta T_{\text{operational}}$.

Figuren 3.1 a en b tonen de verdeling van T_{range} voor de bestaande situatie. Dit is berekend op een hoogte van 14 m boven de grond, hetgeen gelijk is aan de hoogte van de as van de windmolens. In de nabijheid van de windmolens valt de windsnelheid ongeveer 2 000 tot 3 000 uur per jaar binnen het operationele bereik, met lokale verschillen.

Figuren 3.1 c en d tonen ΔT_{range} tussen de huidige en de toekomstige situatie v2, waar positieve waarden een uitbreiding van T_{range} als gevolg van de aanwezigheid van het nieuwe gebouw betekenen en negatieve waarden een vermindering van T_{range} . De close-up in figuur 3.1d laat zien dat het gemiddelde verschil tussen de twee situaties beperkt is. In de nabijheid van de windmolens valt deze tussen $\Delta T_{\text{range}} = -260$ en $\Delta T_{\text{range}} = +40$ uur per jaar.

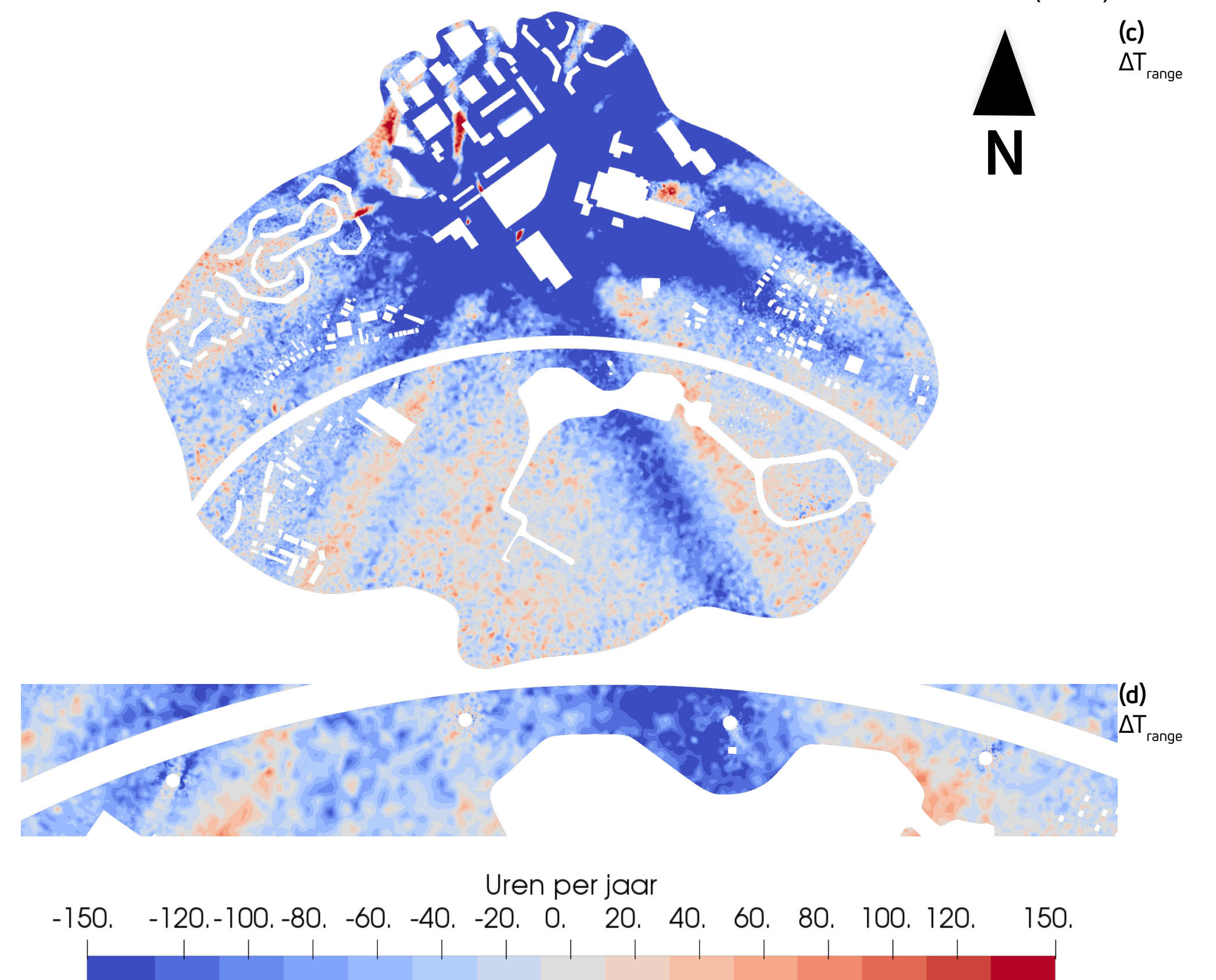
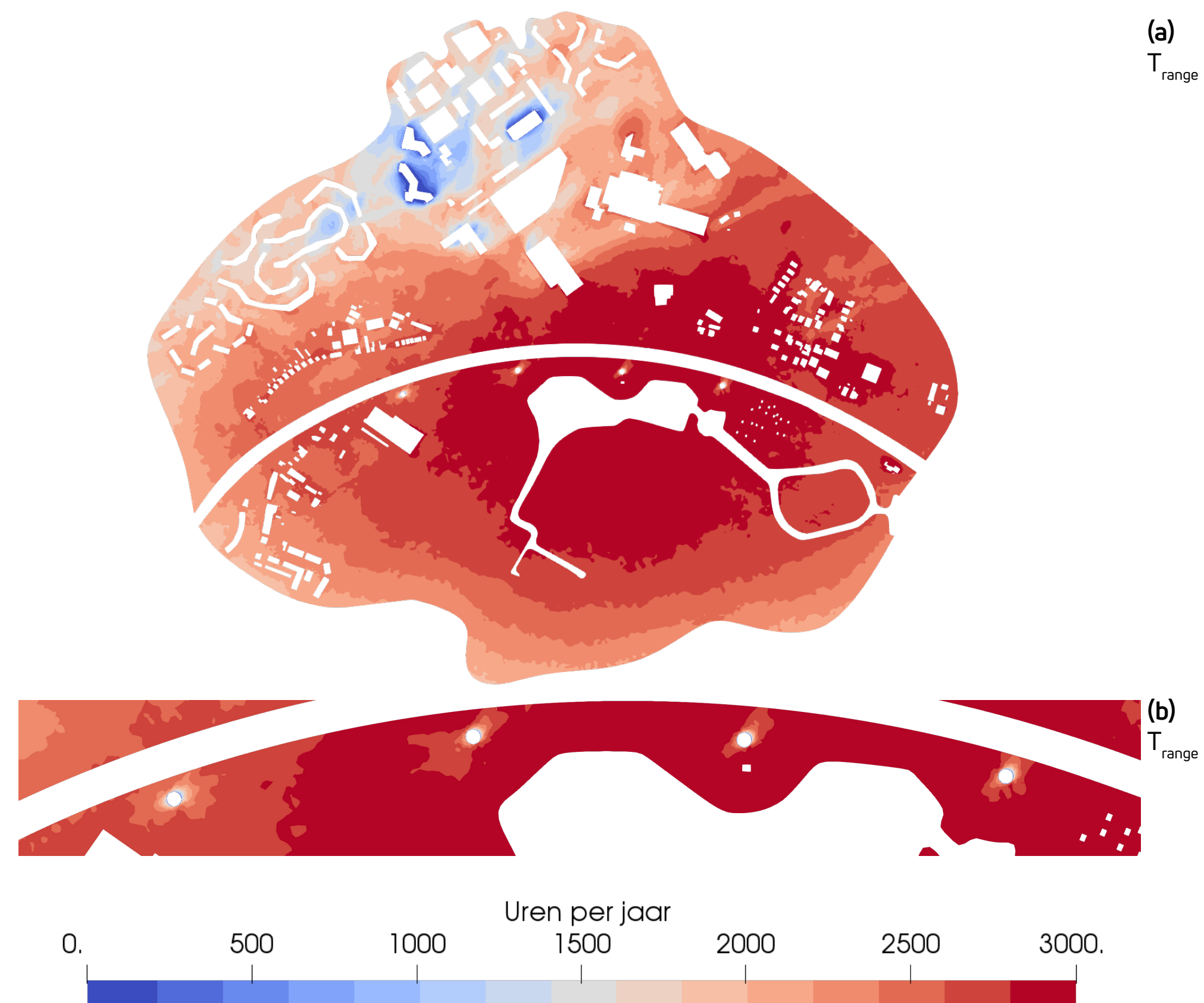
Voor de berekening van de werkelijke wijziging in operationele tijd $\Delta T_{\text{operational}}$ van de windmolens is het noodzakelijk rekening te houden met de windrichting. Dit wordt gedaan omdat slechts variaties waarbij de windsnelheid van vooraf op de wieken van de windmolen valt van invloed zijn op de werking van de molen, terwijl wijzigingen stroomafwaarts van de wieken niet relevant zijn. Bijlage A bevat ΔT_{range} per windrichting. Voor elke windrichting zijn de waarden van ΔT_{range} vóór de wieken van elke windmolen opgenomen. Kijkend naar de bijdrage van elke windrichting kan de totale $\Delta T_{\text{operational}}$ per molen worden berekend:

Windmolen B: $\Delta T_{\text{operational}} = -55$ uur (-3.0% van $T_{\text{operational}}$ in de bestaande situatie)

Windmolen C: $\Delta T_{\text{operational}} = -29$ uur (-1.3% van $T_{\text{operational}}$ in de bestaande situatie)

Windmolen D: $\Delta T_{\text{operational}} = -78$ uur (-3.6% van $T_{\text{operational}}$ in de bestaande situatie)

Windmolen E: $\Delta T_{\text{operational}} = -26$ uur (-1.1% van $T_{\text{operational}}$ in de bestaande situatie)



Figuur 3.1:
 T_{range} voor de
 bestaande situatie
 (a en b) en ΔT_{range}
 tussen de nieuwe en
 bestaande situatie
 (c en d)



4 Conclusies

Het windklimaat langs de Molenkade in Alkmaar, waar vier historische windmolens liggen, is met behulp van CFD simulaties onderzocht. Het doel van de studie was om te bepalen hoeveel de operationele tijd van elke windmolen zal veranderen met de toevoeging van het project 'Nieuwbouw PostNL Locatie te Alkmaar' aan de Hertog Aalbrechtweg, welke tussen de 220 en 450 meter van de windmolens is gelegen. Het onderzoek is uitgevoerd door [Actiflow](#).

Hierbij is een geometrisch model van de molens, de nieuwbouw en de gebouwen in de ruime omgeving hiervan. Een rekengrid met hoge resolutie is rond deze geometrie opgetrokken als basis voor Computational Fluid Dynamics (CFD)-simulaties van de windstroming. In totaal zijn 12 simulaties uitgevoerd voor 12 corresponderende windrichtingen per situatie. Om een vergelijk te kunnen maken, is een model van de bestaande situatie opgesteld en doorgerekend, evenals een model van de toekomstige situatie (hier benoemd als toekomstige situatie v2).

Uit de resultaten van de CFD-simulaties is gebleken dat het nieuwe gebouw een zeer beperkte invloed zal hebben op de windvang van de beschouwde molens, met een lichte vermindering van de operationele tijd. Deze vermindering is tussen de 1.1% en 3.6% van de huidige operationele tijd en is het grootste voor windmolen D (derde molen vanuit het westen).

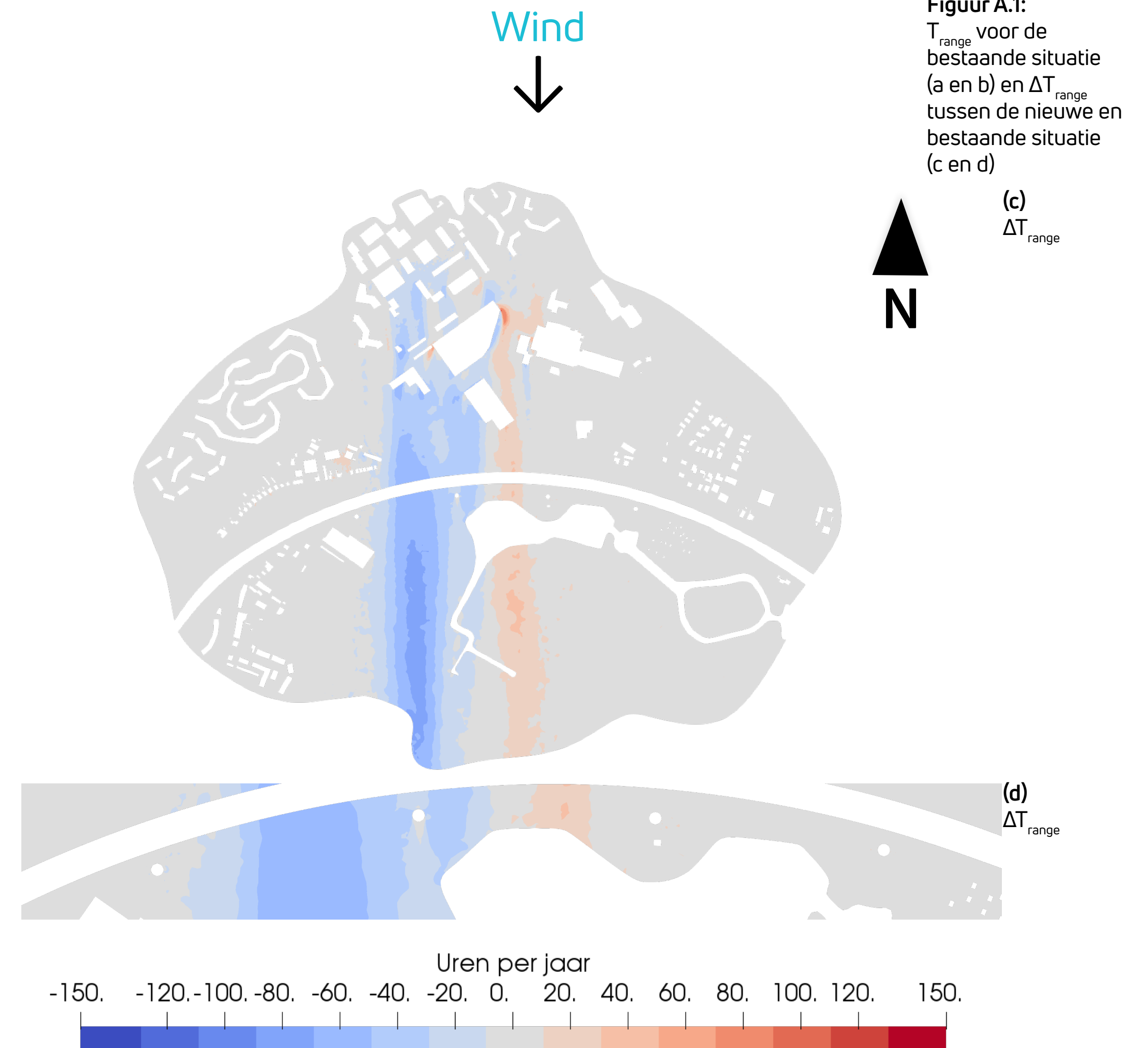
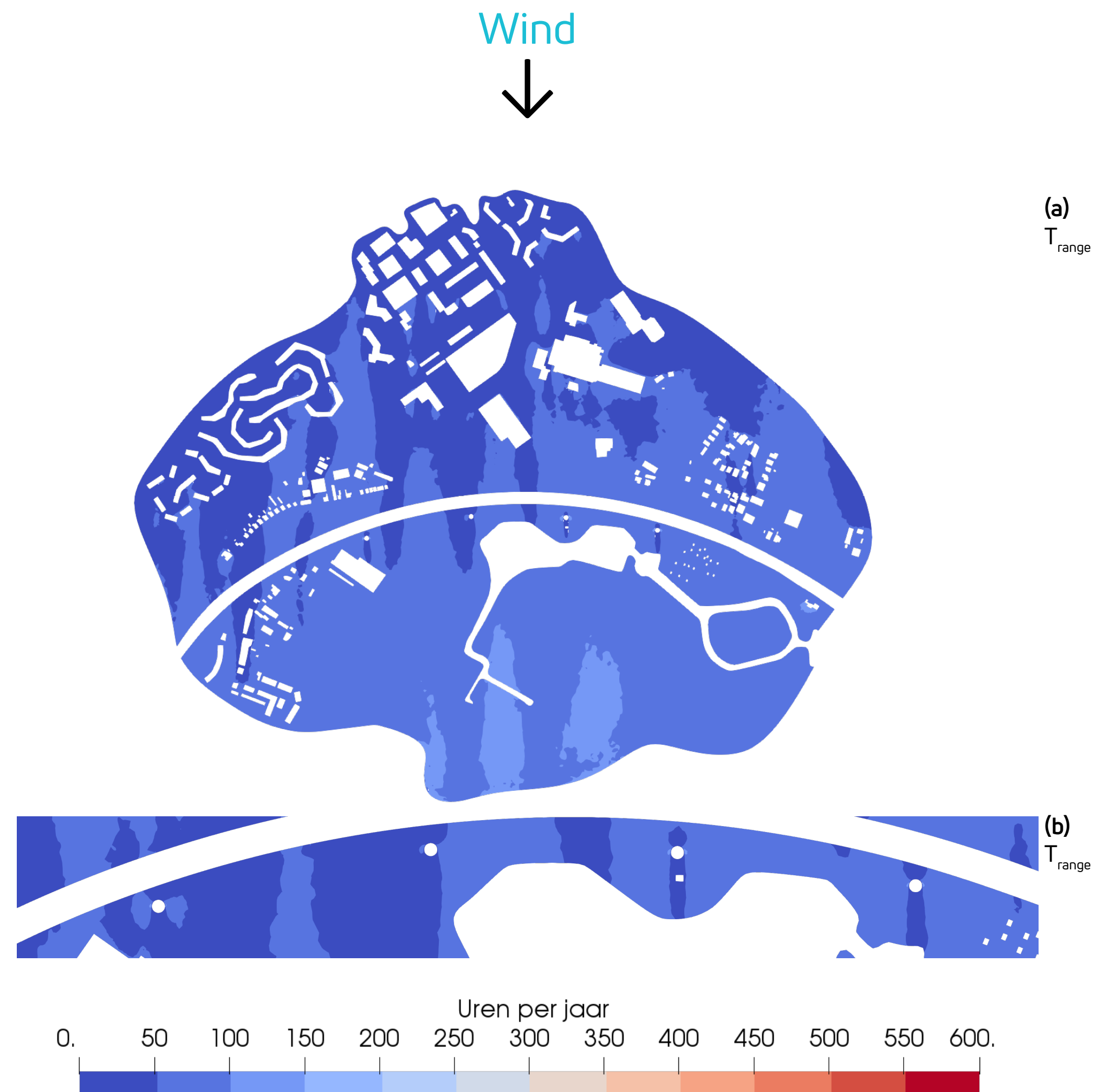
Aanvullend wordt opgemerkt dat de longitudinale turbulentie-intensiteit in de richting van de gemiddelde windsnelheid een effect kan hebben op de aerodynamische werking van de windmolenbladen (Pagnini et al., 2015). Dit kan mogelijk ook een gevolg hebben voor onderhouds studie (Porté-Agel et al., 2020). Daarentegen zal (i) de positionering van de nieuwbouw ten noorden van de molens, (ii) de afstand tussen de nieuwbouw en de meest nabijgelegen molen, en (iii) het aantal uur dat de wind vanuit de windrichtingen noord (N), noordoost (NO) en noordwest (NW) waait (minder dan 6.6 % van de tijd in het jaar, zie ook figuur 3.3) leiden tot de conclusie dat deze invloed minimaal is.

Daarbij zal de nieuwbouw tot een beperkte toename kunnen leiden van de turbulentie-intensiteit nabij de molens bij windrichtingen uit het noorden, noordoosten en noordwesten. De meest voorkomende windsnelheden uit deze richtingen liggen tussen 0 en 10 m/s, waarbij een toename van de turbulentie-intensiteit bij deze snelheden geen negatief effect zal hebben op de werking van de molens (L.M. Bardal and L.R. Sætran, 2017).

Ook geven best-practice guidelines met betrekking tot Computational Wind Engineering (CWE) en windtunnelmetingen (COST Action 732, 2007) aan dat op een afstand groter dan 6 maal de hoogte van een gebouw, het effect van het gebouw op de omgeving verwaarloosd kan worden in relatie tot wind. In onderhouds situatie is het hoogste bouwvolume (44 m) gelegen op ca. 260 m van de dichtsbijzijnde molen. Dit is gelijk aan 5,9 maal de hoogte. Dit onderbouwd de eerder getrokken conclusies dat de invloed zeer beperkt is.

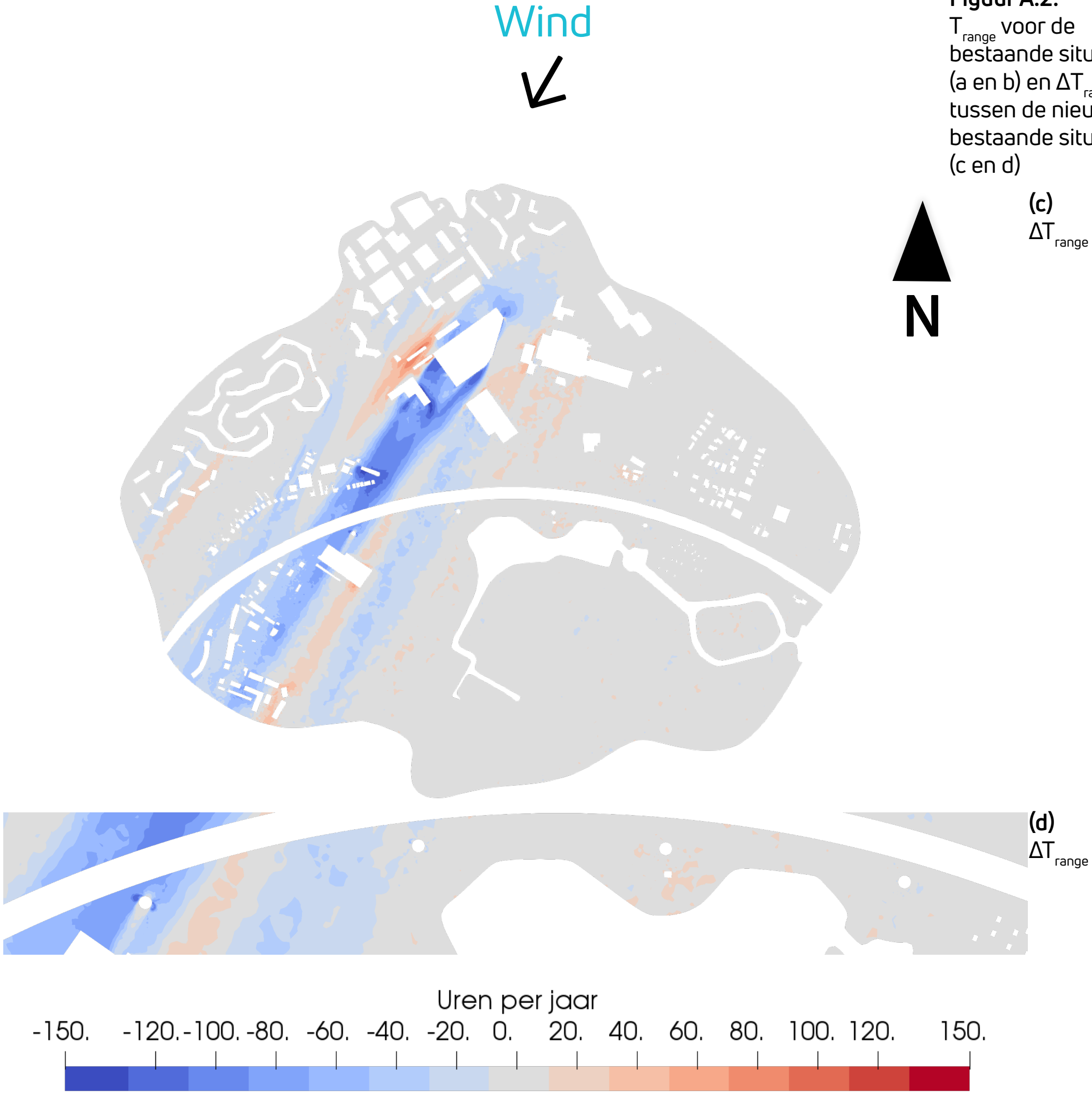
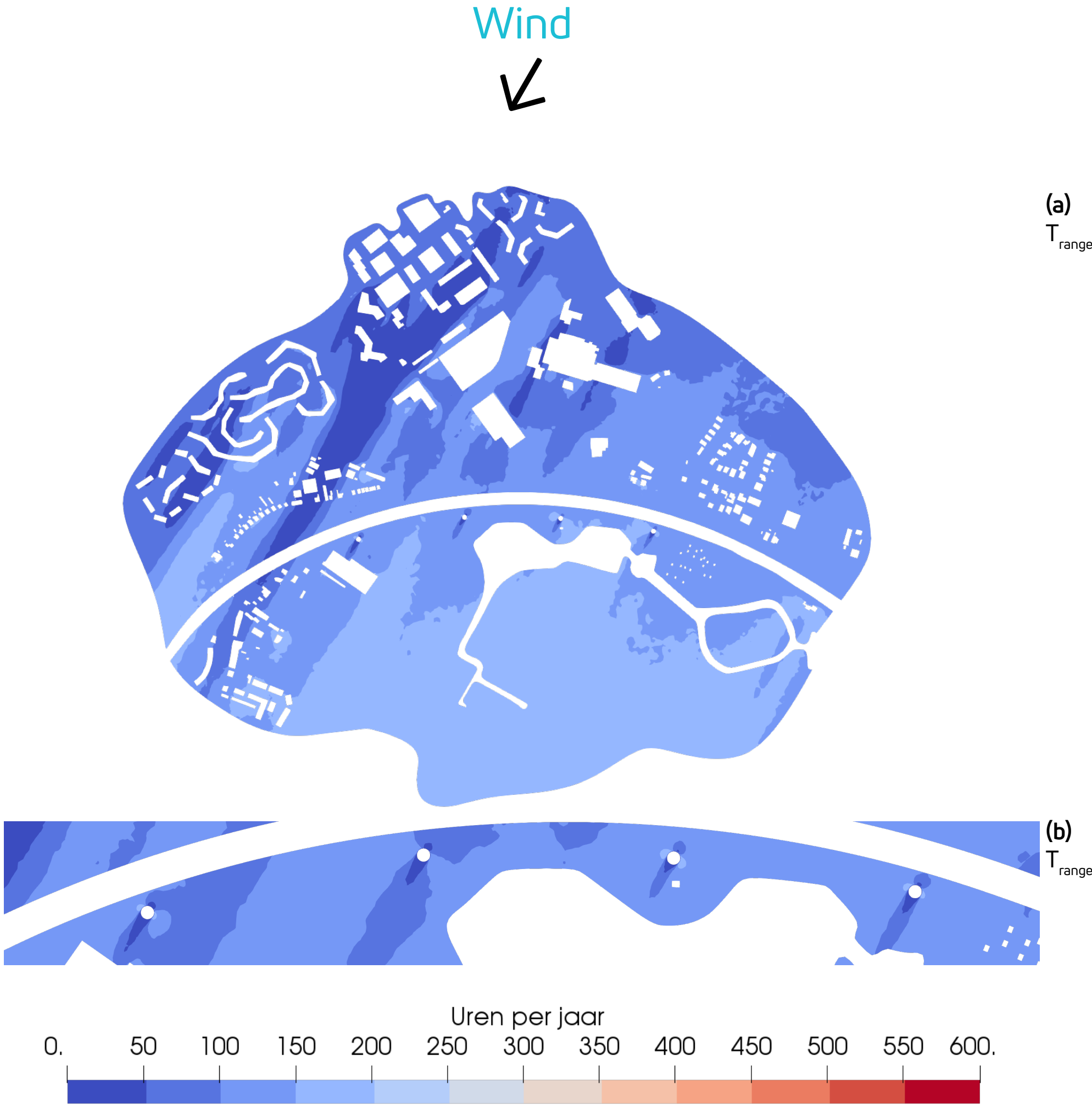
L.M. Bardal and L.R. Sætran, Influence of turbulence intensity on wind turbine power curves, Energy Procedia 137 (2017) 553-558;
J. Franke, A. Hellsten, H. Schlünzen, B. Carissimo, Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment, Cost Action 732 (2007);
L.C. Pagnin, M. Burlando, M. P. Repetto, Experimental power curve of small-size wind turbines in turbulent urban environment, Appl. Energ. 154 (2015) 112 -121;
F. Porté-Agel, M. Bastankhah, S. Shamsoddin, Wind-Turbine and Wind-Farm Flows: A Review, Bound.-Lay. Meteorol. 174 (2020) 1-59.

A Bijlage

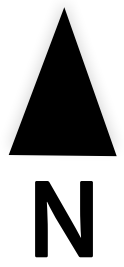


Figuur A.1:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)

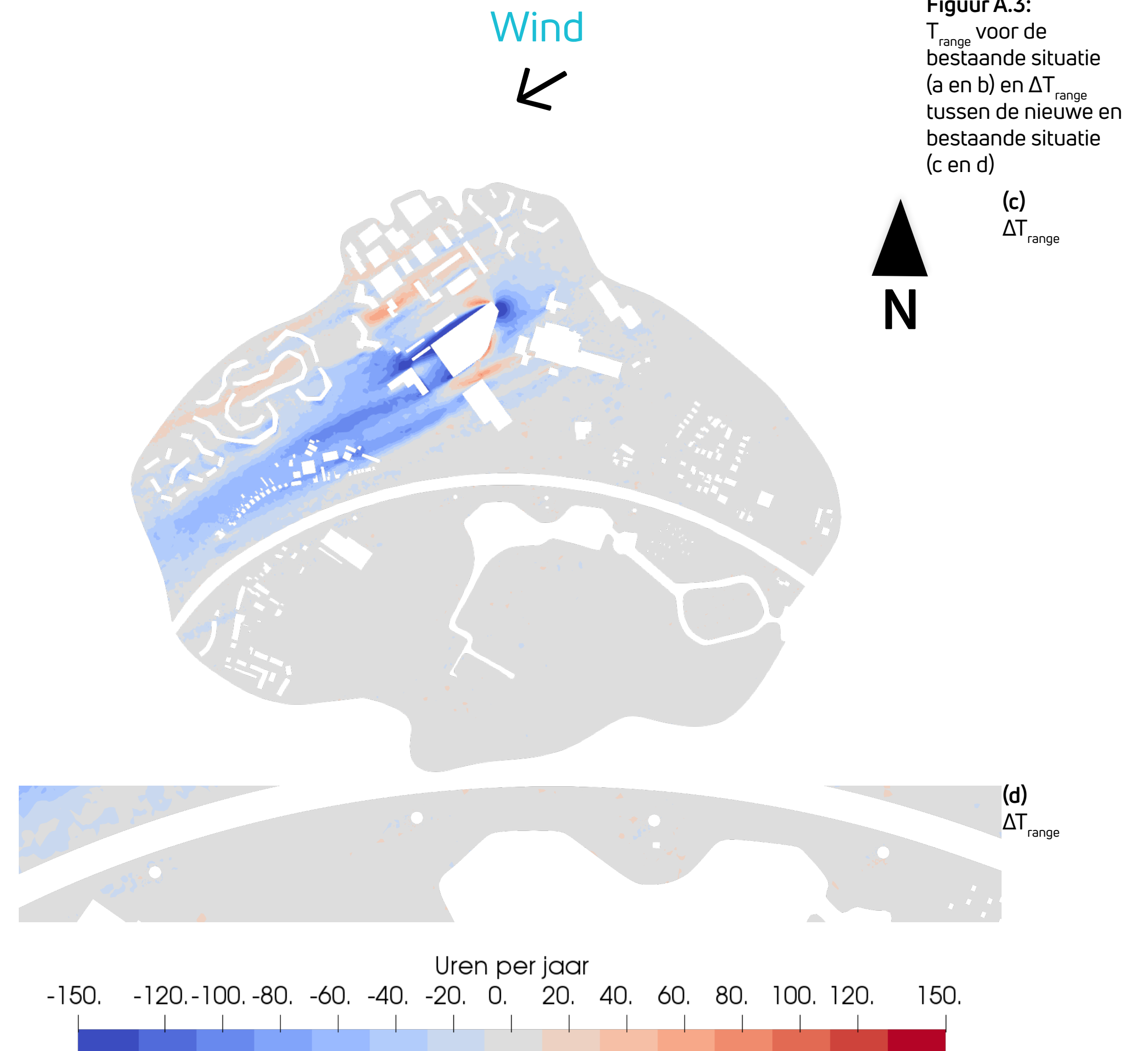
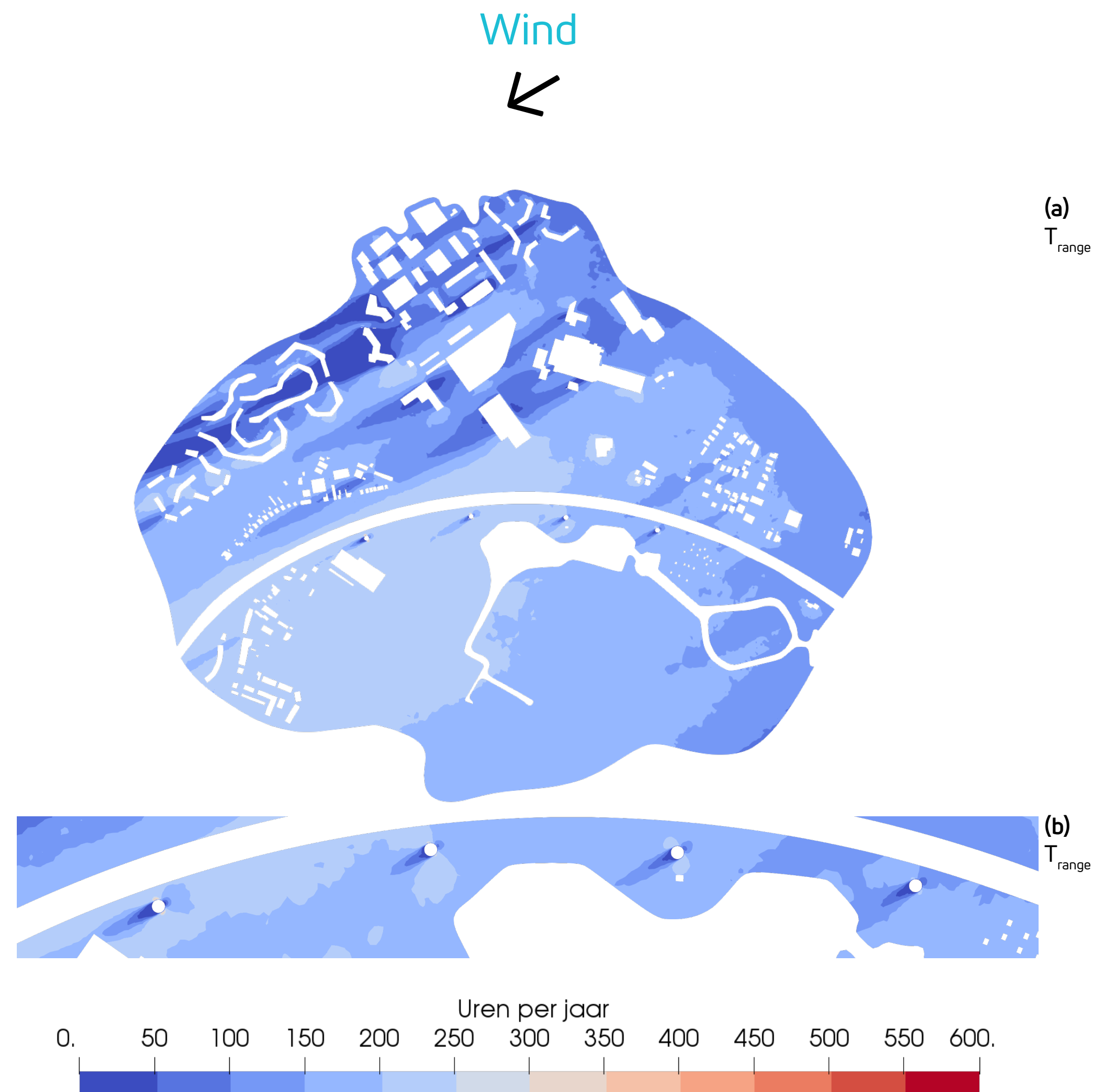
A Bijlage



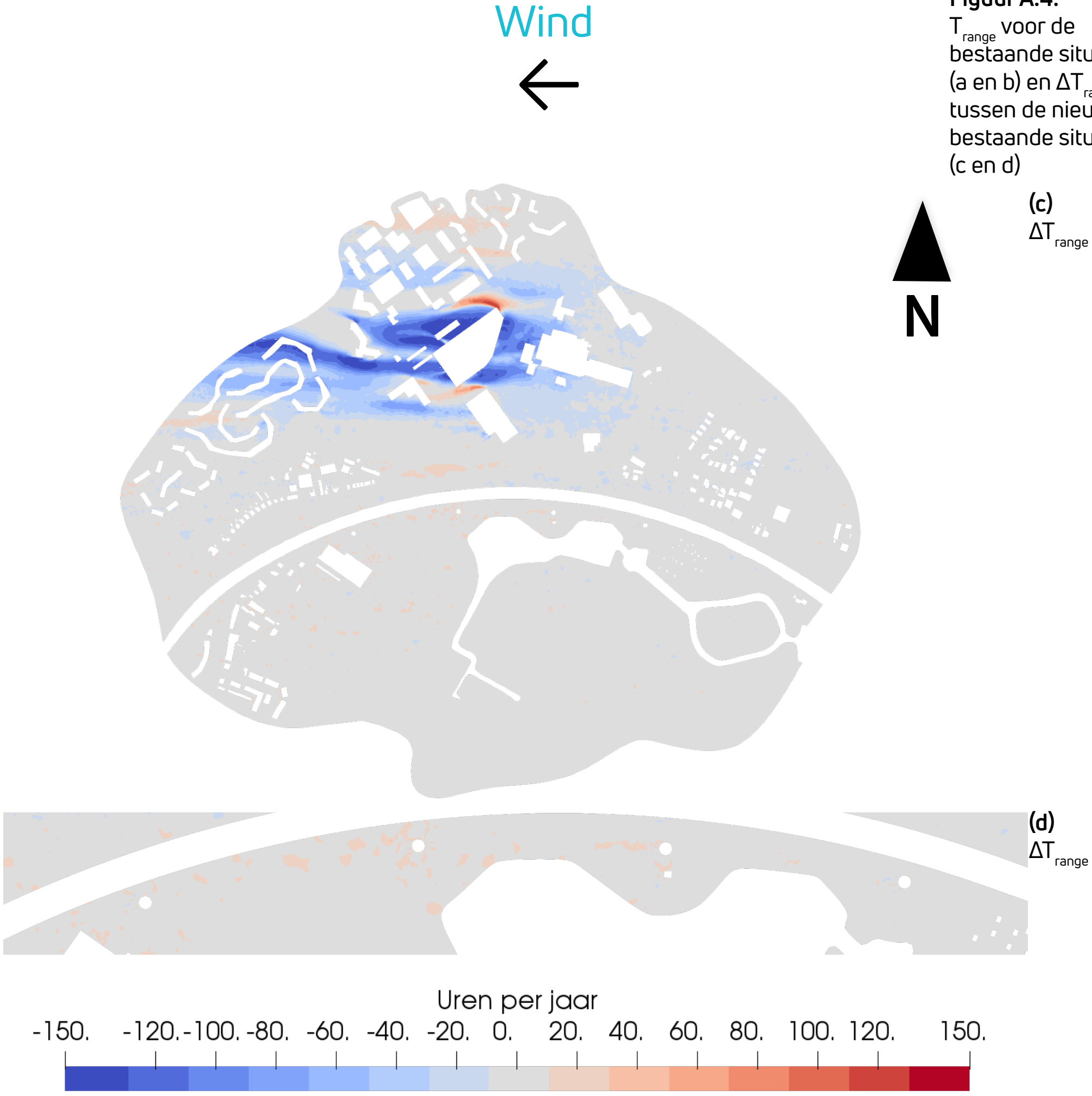
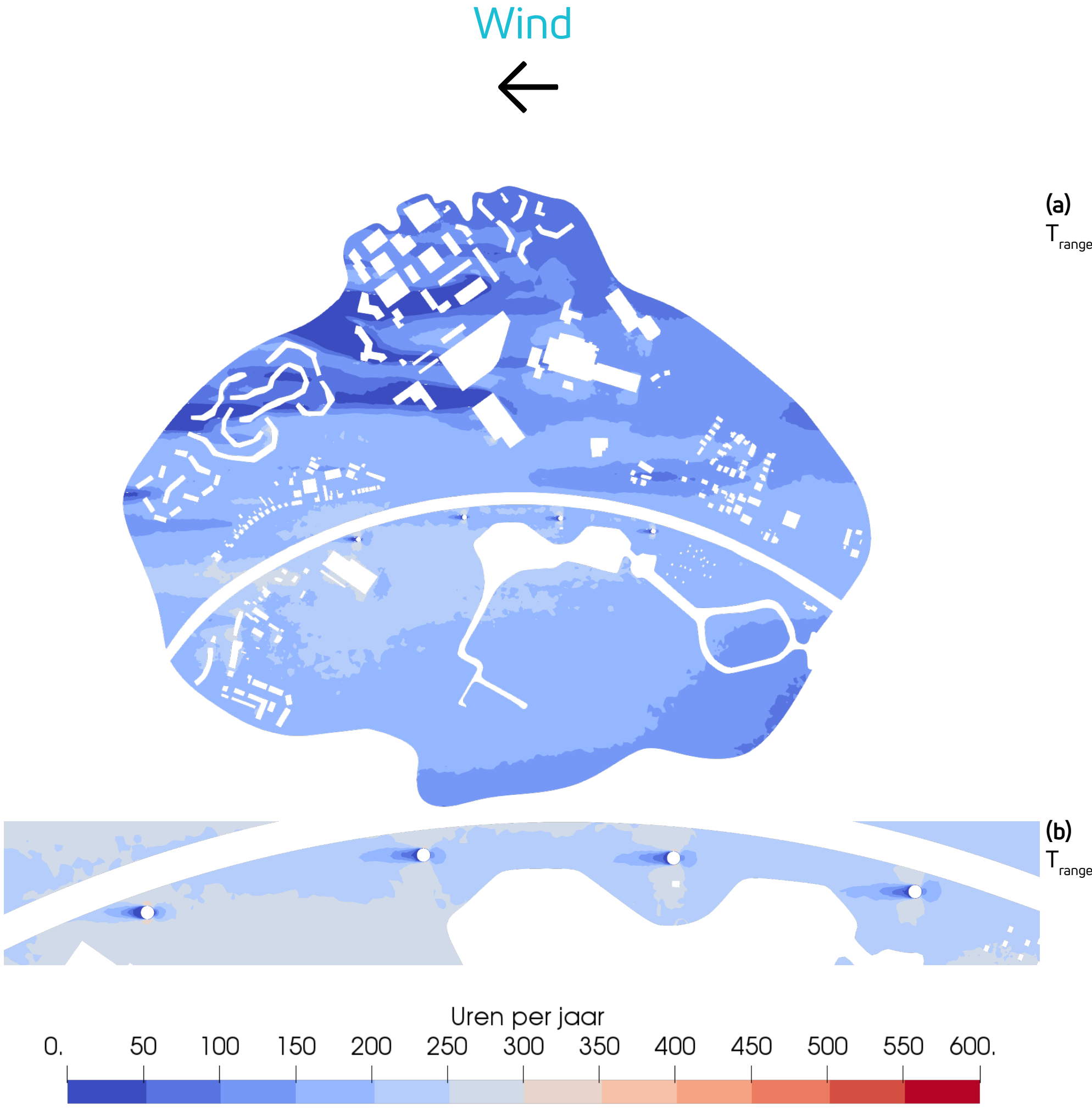
Figuur A.2:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)



A Bijlage

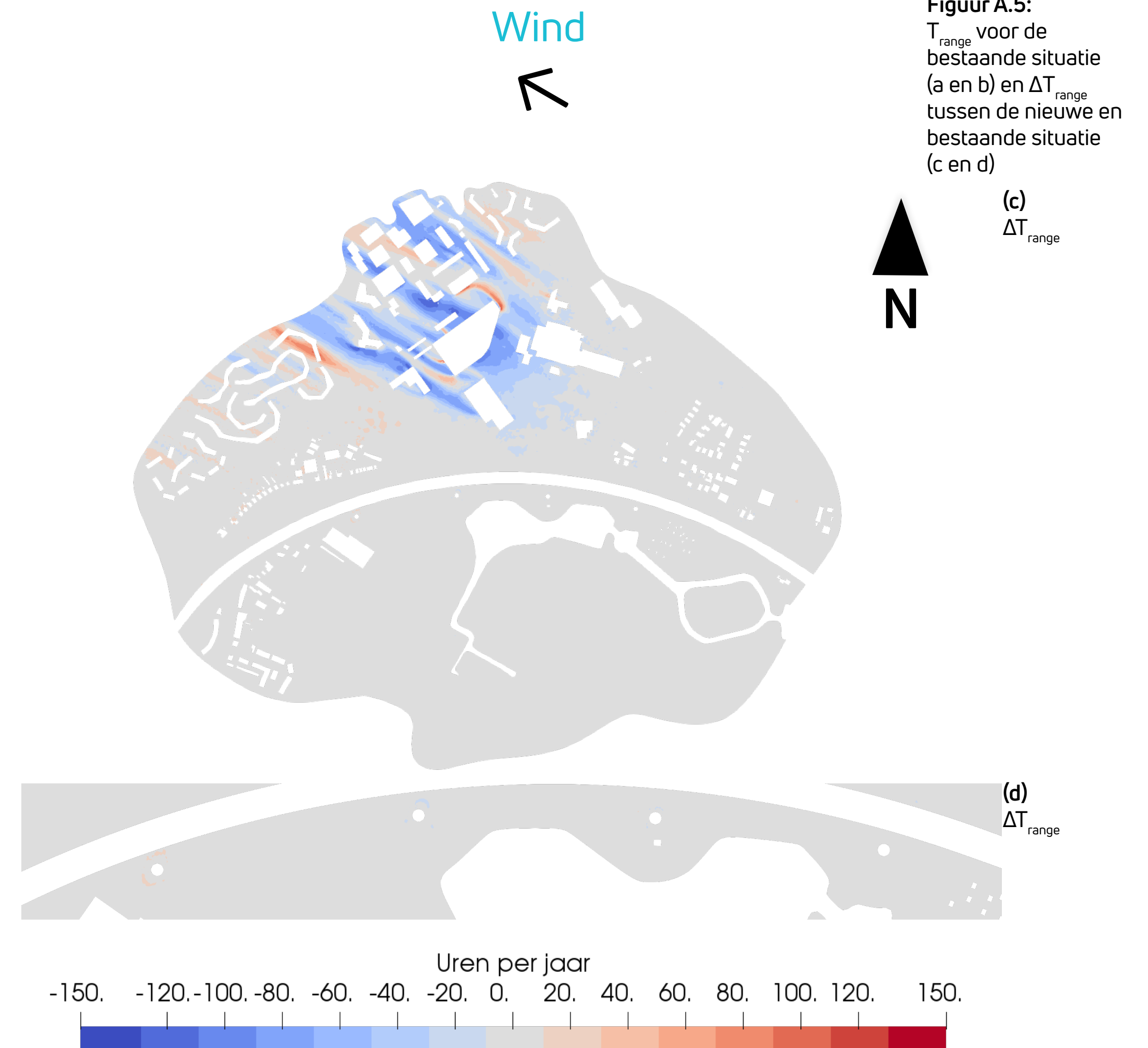
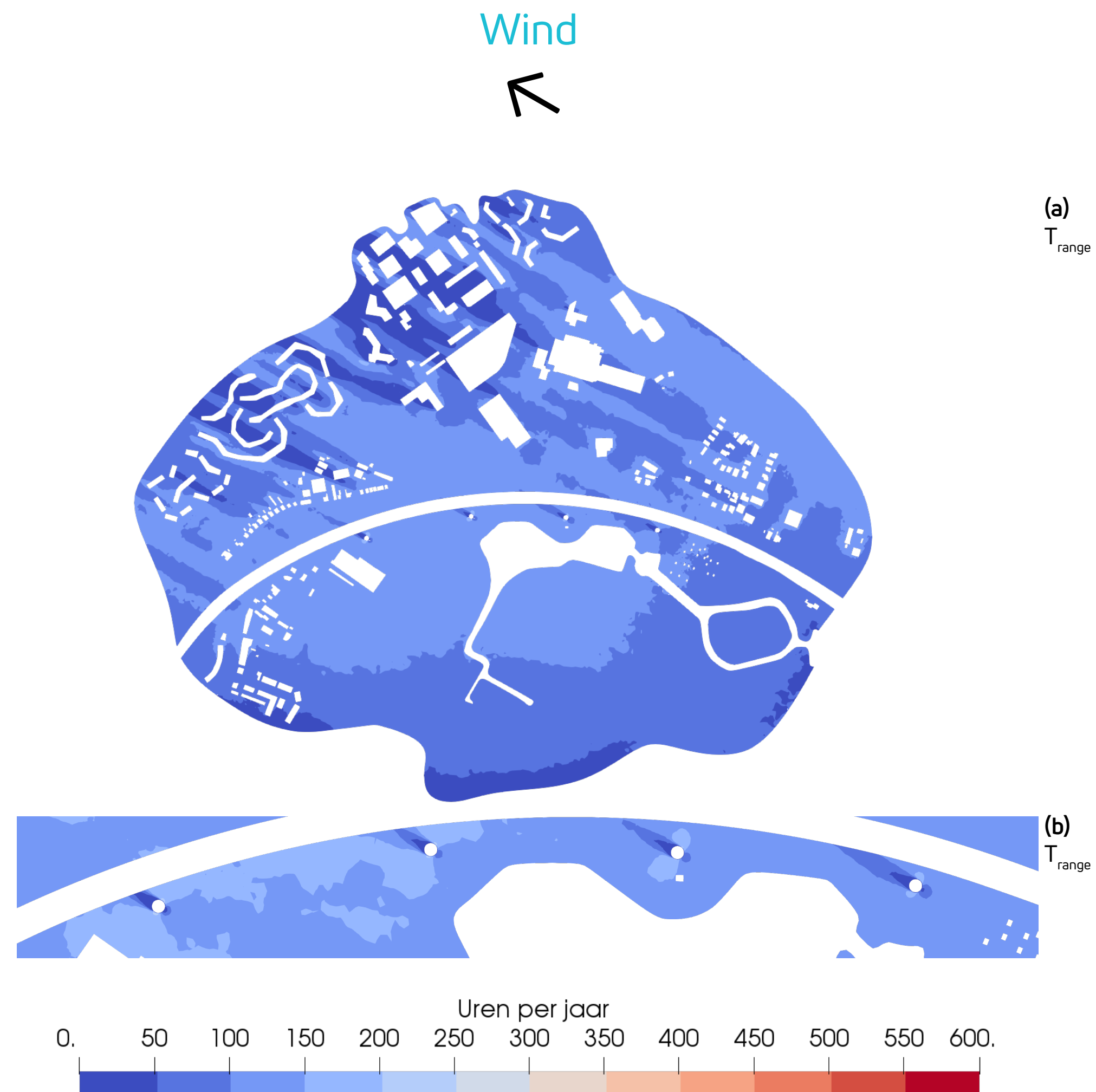


Figuur A.3:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)

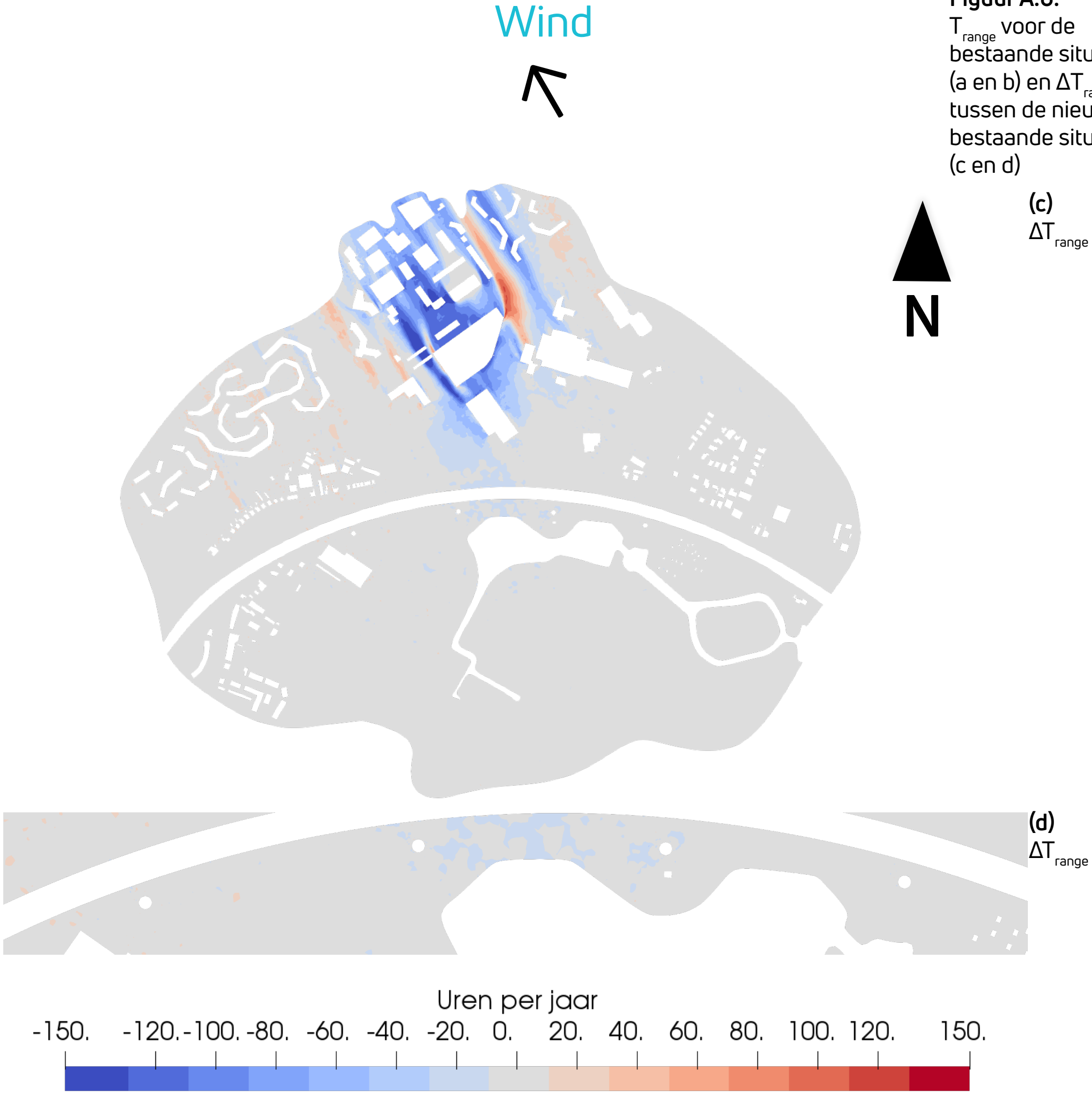
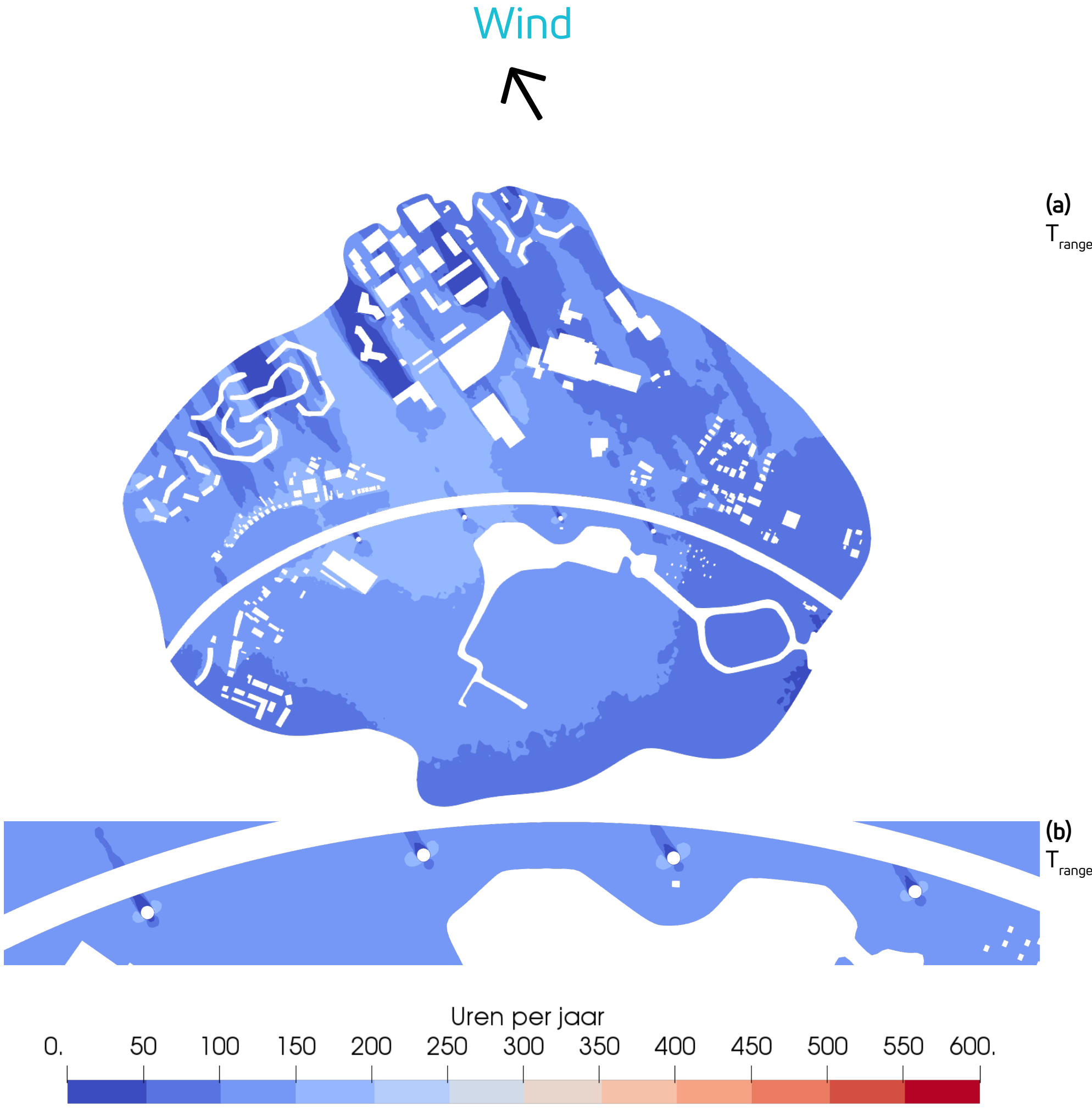


Figuur A.4:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)

A Bijlage

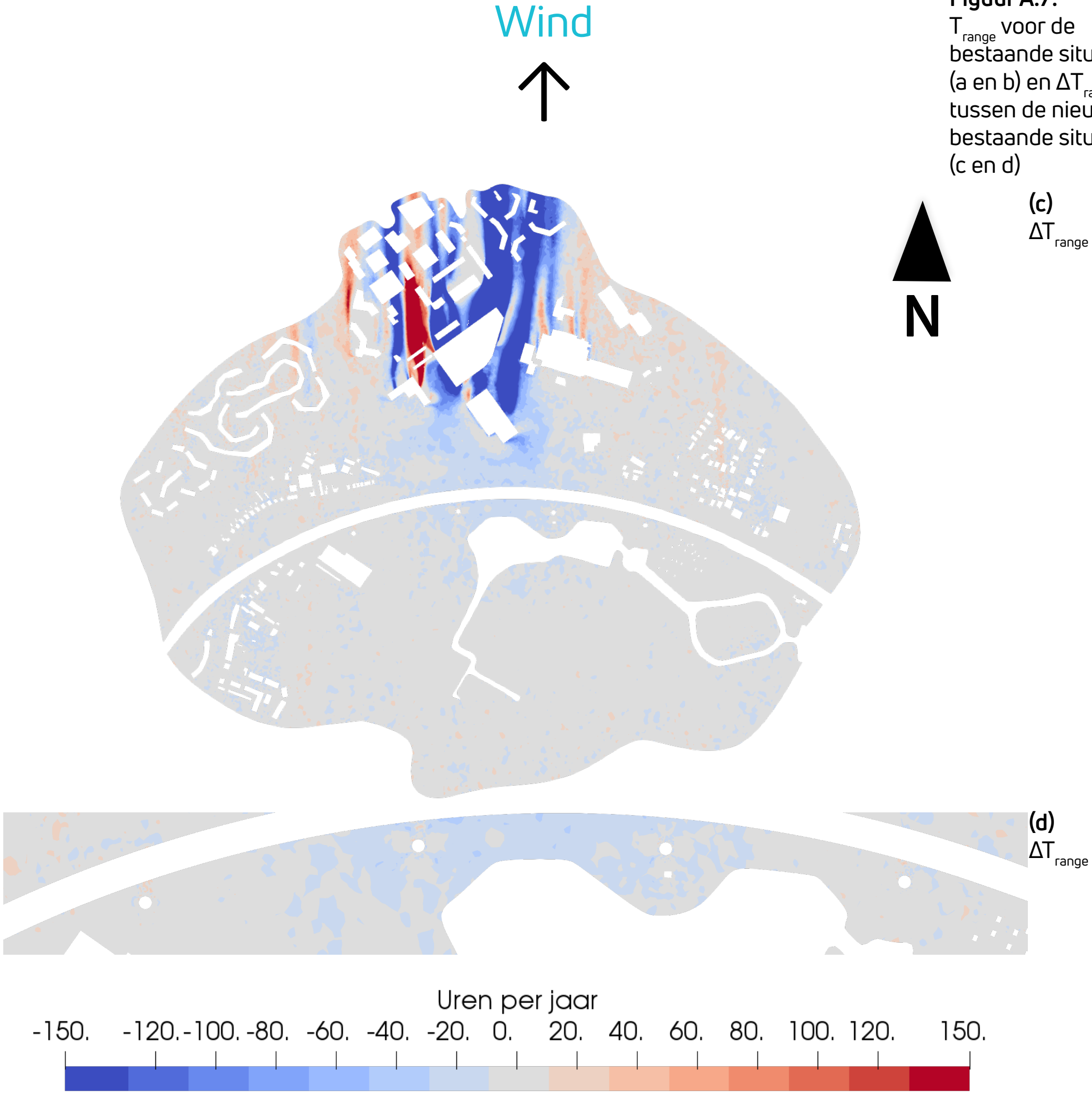
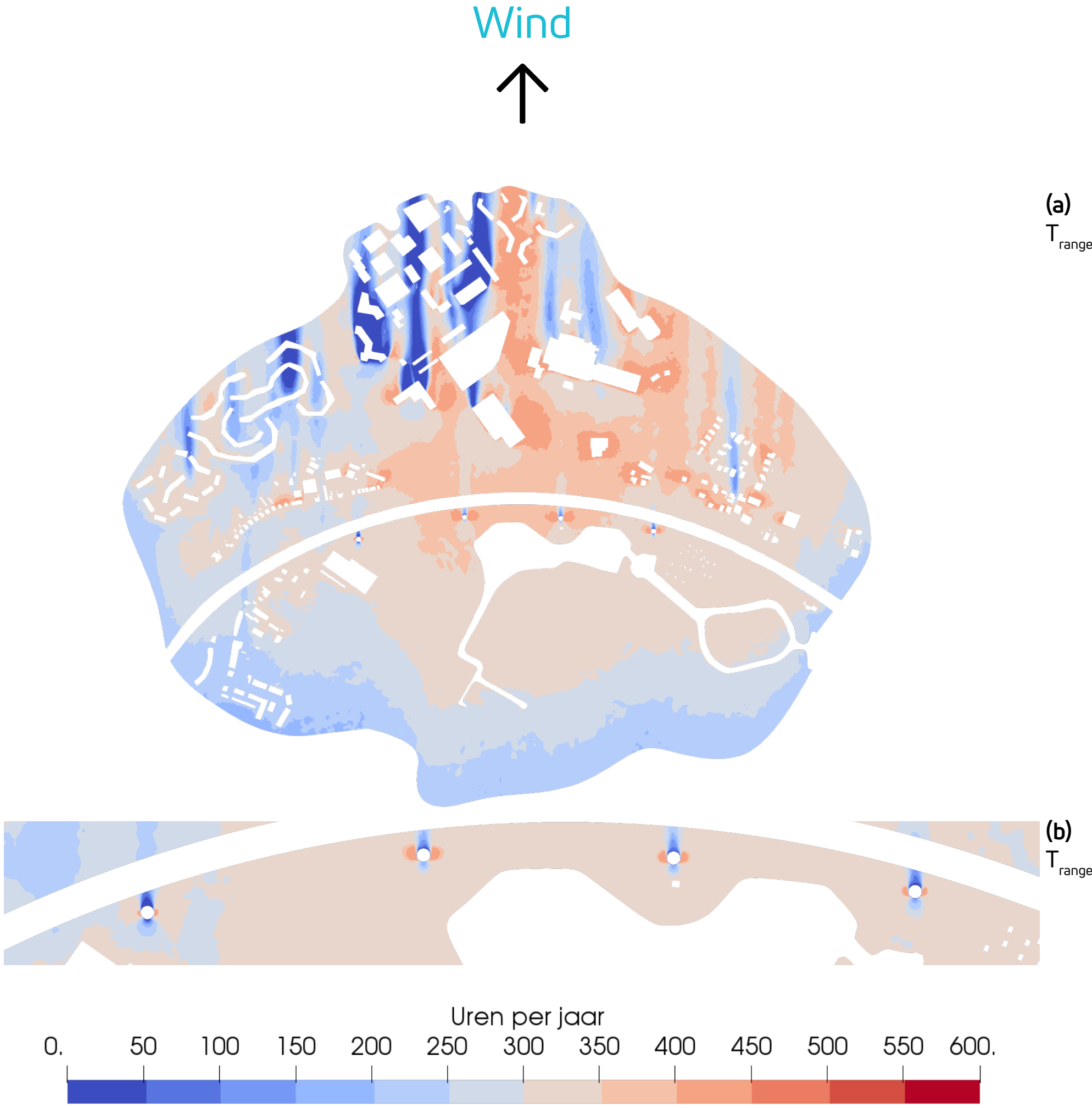


Figuur A.5:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)



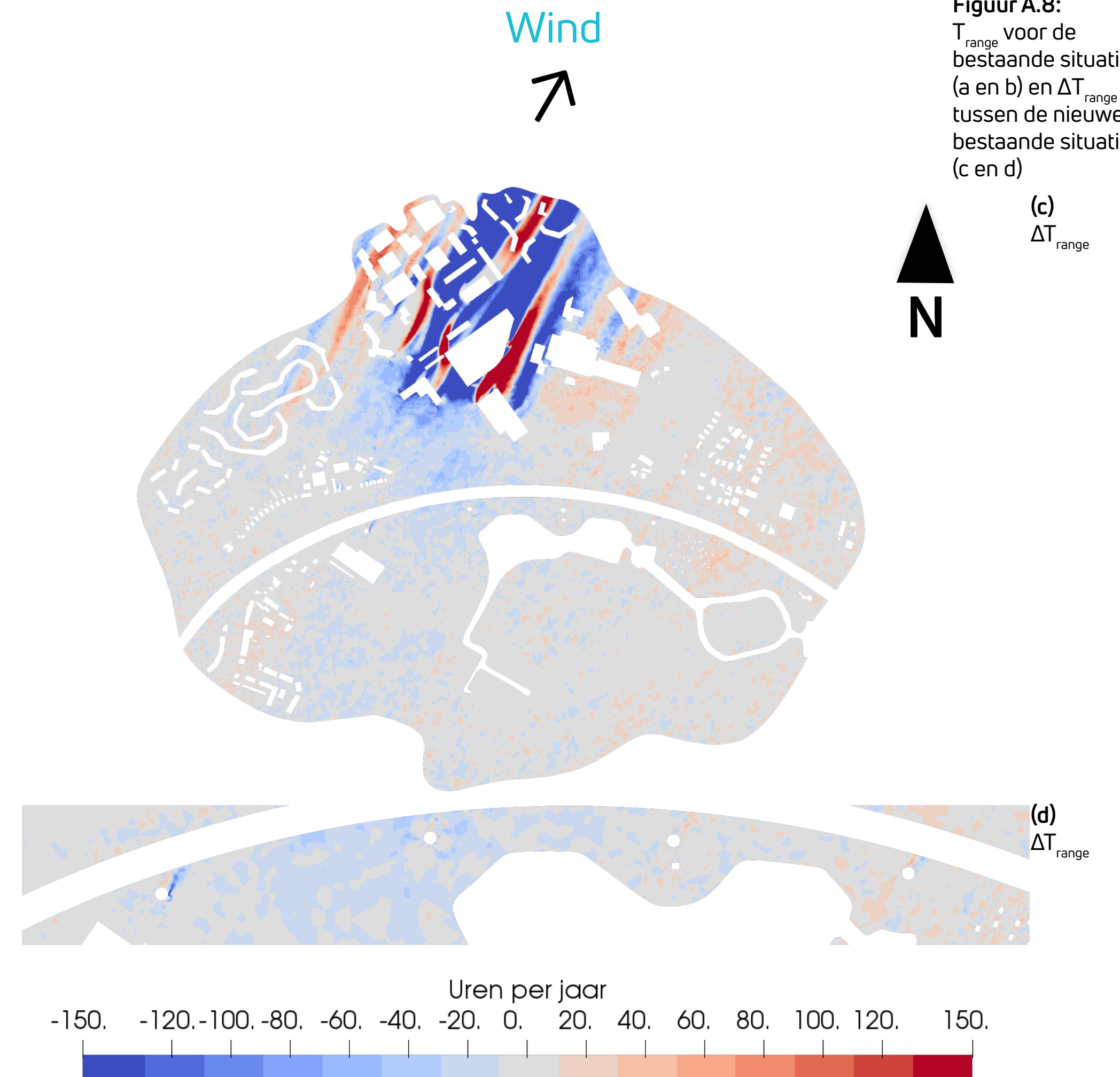
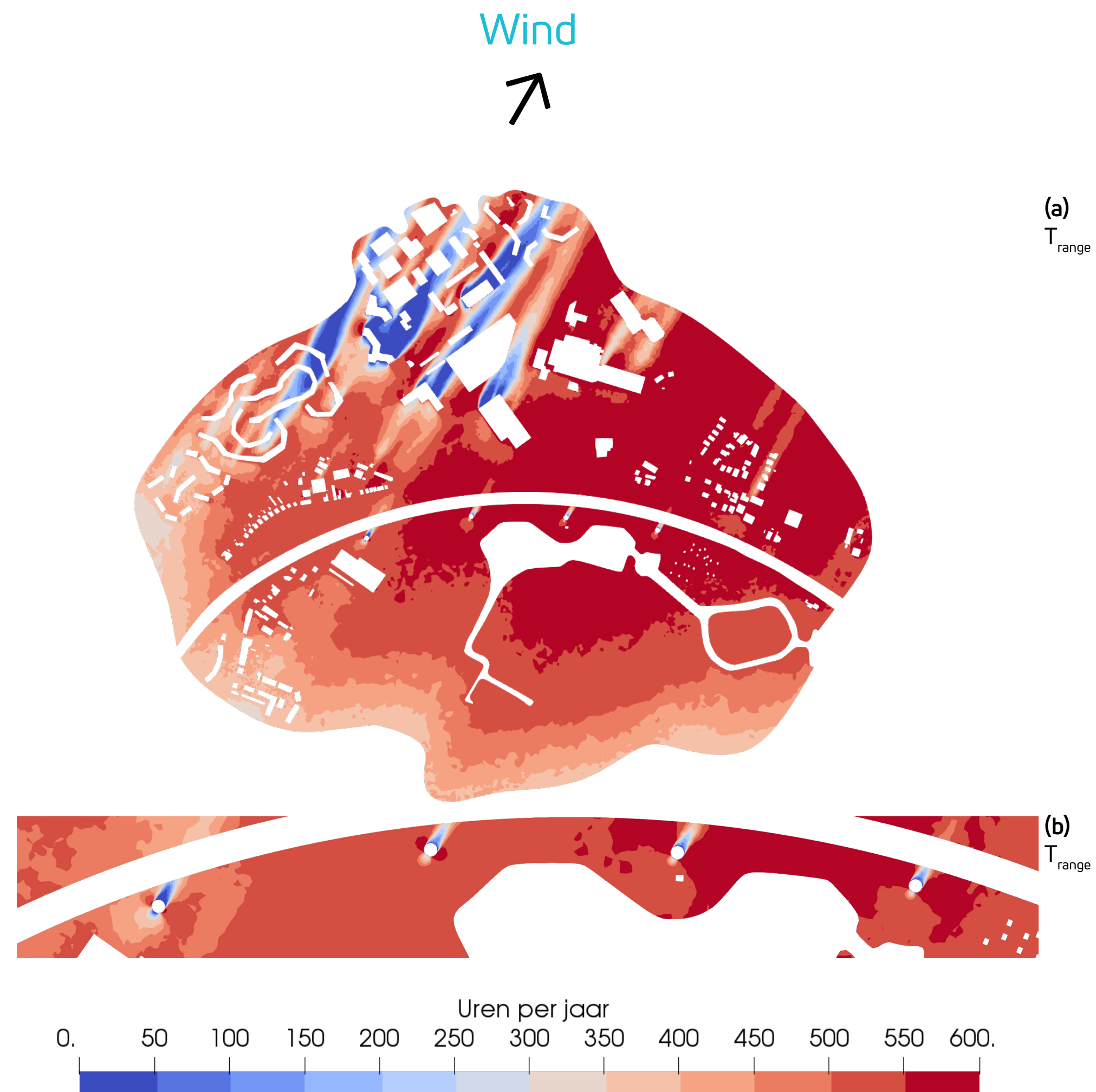
Figuur A.6:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)

A Bijlage



Figuur A.7:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)

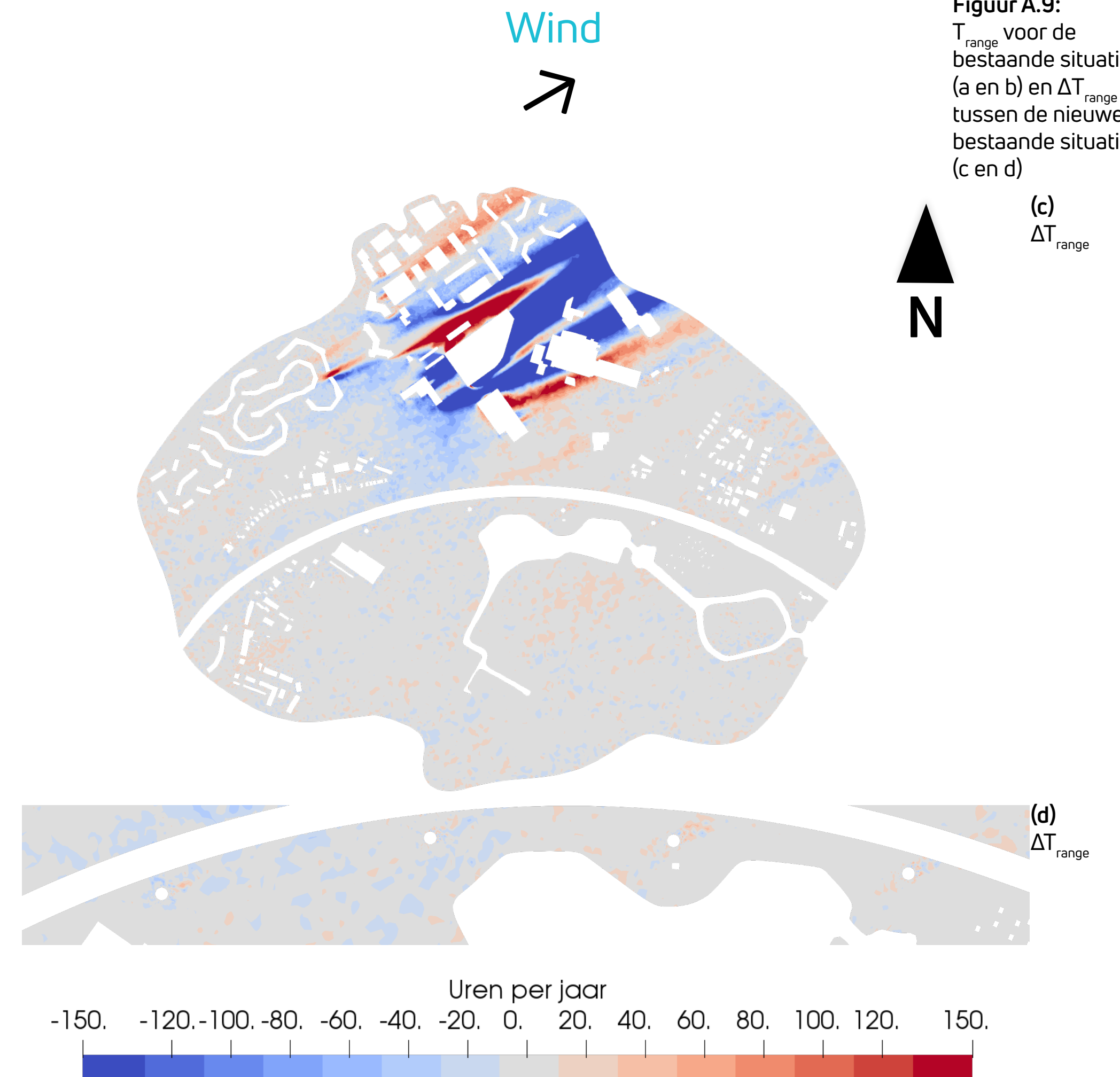
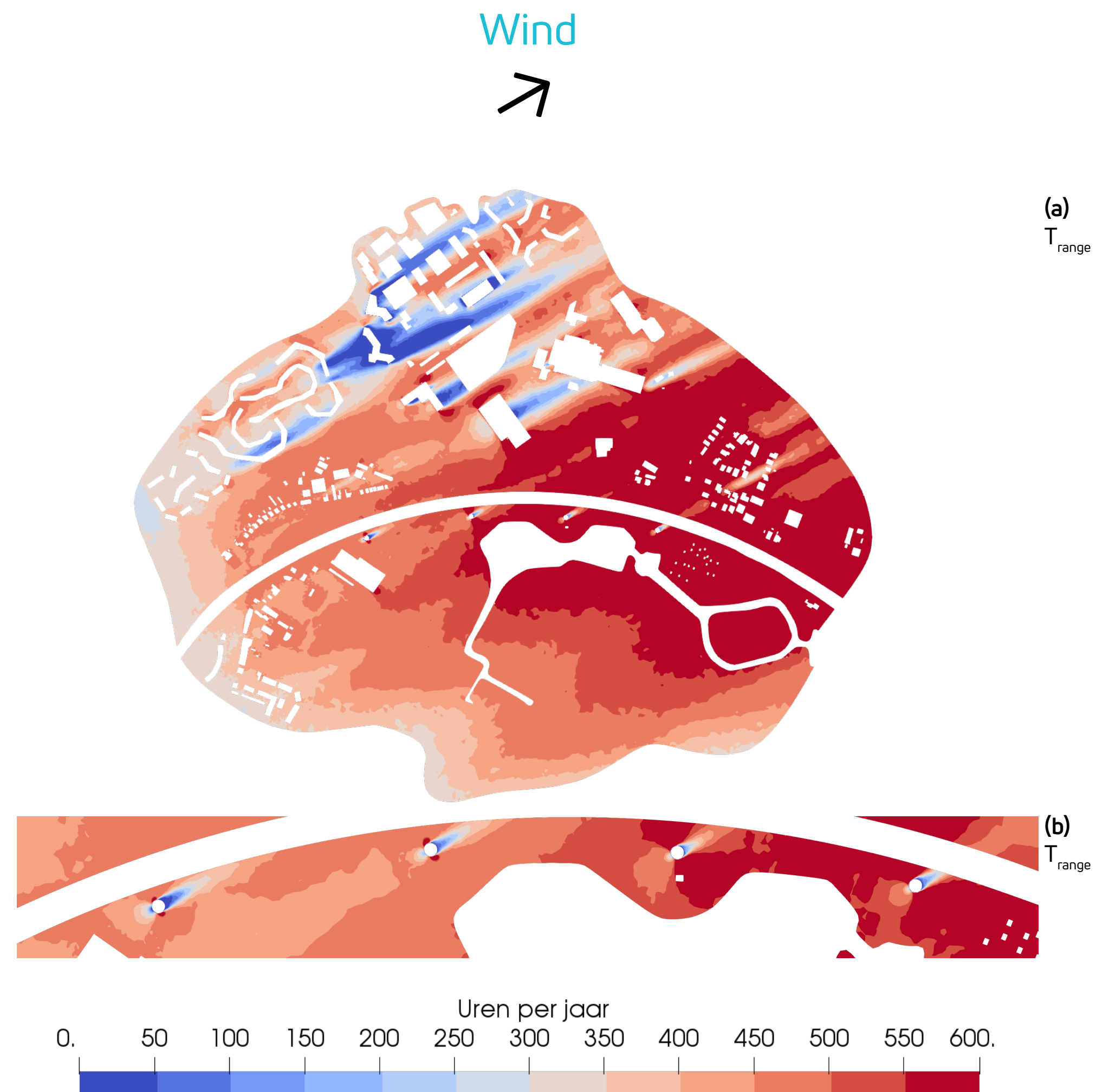
A Bijlage



Figuur A.8:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)



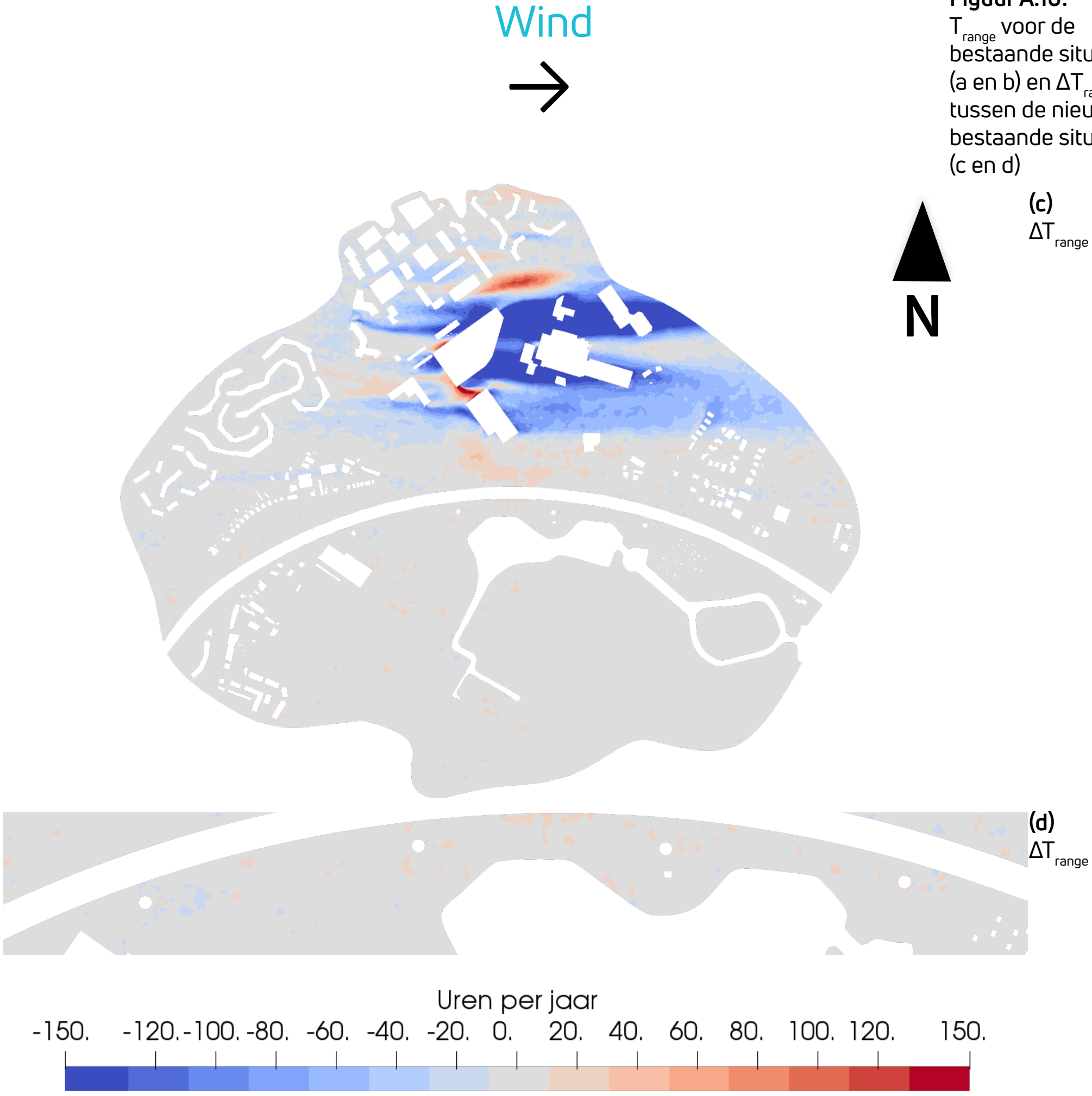
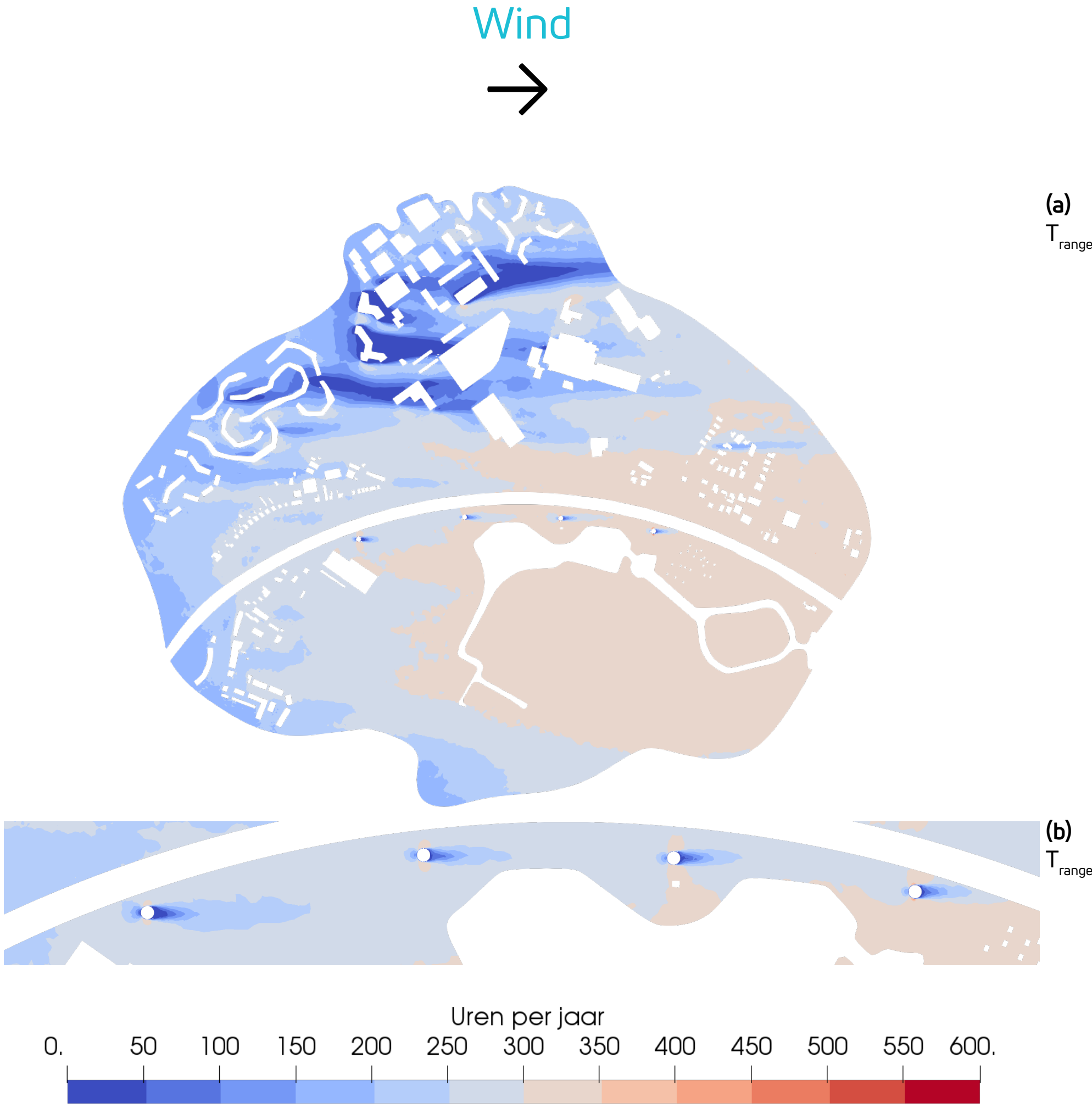
A Bijlage



Figuur A.9:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)

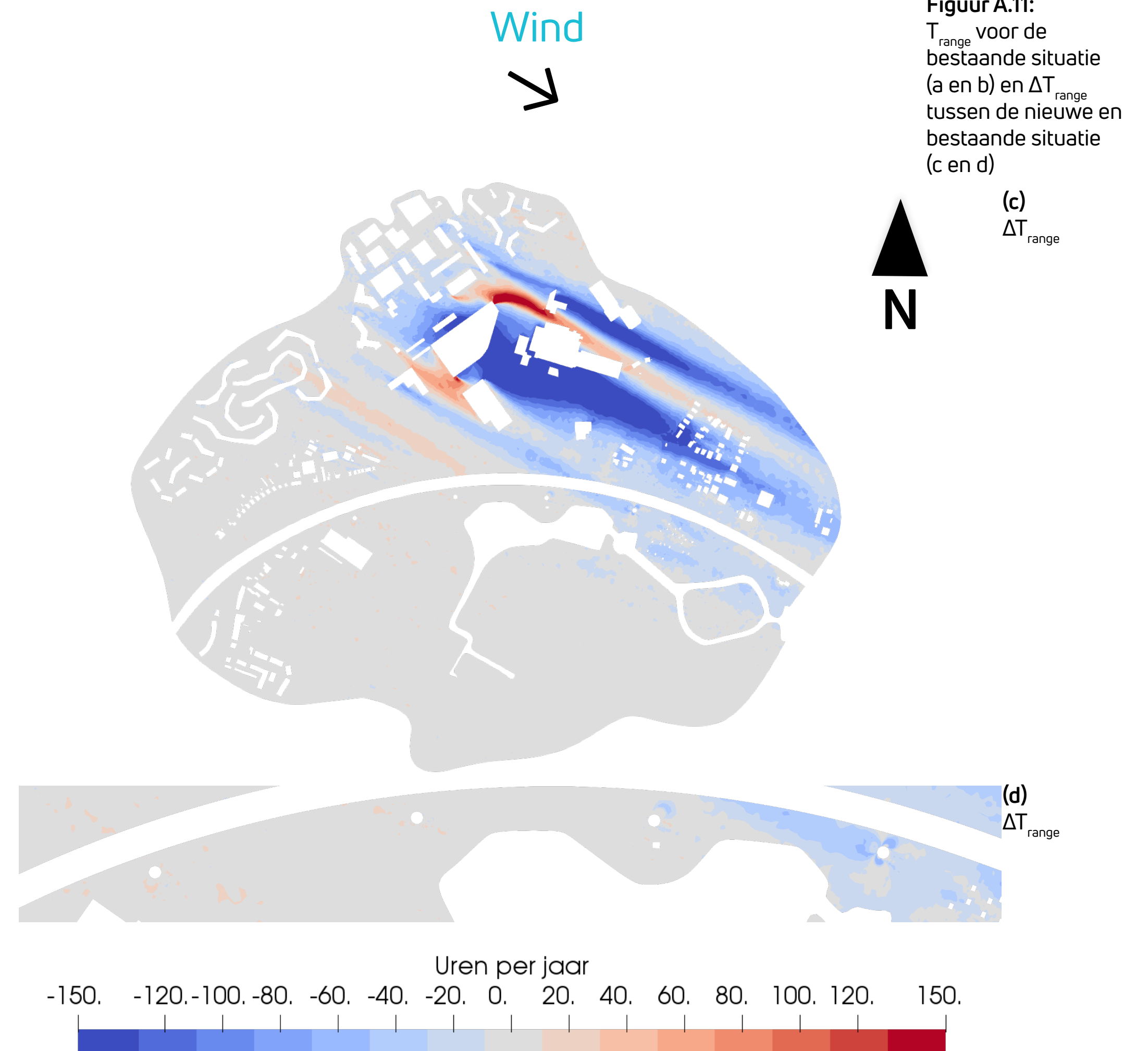
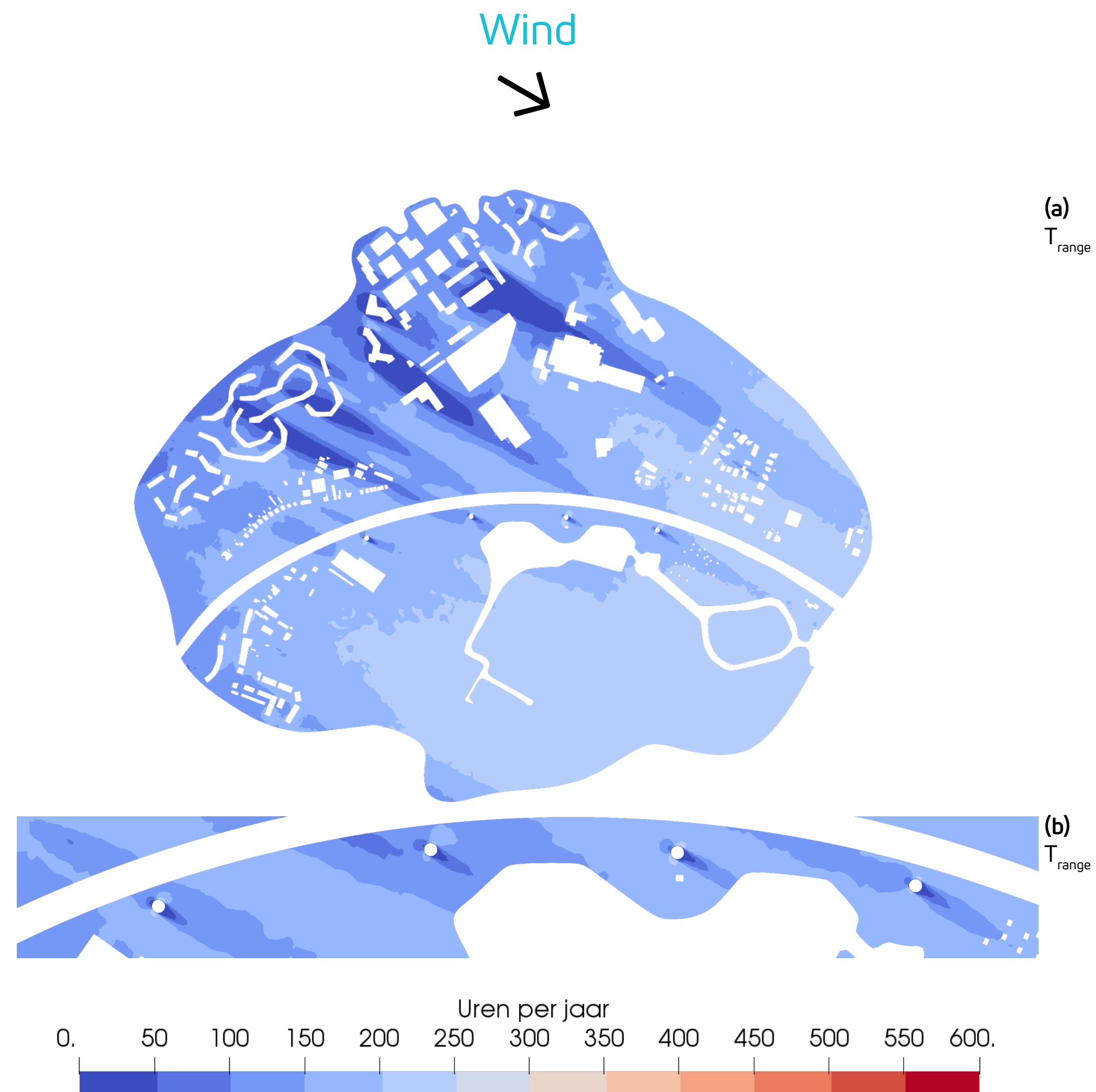


A Bijlage



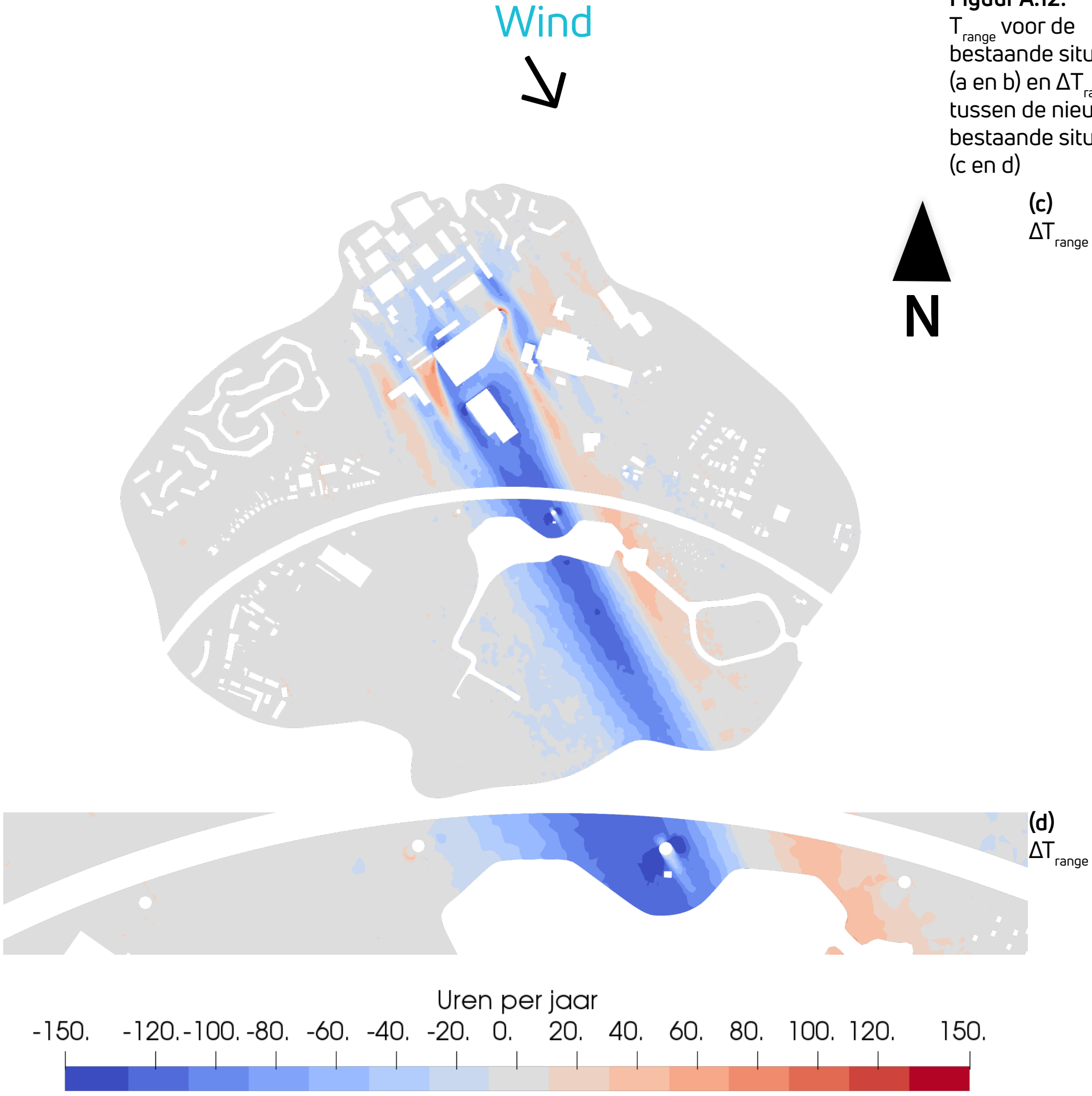
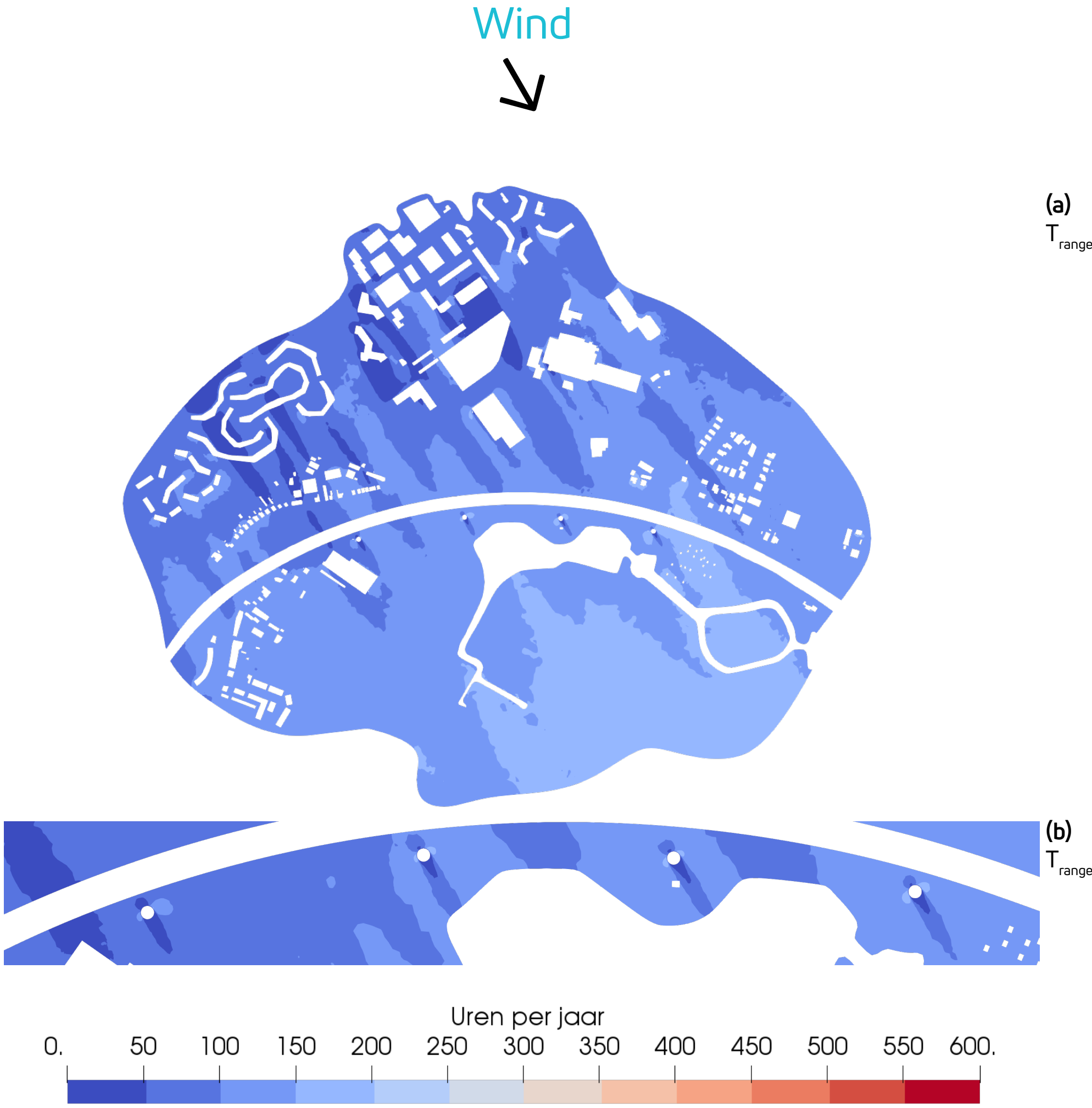
Figuur A.10:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)

A Bijlage



Figuur A.11:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)

A Bijlage



Figuur A.12:
 T_{range} voor de
bestaande situatie
(a en b) en ΔT_{range}
tussen de nieuwe en
bestaande situatie
(c en d)



Actiflow BV
Halstraat 31a
4811 HV Breda
+31 (0)76 5422 220
contact@actiflow.com
www.actiflow.nl