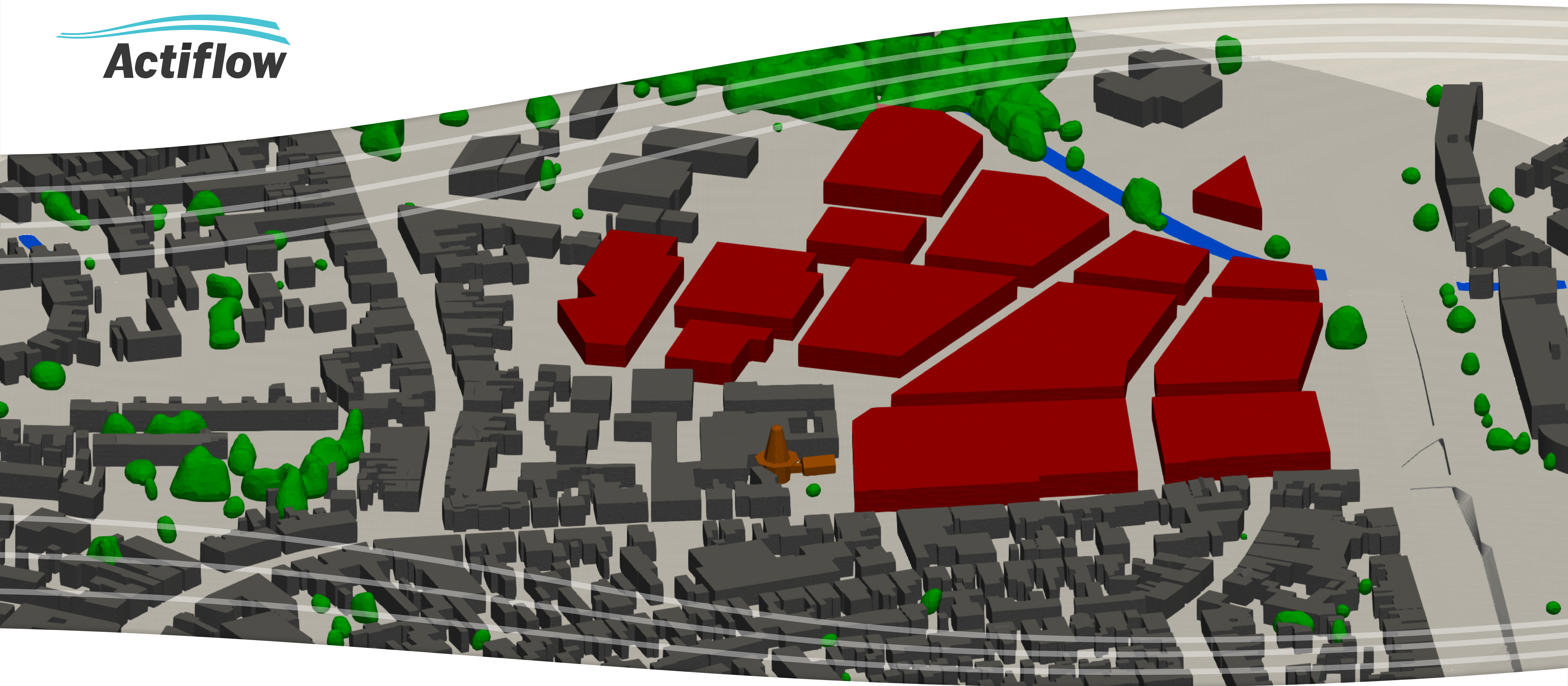




Achter de Molen te Almelo

CFD-molenbiotooponderzoek

Achter de Molen te Almelo
CFD-molenbiotooponderzoek

Opdrachtgever	Antea Nederland B.V.
Contactpersoon opdrachtgever	Karst Keijzers
Projectnummer	2025015
Rapportversie	1.0
Status	Definitief
Datum	18 april 2025
	©2025 Actiflow BV

Auteur ir. Daan Jongerius



Controleur ing. Marc Koops



Actiflow BV
Tramsingel 5
4814 AB Breda
+31 (0)76 5422 220
contact@actiflow.com
www.actiflow.com

Inhoudsopgave

1.	Introductie	4
2.	Opzet van de berekening	6
	2.1 Software	
	2.2 Geometrie en rekenrooster	
	2.3 Aannames en randvoorwaarden	
3.	Resultaten	8
4.	Conclusie	12
A	t_{range} voor individuele windrichtingen (Huidige situatie)	13

1 Introductie

Voorliggende rapportage omschrijft een windonderzoek uitgevoerd door [Actiflow](#) in opdracht van Antea Group. In het onderzoek is de windvang van een historische windmolen onder invloed van de nieuwbouw van Achter de Molen te Almelo onderzocht.

Op een afstand van ongeveer 40 tot 400 m van de nieuwbouw is een historische windmolen gelegen aan de Nieuwstraat, 'Korenmolen De Hoop'. De toevoeging van de nieuwbouw kan een verandering in het lokale windklimaat veroorzaken, welke op zijn beurt de werking van de oude windmolen kan beïnvloeden. In dit onderzoek worden drie varianten van het bestemmingsplan beschouwd die onderling variëren in maximale bouwhoogte van circa 9 tot 12 m. In de nieuwe situatie zal er rondom het kavel ook vegetatie worden verwijderd, die in de huidige situatie wel aanwezig is (figuur 1.1).

Om de invloed van de nieuwbouw inzichtelijk te maken is [Actiflow](#) gevraagd een windonderzoek uit te voeren, welke in onderhavige rapportage wordt gepresenteerd. Het doel van dit onderzoek is om de potentiële verandering van de operationele tijd voor elke windmolen als gevolg van de aanwezigheid van de nieuwbouw te kwantificeren.

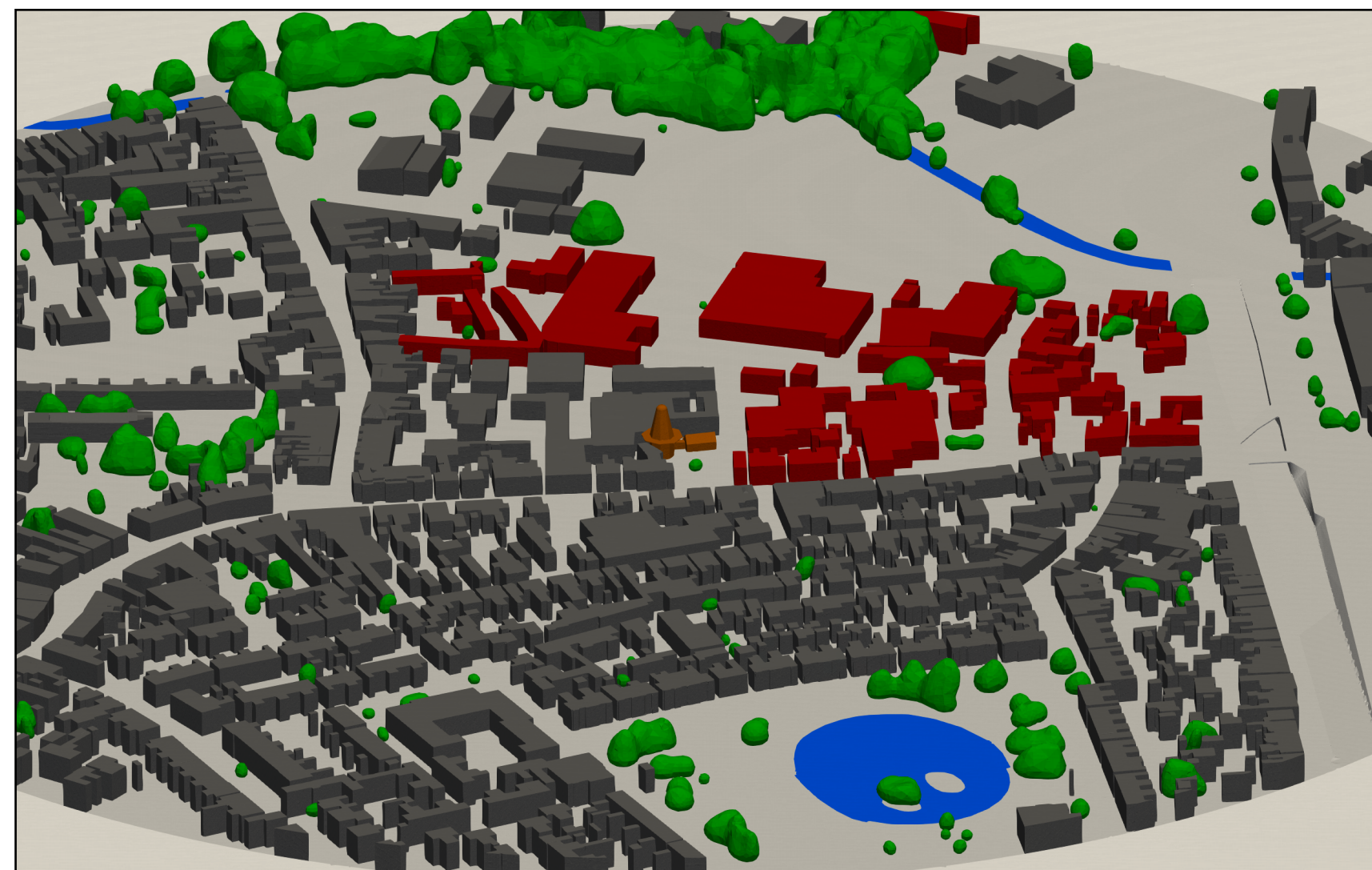
Voorliggende rapportage geeft dan ook informatie betreffende de wijzigingen in de windvang van de nabijgelegen windmolen bij toevoeging van de nieuwbouw en nieuwe vegetatie. De resultaten zijn hierbij vergeleken tussen de huidige situatie (alle bouwvolumes opgetrokken tot de maximaal toegestane hoogte binnen de molenbiotoopformule) en drie varianten van het bestemmingsplan (figuur 1.2).

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

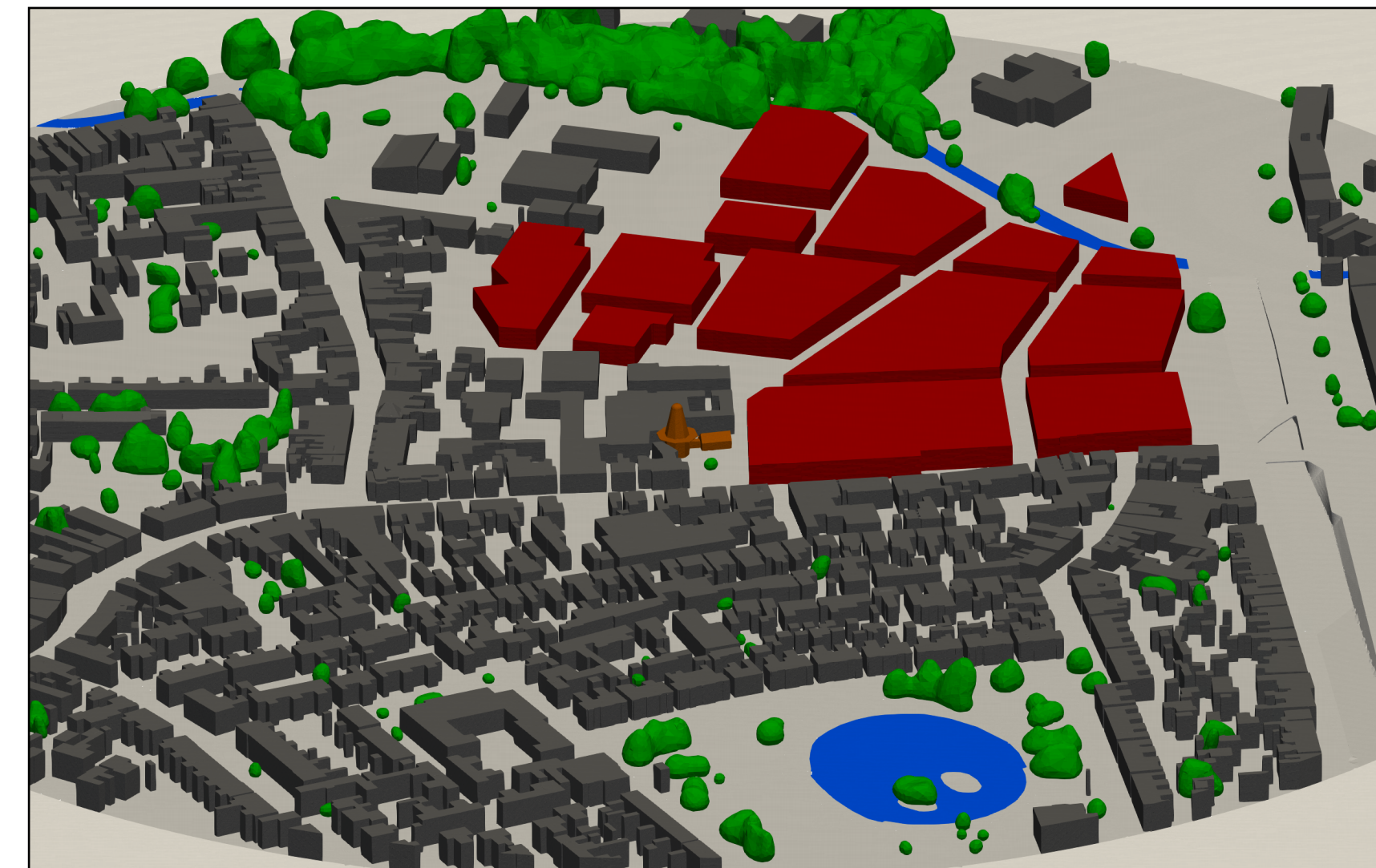
De gebruikte geometrie van het gebouw, de omgeving, het rekendomein en de bijbehorende randvoorwaarden zijn weergegeven in hoofdstuk 2. De resultaten van de berekeningen worden besproken in hoofdstuk 3, waarna de conclusies volgen in hoofdstuk 4.



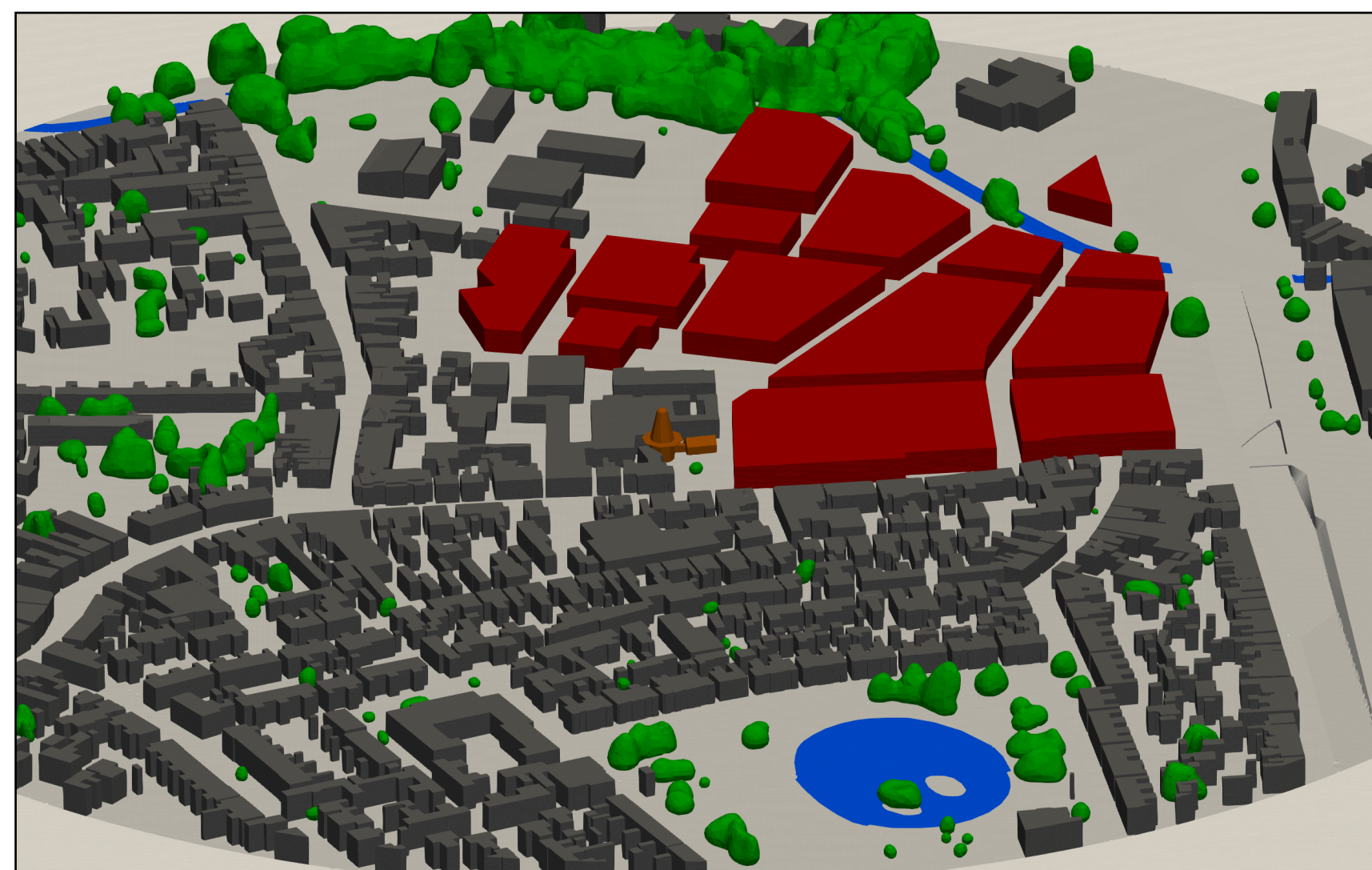
Figuur 1.1:
Impressie van de
huidige situatie.
Zicht uit het zuiden



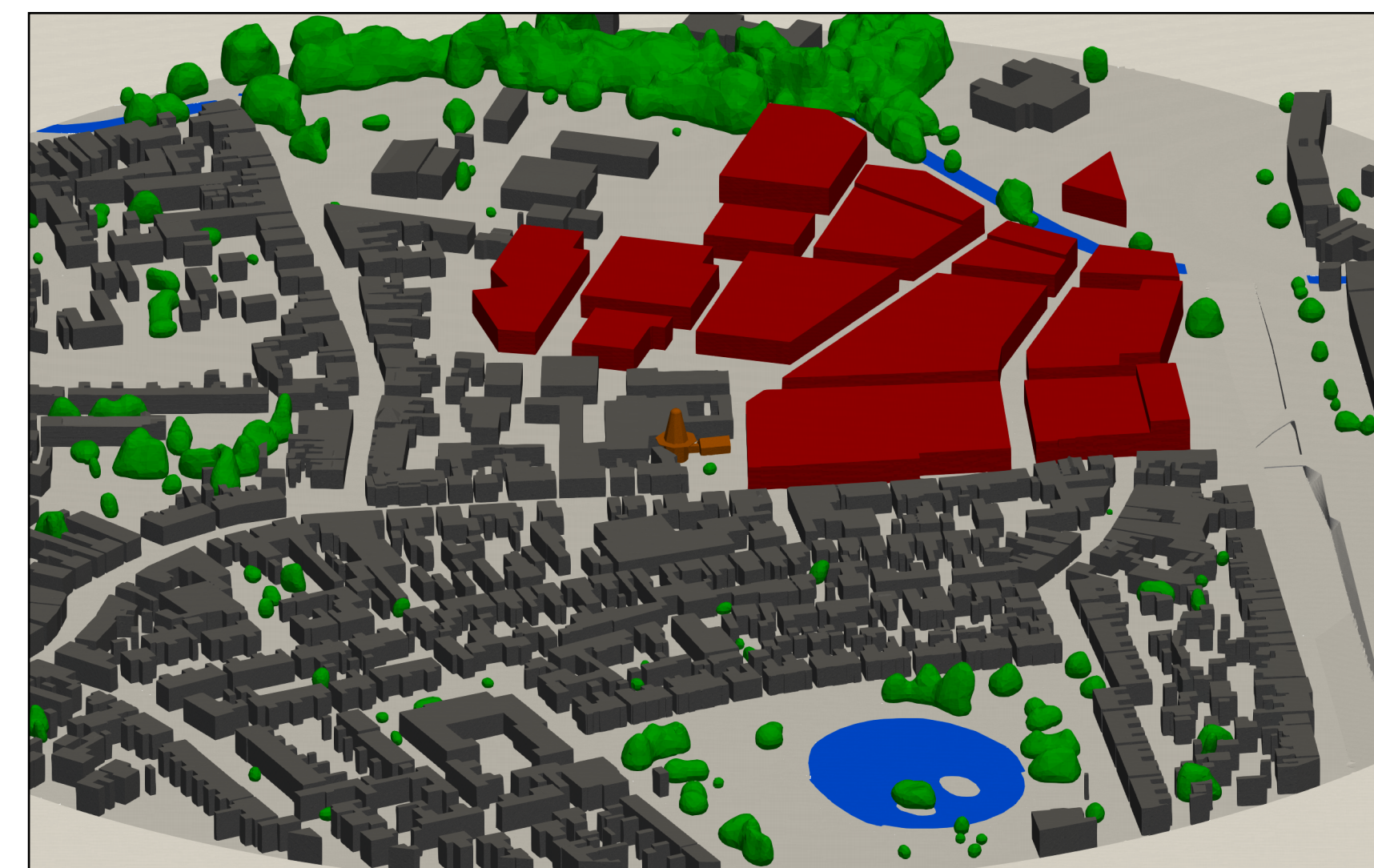
(a)
Huidige situatie (max 8,4m)



(c)
Variant 1 (max 9 m)



(b)
Variant 2 (max 10 m)



(d)
Variant 3 (max 12 m)

Figuur 1.2:
Impressie van de
nieuwbouw.
Zicht uit het zuiden

2 Opzet van de berekening

2.1 Software

De berekeningen zijn uitgevoerd met behulp van OpenFOAM v2406, 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 $k-\omega$ SST model.

2.2 Geometrie en rekenrooster

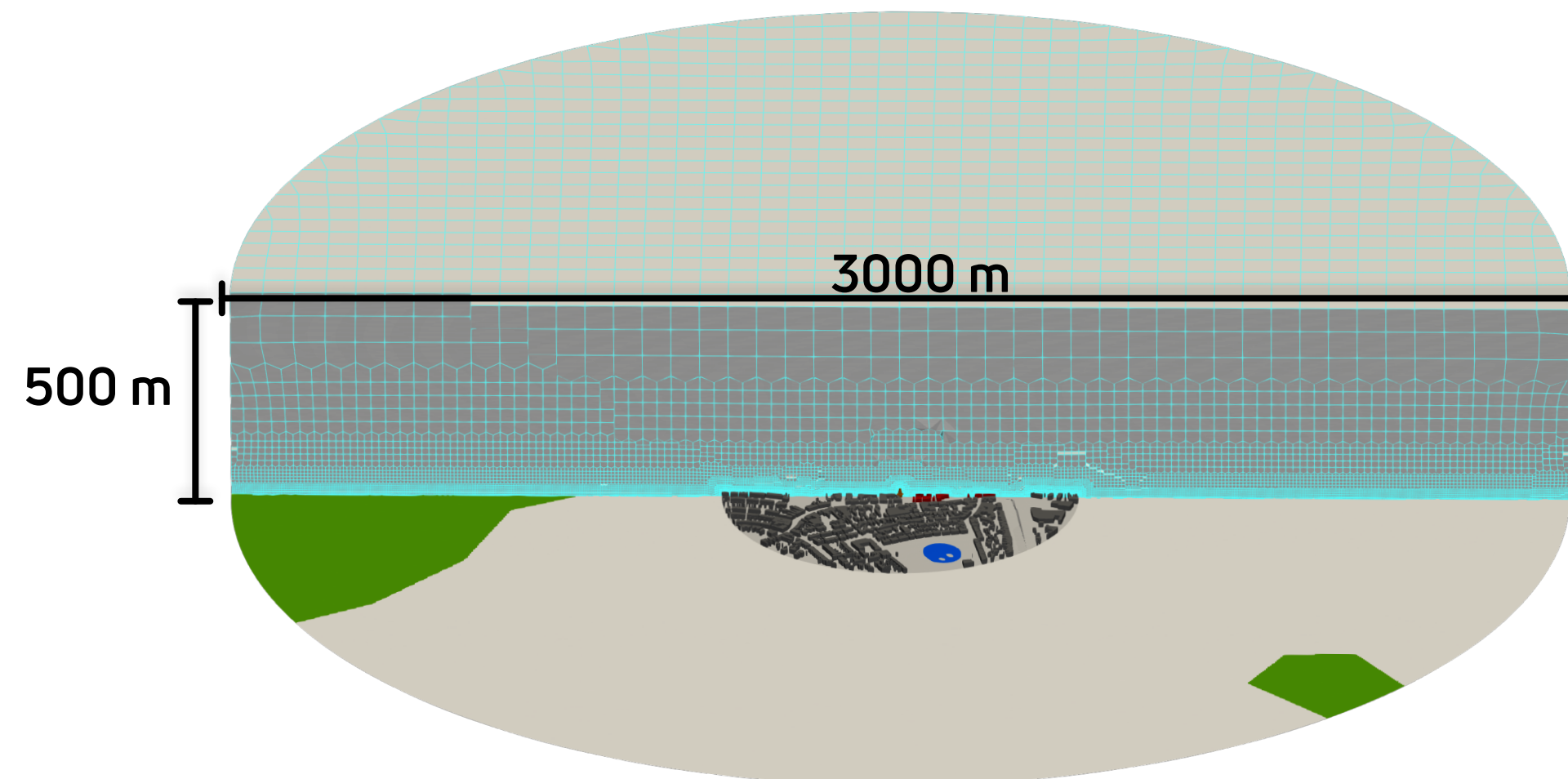
De geometrie van de modellen zijn gebaseerd op de verkregen tekeningen en modellen van de opdrachtgever. De 3D-modellen zijn weergegeven in figuur 1.1, 1.2 en 2.1. De modellen omvatten alle gebouwen binnen een straal van ruim 400 meter rond de nieuwbouw en de molen.

De omliggende bebouwing is als eenvoudige massa's weergegeven. Deze omliggende bebouwing is gemodeleerd naar wat volgens de molenbiotoopformule de maximale bouwhoogte is. Hiermee wordt een fictieve situatie gecreëerd, welke weer geeft wat het resultaat zou zijn als alle bebouwing tot de maximale hoogte wordt gebouwd. De omliggende bebouwing kan in twee zones worden opgedeeld:

- Tot 220 m van de molen is de hoogte van de omliggende bebouwing 8,4m.
- Van 220 tot 400 m van de molen wordt de maximale bouwhoogte bepaald door gebruik te maken van de molenbiotoopformule. Buiten 400 m van de molen geldt er geen beperking meer op de bouwhoogte.



Figuur 2.1:
Impressie van het
model (Variant 1)
Zicht uit het zuiden



Figuur 2.2:
Impressie rekengrid
(Variant 1)
Zicht uit het zuiden

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 34 542 762 cellen voor de Huidige situatie, 34 155 321 cellen voor Variant 1 (figuur 2.2), 34 157 819 cellen voor Variant 2 en 34 293 124 cellen voor Variant 3. Over het grondoppervlak en de bebouwing zijn vijf lagen met anisotrope verfijning geplaatst. Hierbij is de resolutie hoger loodrecht op de betreffende wand. Deze lagen zorgen voor een betere berekening van de snelheidsgradiënt in de (atmosferische) grenslaag.

2.3 Aannames en randvoorwaarden

Voor de berekeningen is een referentie-windsnelheid van 5 m/s op een hoogte van 60 m opgegeven. Hierbij is een atmosferisch grenslaagprofiel toegepast. Er is aangenomen dat de atmosferische grenslaag een snelheidsprofiel heeft volgens vergelijking 2.1 en 2.2. 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 is κ de constante van von Kármán en die is gelijk aan 0,41. Deze empirische constante is gerelateerd aan het modelleren van grenslagen. Ook de turbulente grootheden k en ω verlopen volgens een voorgeschreven profiel, zoals aangegeven in vergelijking 2.3 en vergelijking 2.4. Hierin heeft C_μ de waarde 0,09. Deze empirische constante komt voort uit het gebruikte turbulentiemodel (SST k- ω).

$$U_n(z) = \left(\frac{U^*}{\kappa} \right) \ln \left(\frac{z + z_0}{z_0} \right) \quad 2.1$$

$$U^*(z_0, U_{ref}, z_{ref}) = \frac{\kappa \cdot U_{ref}}{\ln \left(\frac{z_{ref} + z_0}{z_0} \right)} \quad 2.2$$

$$k(z) = \frac{U^{*2}}{\sqrt{C_\mu}} \quad 2.3$$

$$\omega(z) = \frac{U^*}{\kappa(z - z_{ground} + z_0)\sqrt{C_\mu}} \quad 2.4$$

3 Resultaten

De operationele windsnelheid van de drie 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 optredende krachten.

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 situaties. 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 $\Delta t_{\text{operational}}$.

Figuur 3.1(a en b) tonen de verdeling van t_{range} voor de huidige situatie. Dit is berekend op een hoogte van 20 m boven de grond, hetgeen gelijk is aan de hoogte van de as van de molen. In de nabijheid van de molen valt de windsnelheid ongeveer 2000 tot 2500 uur per jaar binnen het operationele bereik, met lokale verschillen.

Figuren 3.1(c en d) tonen Δt_{range} tussen de huidige en variant 1, waar positieve waarden een uitbreiding van t_{range} als gevolg van de aanwezigheid van de nieuwbouw betekenen en negatieve waarden een vermindering van t_{range} . De close-up in figuur 3.1 t/m 3.3 laat zien dat er gemiddeld een klein verschil aanwezig is tussen de situaties. In de nabijheid van de windmolen valt deze tussen $\Delta t_{\text{range}} = -150$ en $\Delta t_{\text{range}} = +150$ 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 de windmolen opgenomen. Kijkend naar de bijdrage van elke windrichting kan de totale $\Delta t_{\text{operational}}$ worden berekend:

Variant 1: $\Delta t_{\text{operational}} = +8$ uur (+0,39% van $t_{\text{operational}}$ in de huidige situatie)

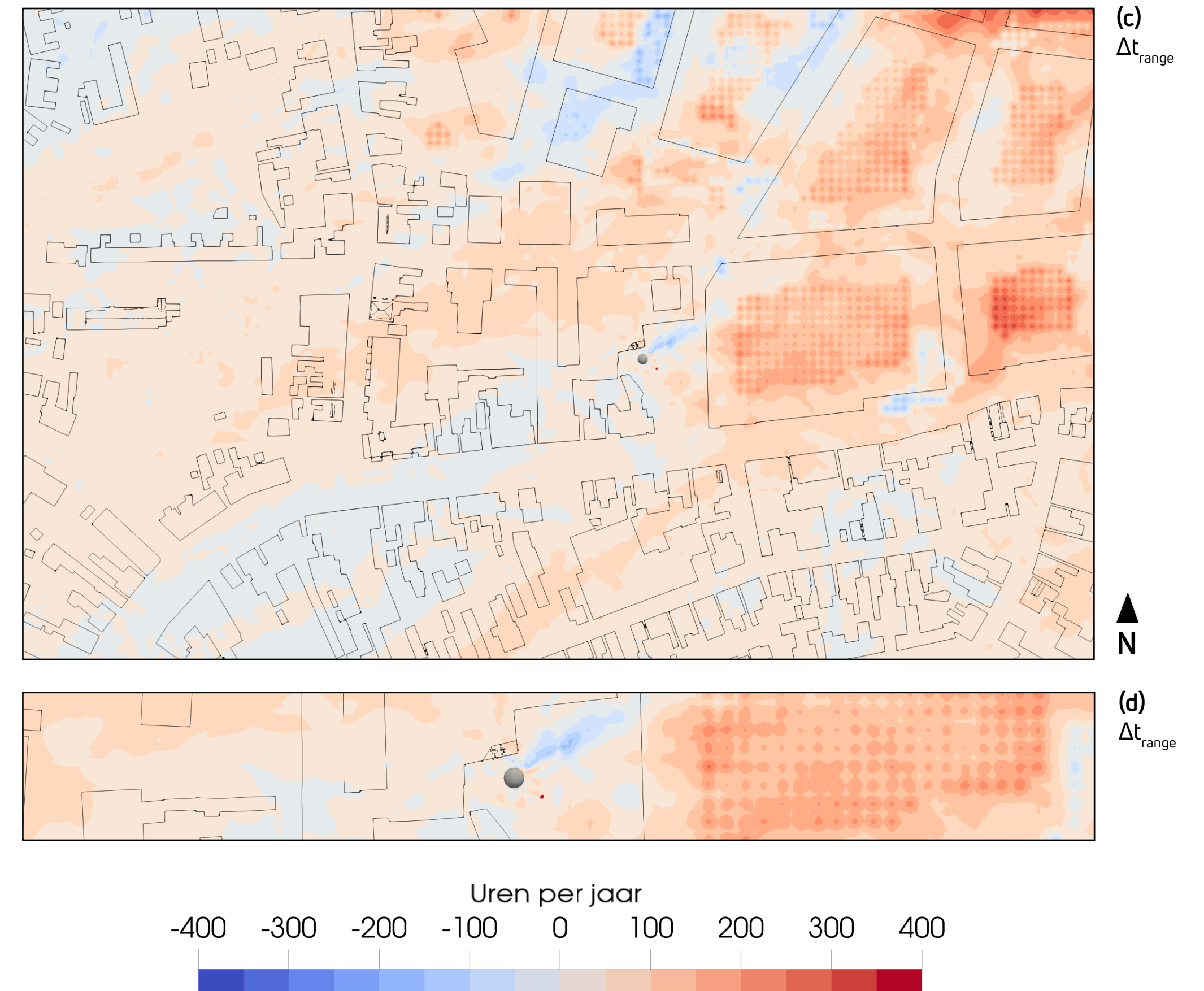
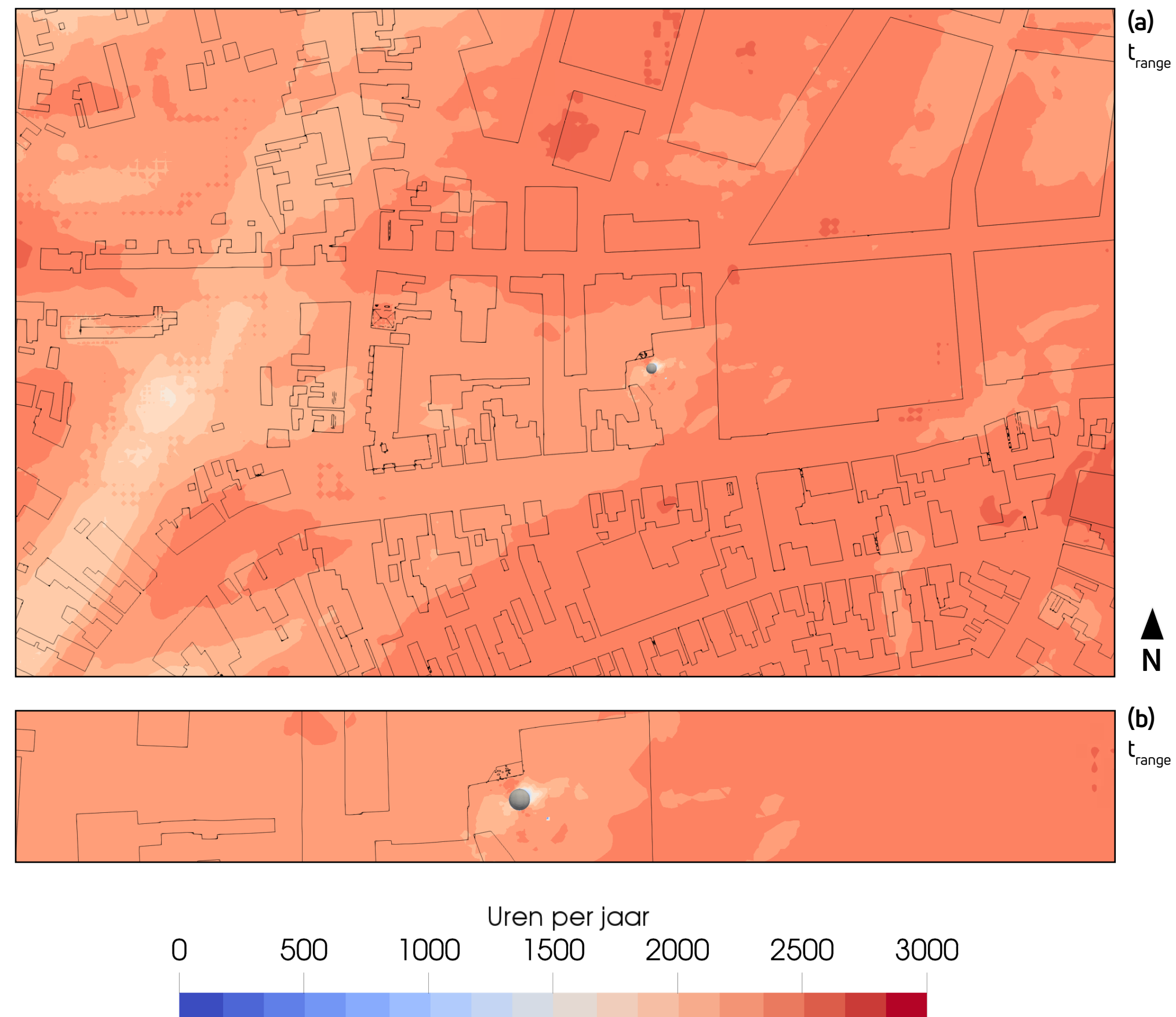
Variant 2: $\Delta t_{\text{operational}} = -12$ uur (-0,58% van $t_{\text{operational}}$ in de huidige situatie)

Variant 3: $\Delta t_{\text{operational}} = +0$ uur (+0% van $t_{\text{operational}}$ in de huidige situatie)

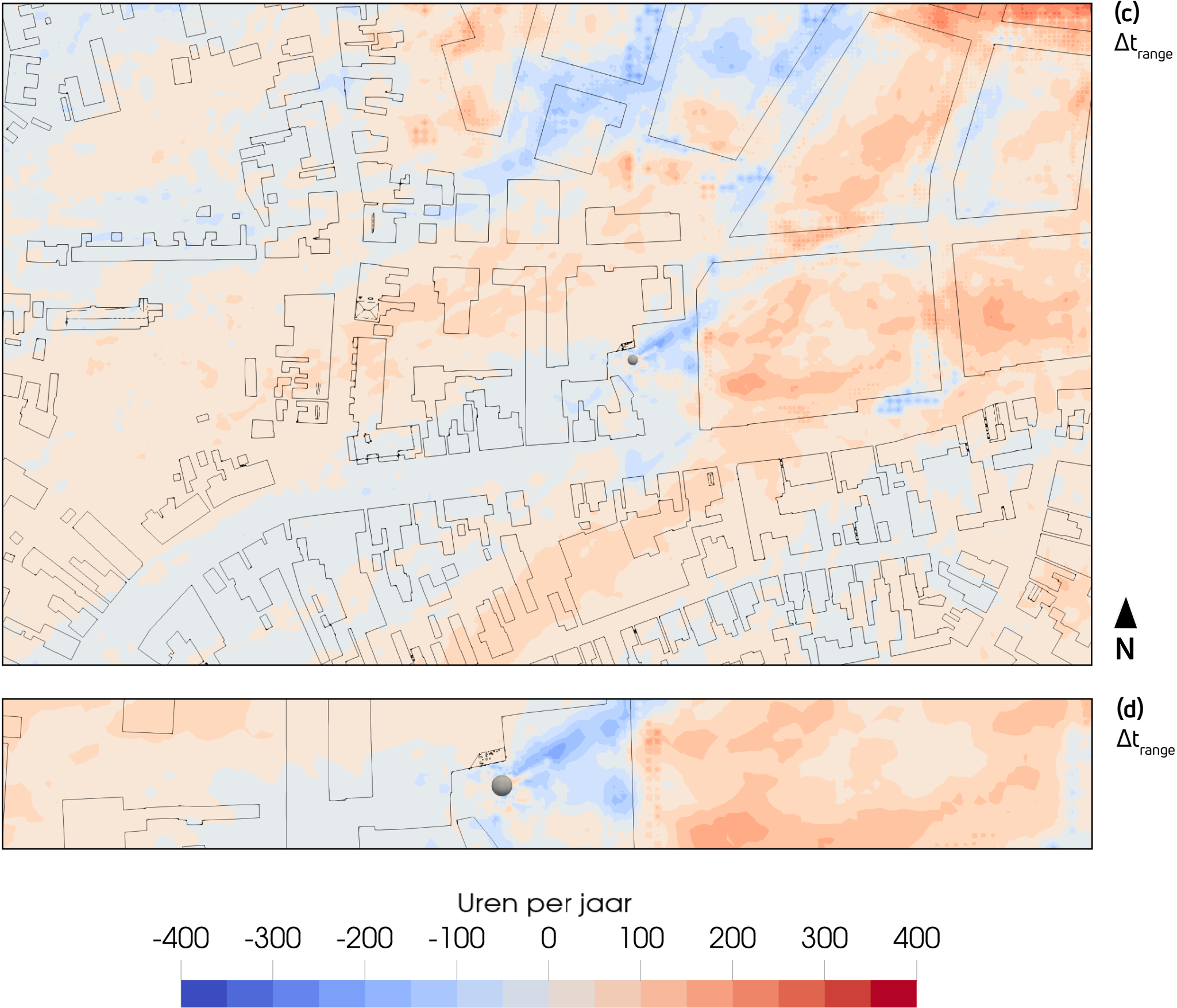
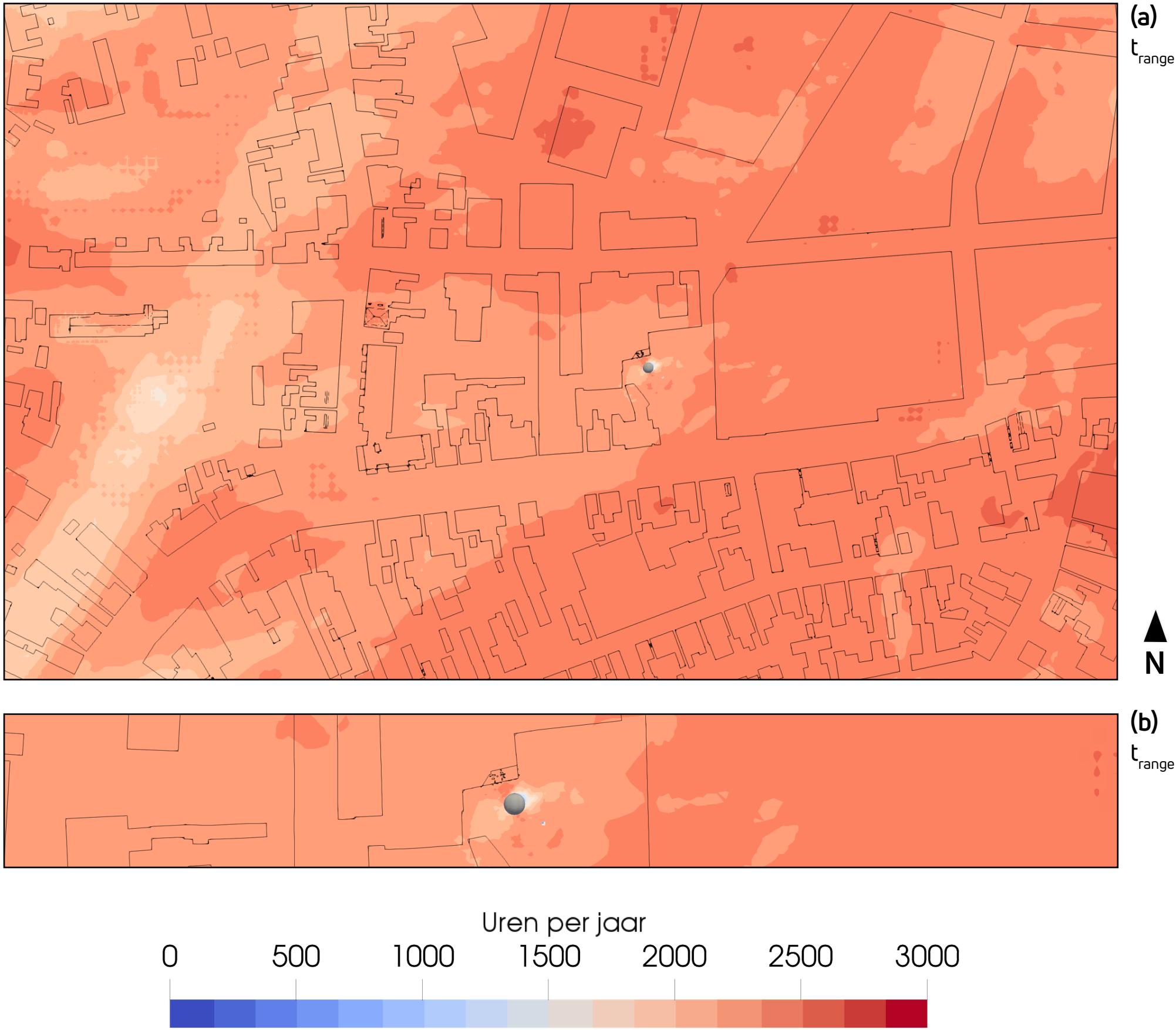
De resultaten laten zien dat in het geval van de bouwhoogte in variant 1 er zelfs een kleine toename in het aantal operationele uren van de molen is. In variant 2 is er een minimale afname in het aantal operationele uren van de molen en in variant 3 is er geen verdere toe- of afname van de operationele uren.

In bijlage A worden de resultaten van de individuele windrichtingen getoond. Hier is te zien dat de windrichtingen tussen het zuiden en zuidwesten dominant zijn. De nieuwbouw is echter ten noordoosten van de molen geplaatst, waardoor deze de dominante windstromingen niet blokkeert.

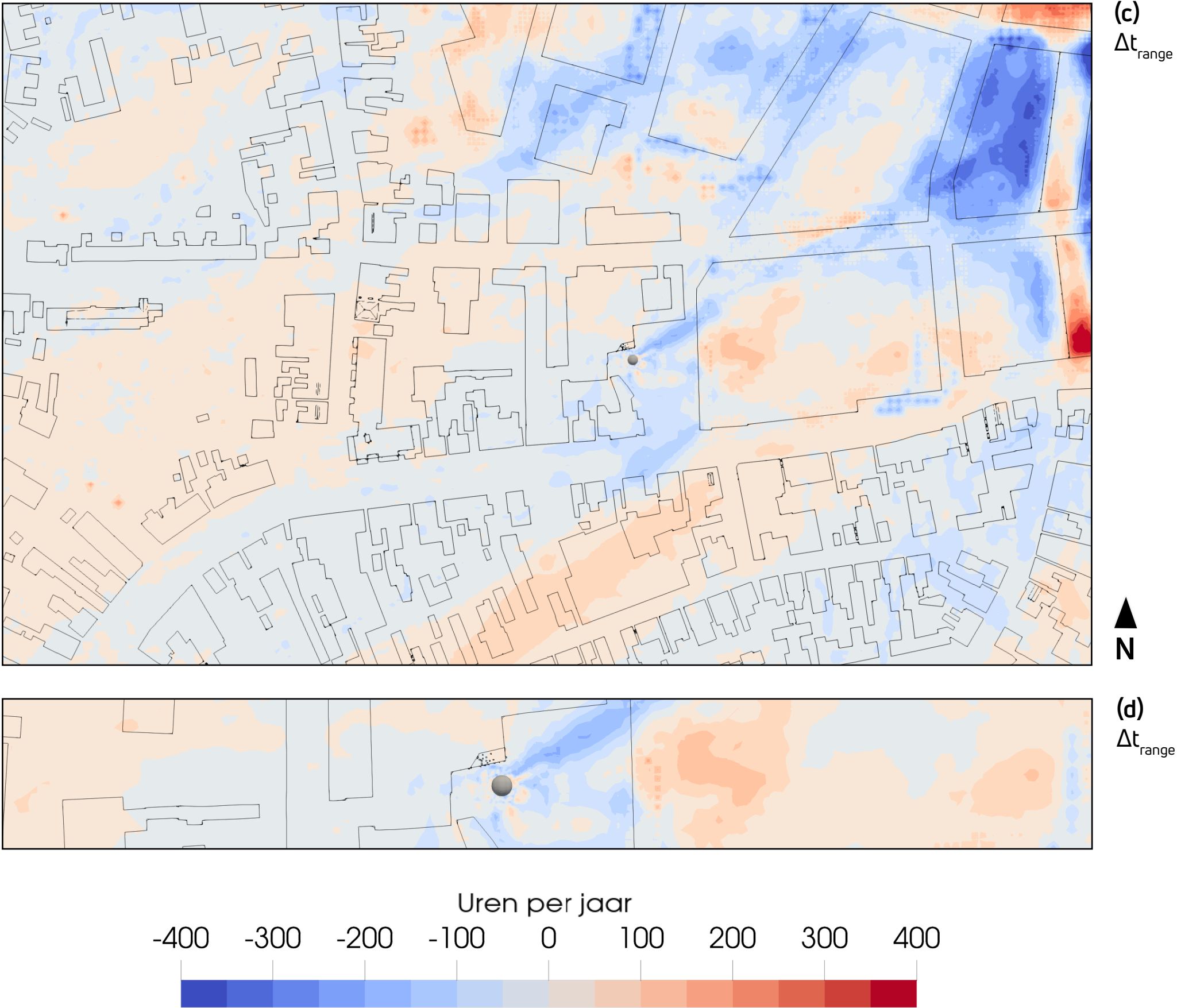
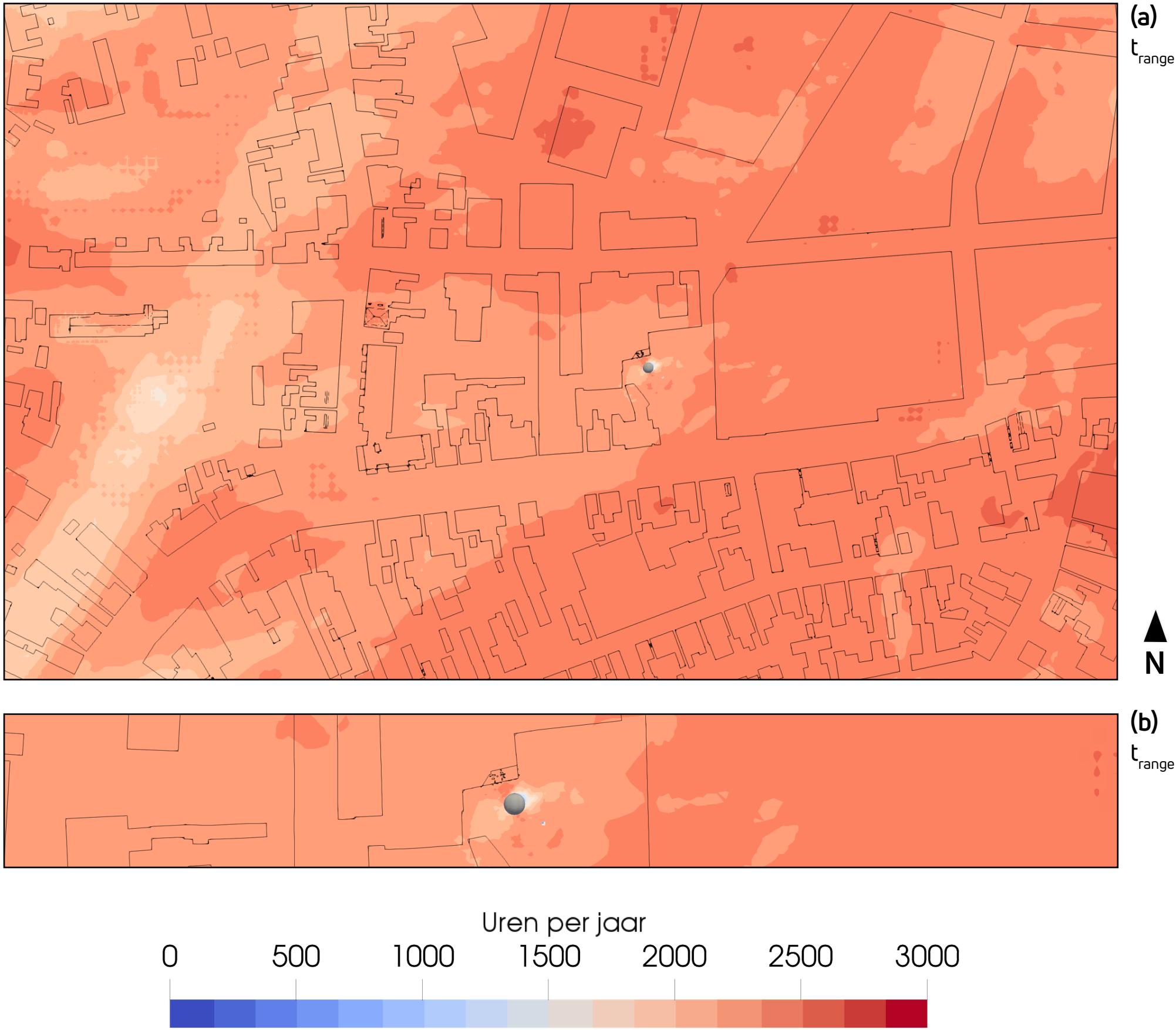
Figuur 3.1:
 t_{range} voor de huidige situatie (a en b) en
 Δt_{range} tussen het variant 1 en de huidige
 situatie (c en d)



Figuur 3.2:
 t_{range} voor de huidige situatie (a en b) en
 Δt_{range} tussen het variant 2 en de huidige
situatie (c en d)



Figuur 3.3:
 t_{range} voor de huidige situatie (a en b) en
 Δt_{range} tussen het variant 3 en de huidige
situatie (c en d)



4 Conclusie

Het windklimaat nabij de molen is met behulp van CFD-simulaties onderzocht. Het doel van dit onderzoek was om te bepalen hoeveel de operationele tijd van de windmolen zal veranderen met de toevoeging van het nieuwbouwproject "Achter de Molen te Almelo", welke tussen de 40 en 400 meter van de windmolen is gelegen. Het onderzoek is uitgevoerd door [Actiflow](#).

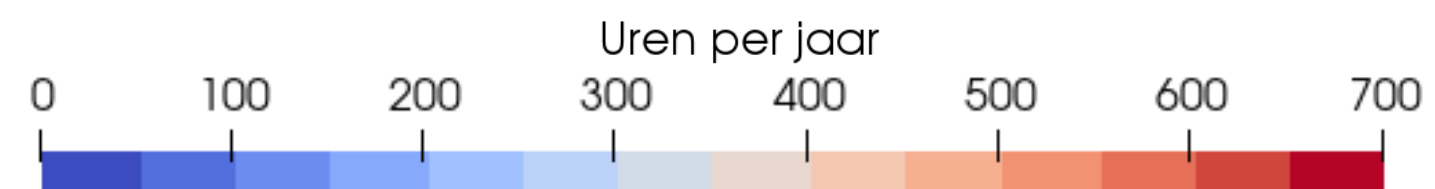
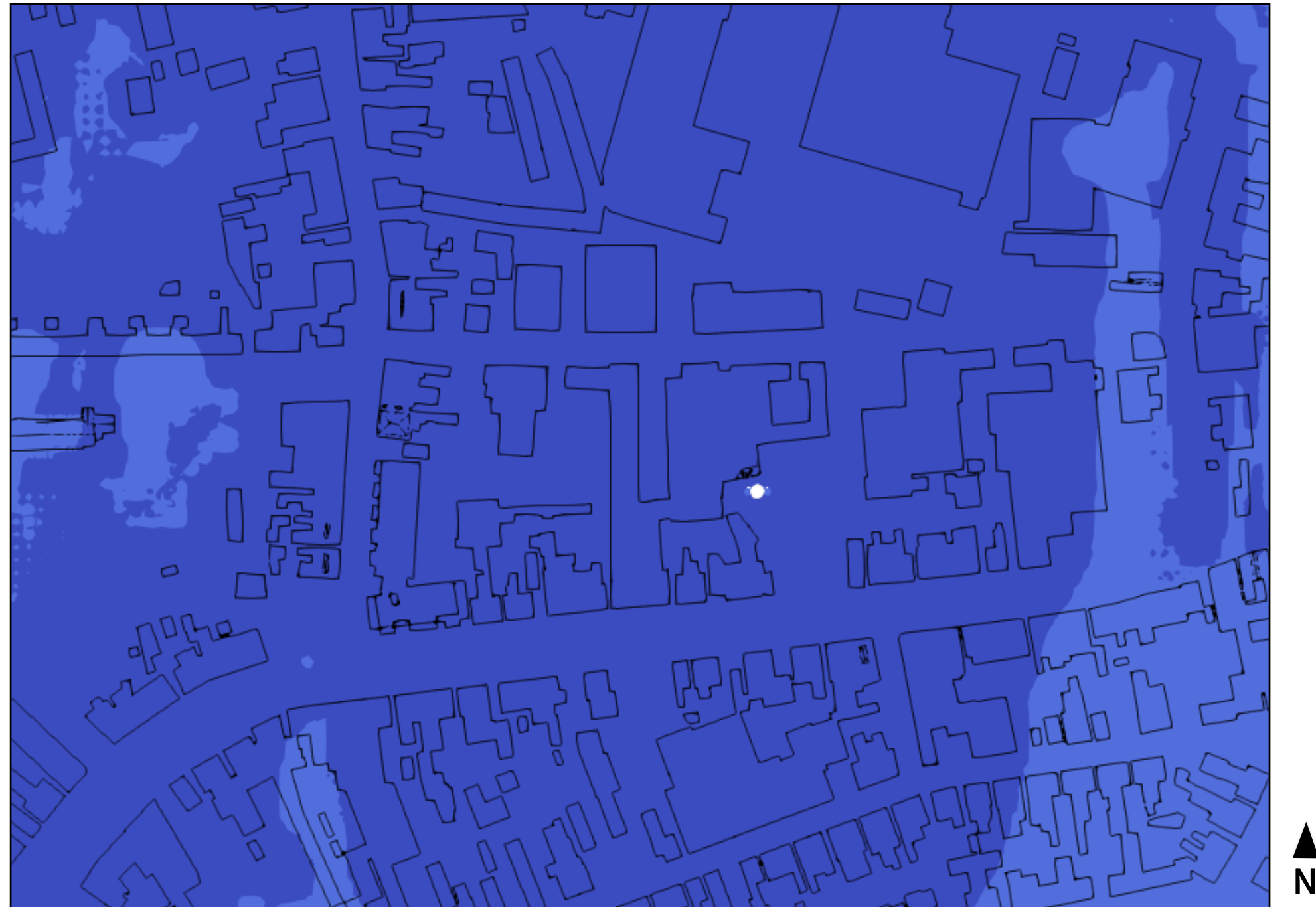
In het onderzoek is een geometrisch model van de molen, de nieuwbouw, de vegetatie en de gebouwen in de ruime omgeving hiervan opgesteld. Een rekengrid met hoge resolutie is rond deze geometrie opgetrokken als basis voor CFD-simulaties van de windstroming. In totaal zijn 96 simulaties uitgevoerd voor 12 corresponderende windrichtingen per situatie, zonder en met vegetatie. Om een vergelijking te kunnen maken is een model voor de huidige situatie en drie varianten, met verschillende hoogtes van het nieuwbouwproject Achter de Molen opgesteld en doorgerekend.

Uit de resultaten van het onderzoek is gebleken dat variant 1 van de nieuwbouw een minimaal, maar positief effect heeft op de operationele tijd van de molens. De realisatie van variant 1 zorgt voor een toename van 8 uur in $t_{\text{operational}}$ ten opzichte van de huidige situatie (+0,39%). Variant 2 zorgt voor een totale afname van slechts 12 uur (-0,58%) en Variant 3 voor geen verdere afname (+0%).

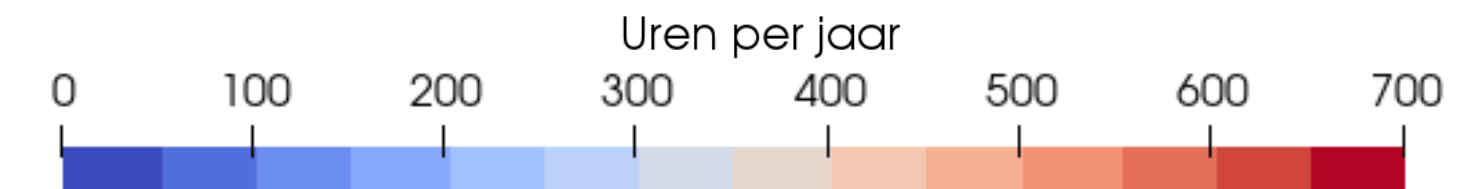
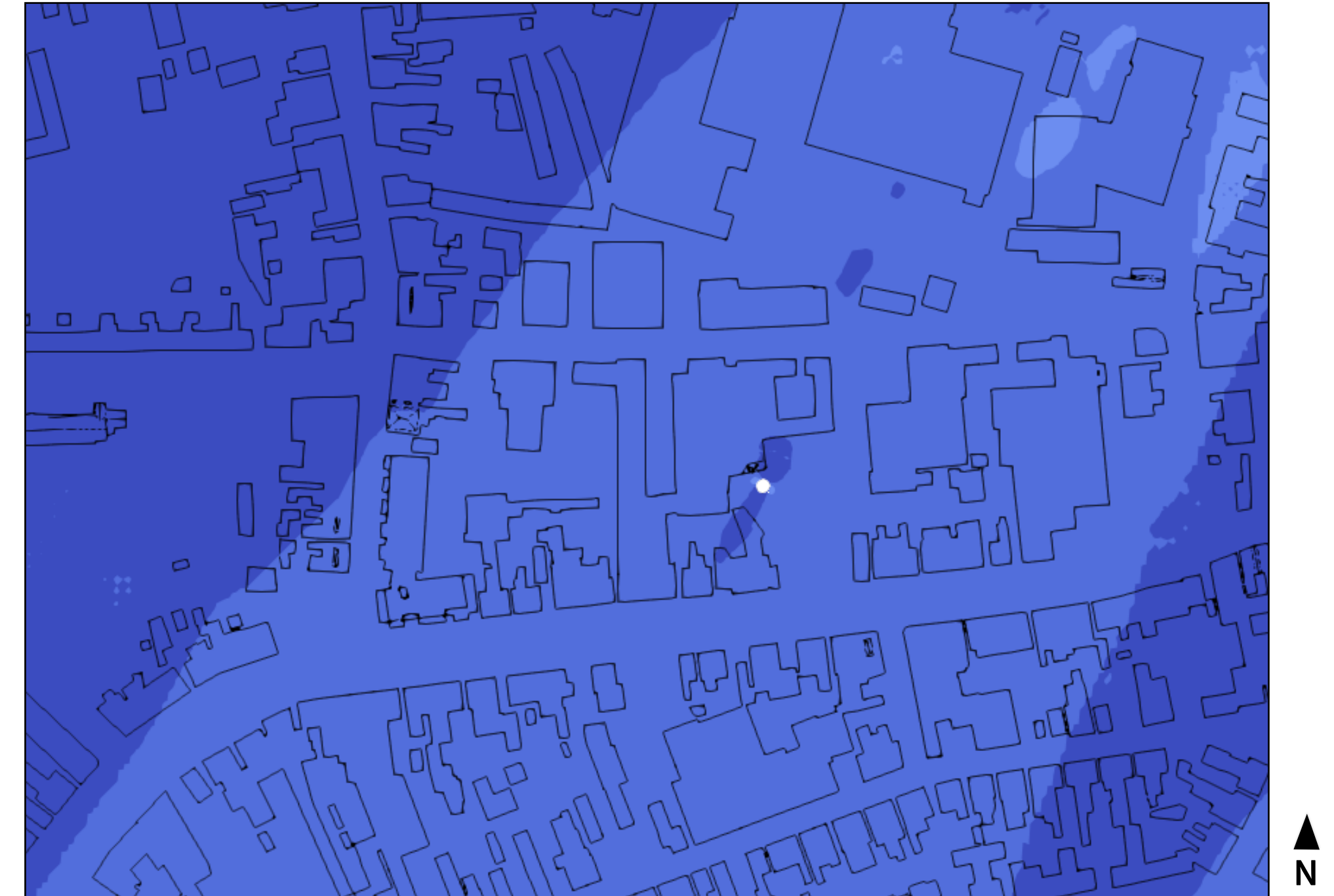
Uit de resultaten van de individuele windrichtingen wordt geconcludeerd dat de windrichtingen zuidwestzuid en westzuidwest overwegend verantwoordelijk zijn voor het aantal uren per jaar dat de wind aanstroomt binnen het operationeel bereik van de molen. De nieuwbouw wordt echter gerealiseerd ten noordoosten van de molen, waardoor deze geen significante invloed heeft op de bovengenoemde windrichtingen.

A_{t_{range}} voor individuele windrichtingen (Huidige situatie)

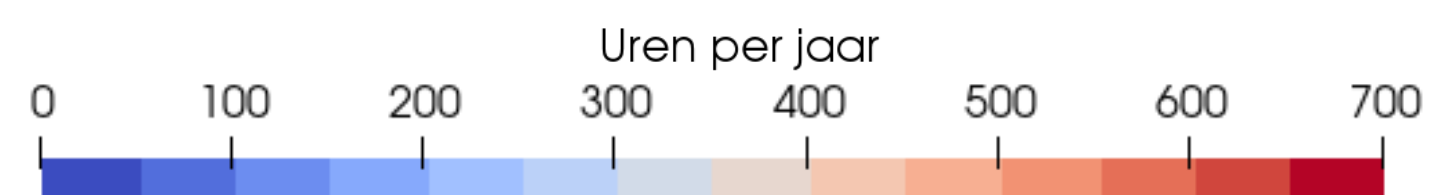
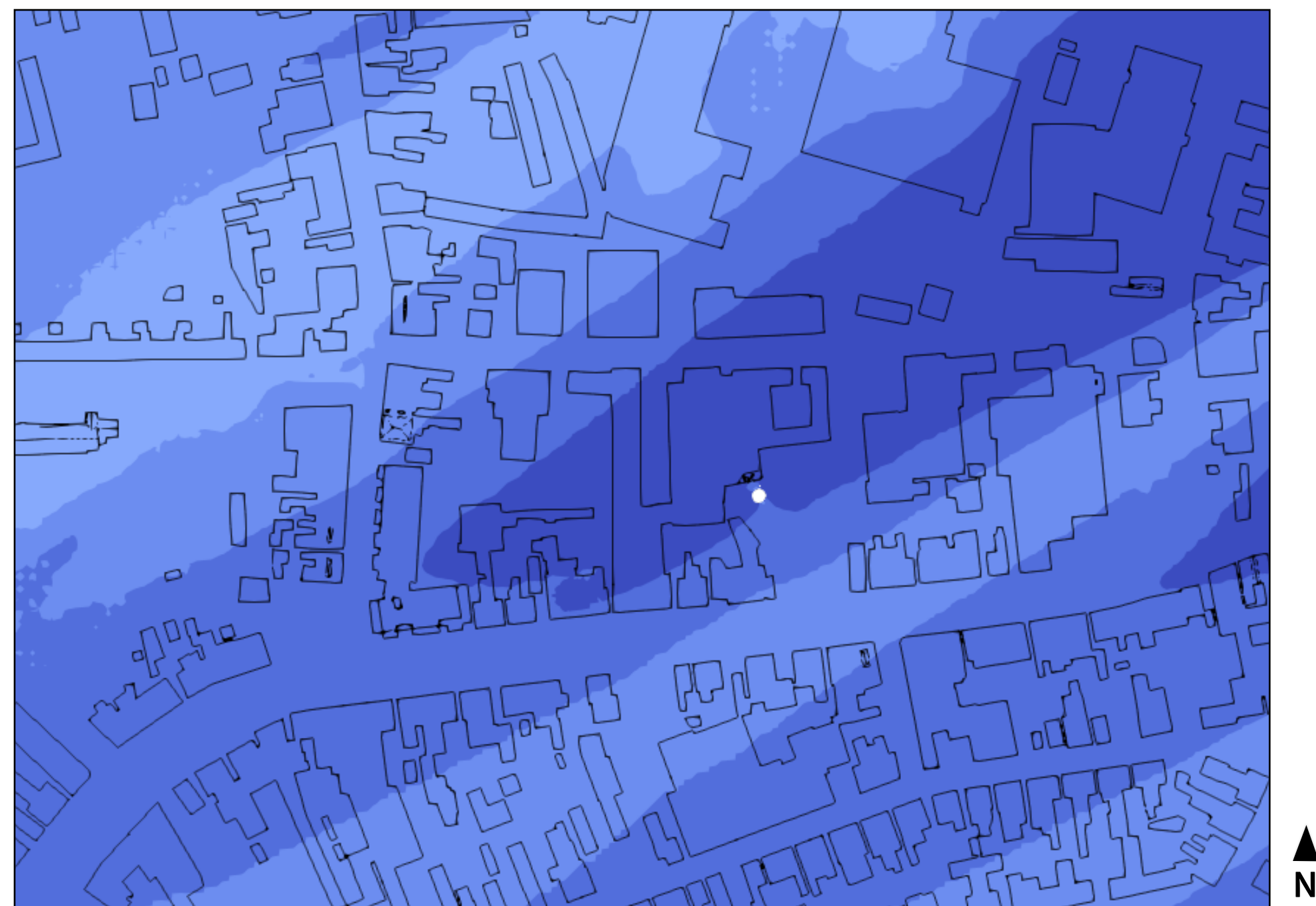
0° Noord



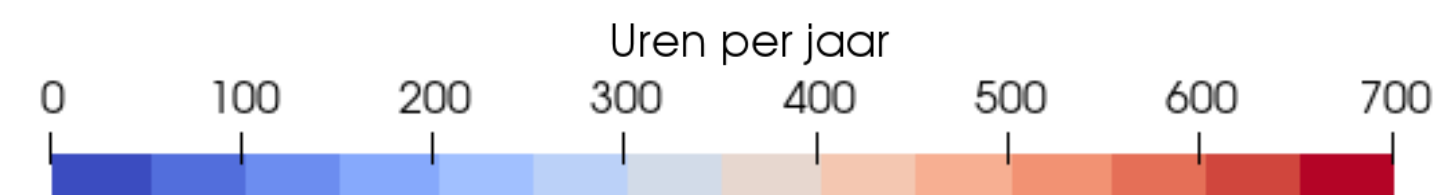
30° Noordnoordoost



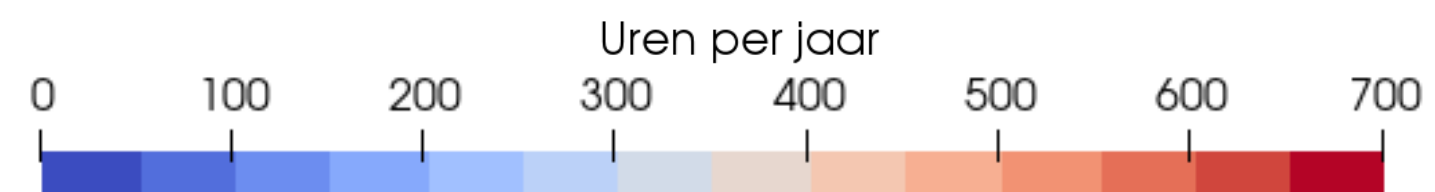
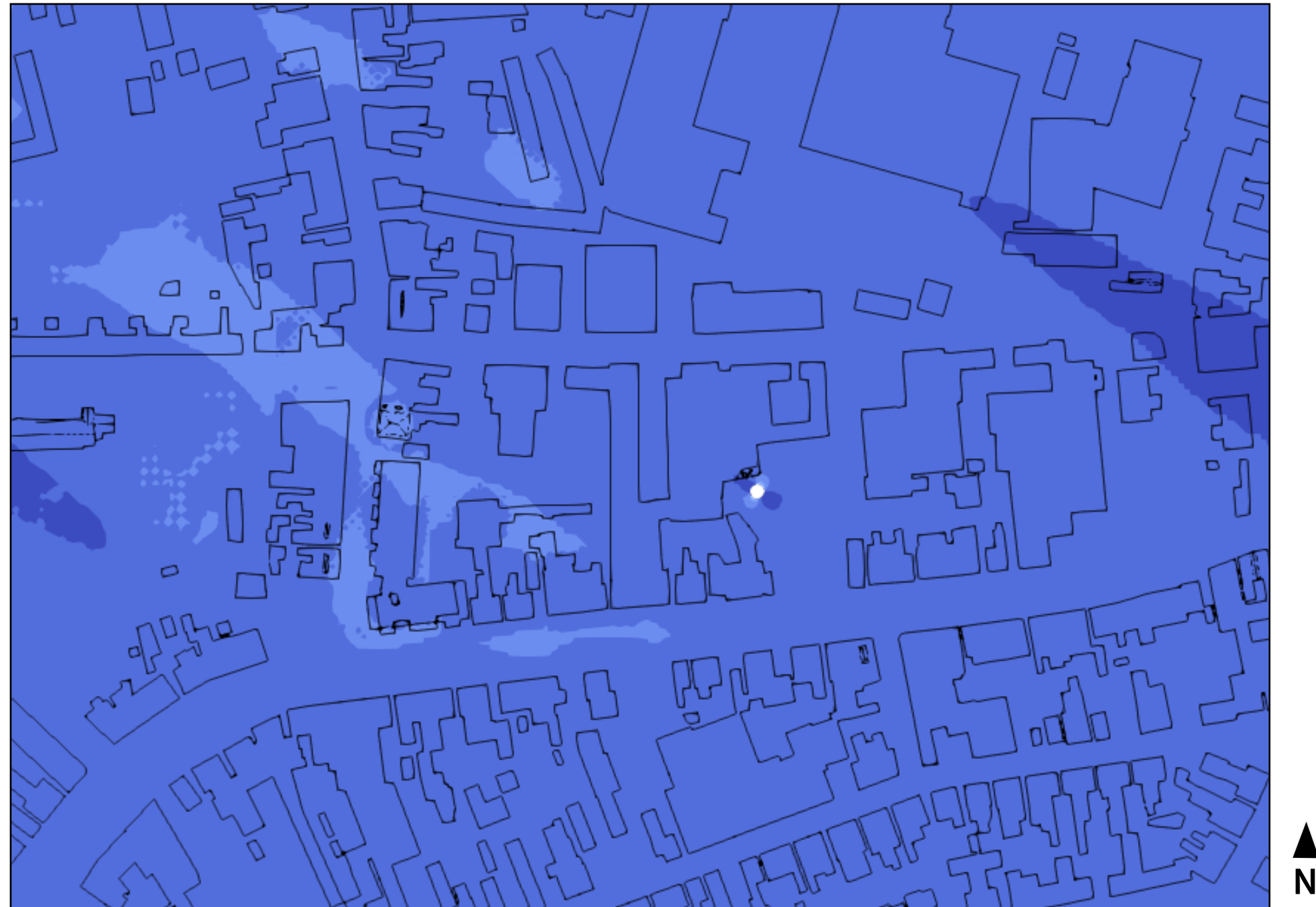
60° Oostnoordoost



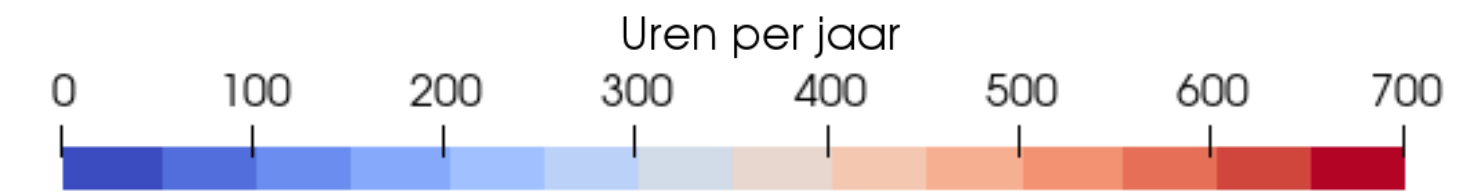
90° Oost



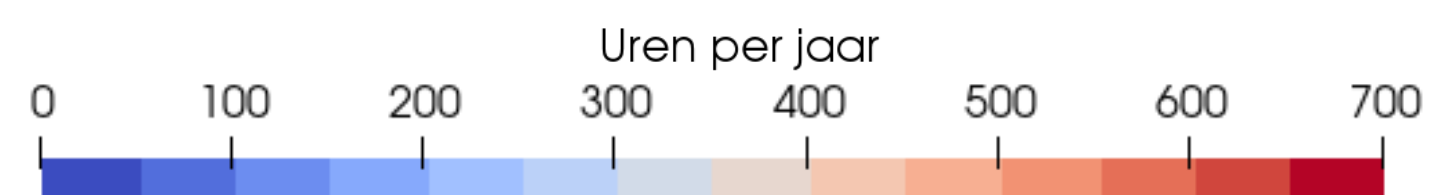
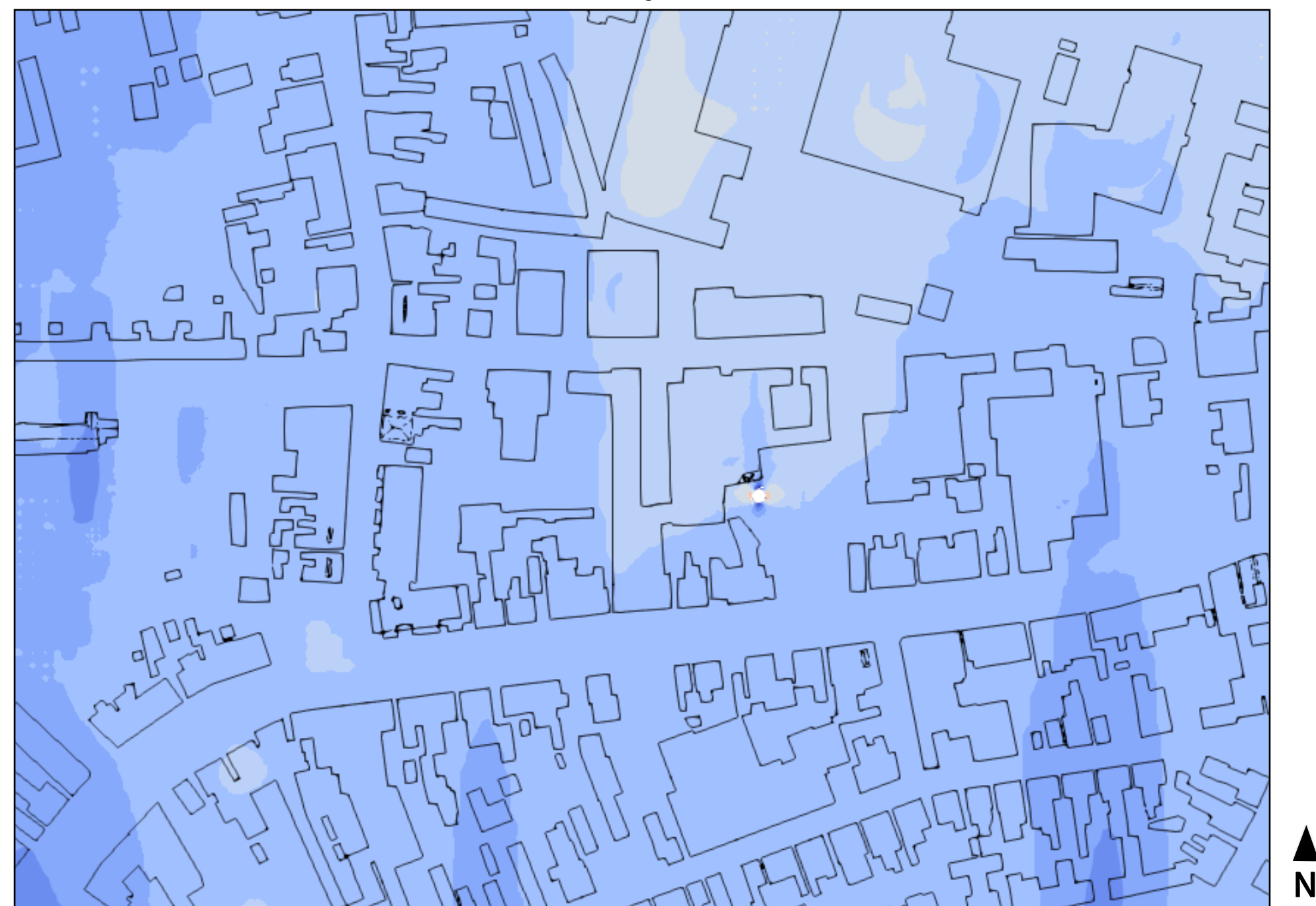
120° Oostzuidoost



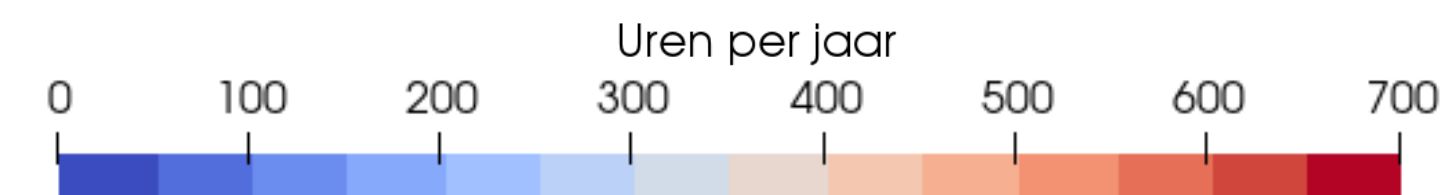
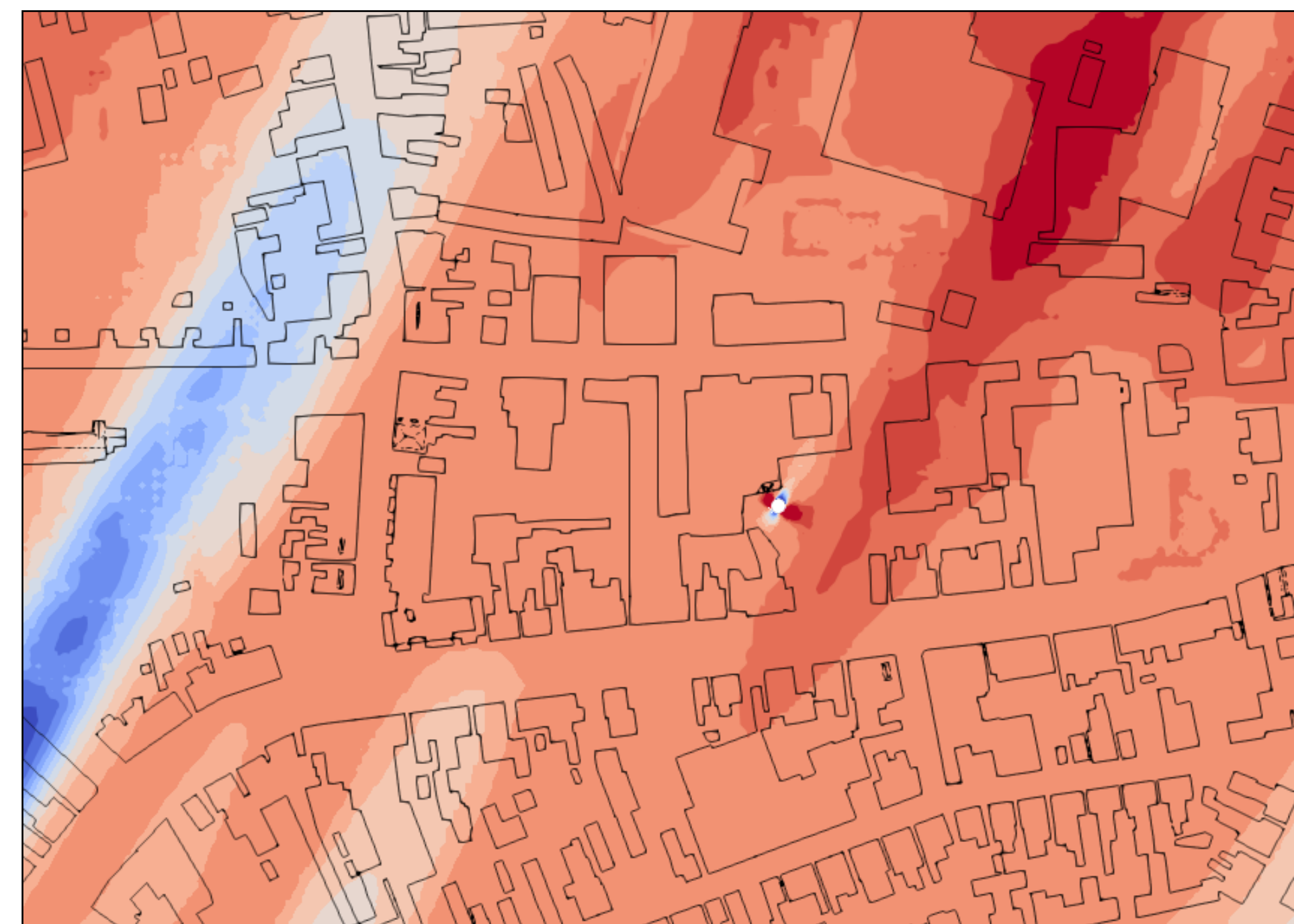
150° Zuidoostzuid



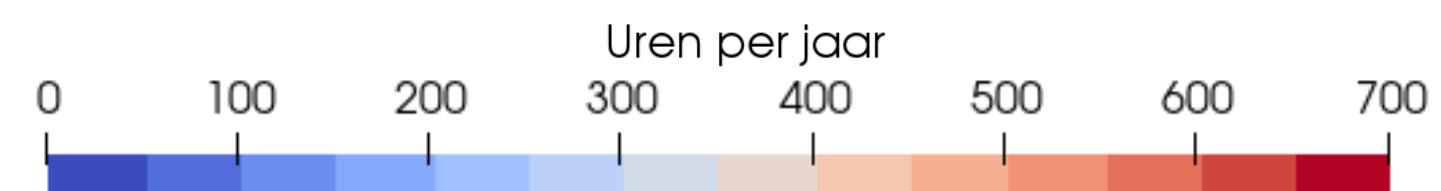
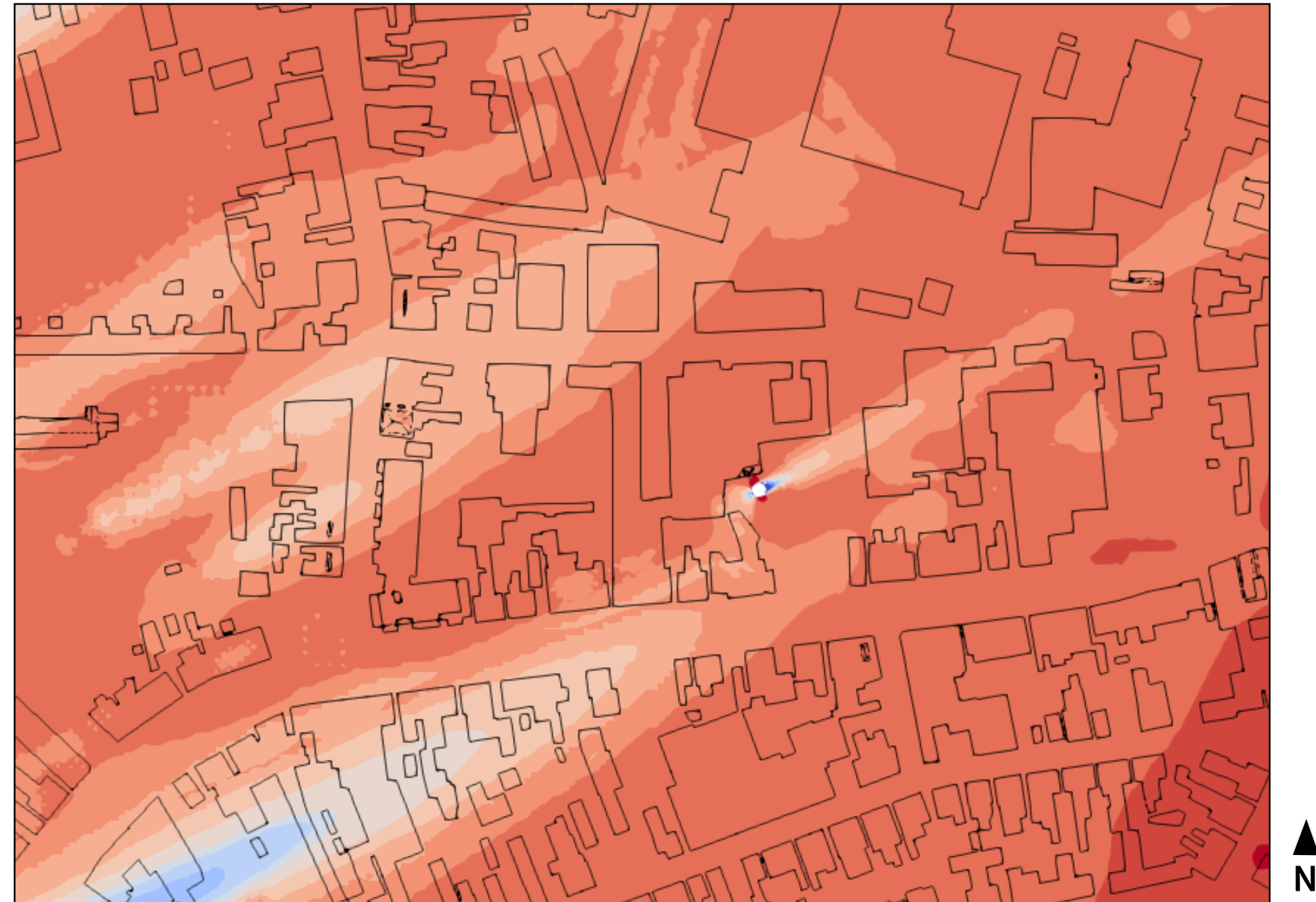
180° Zuid



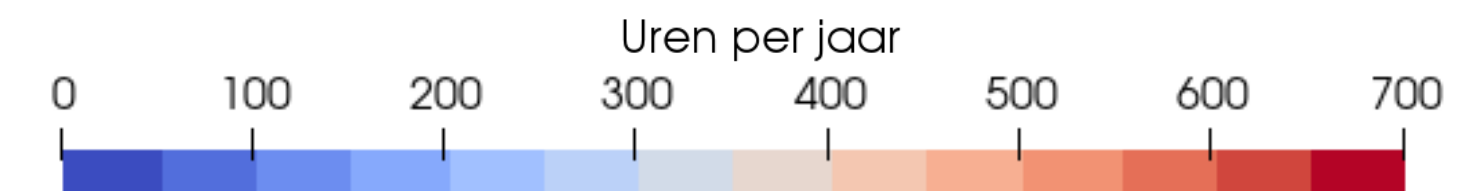
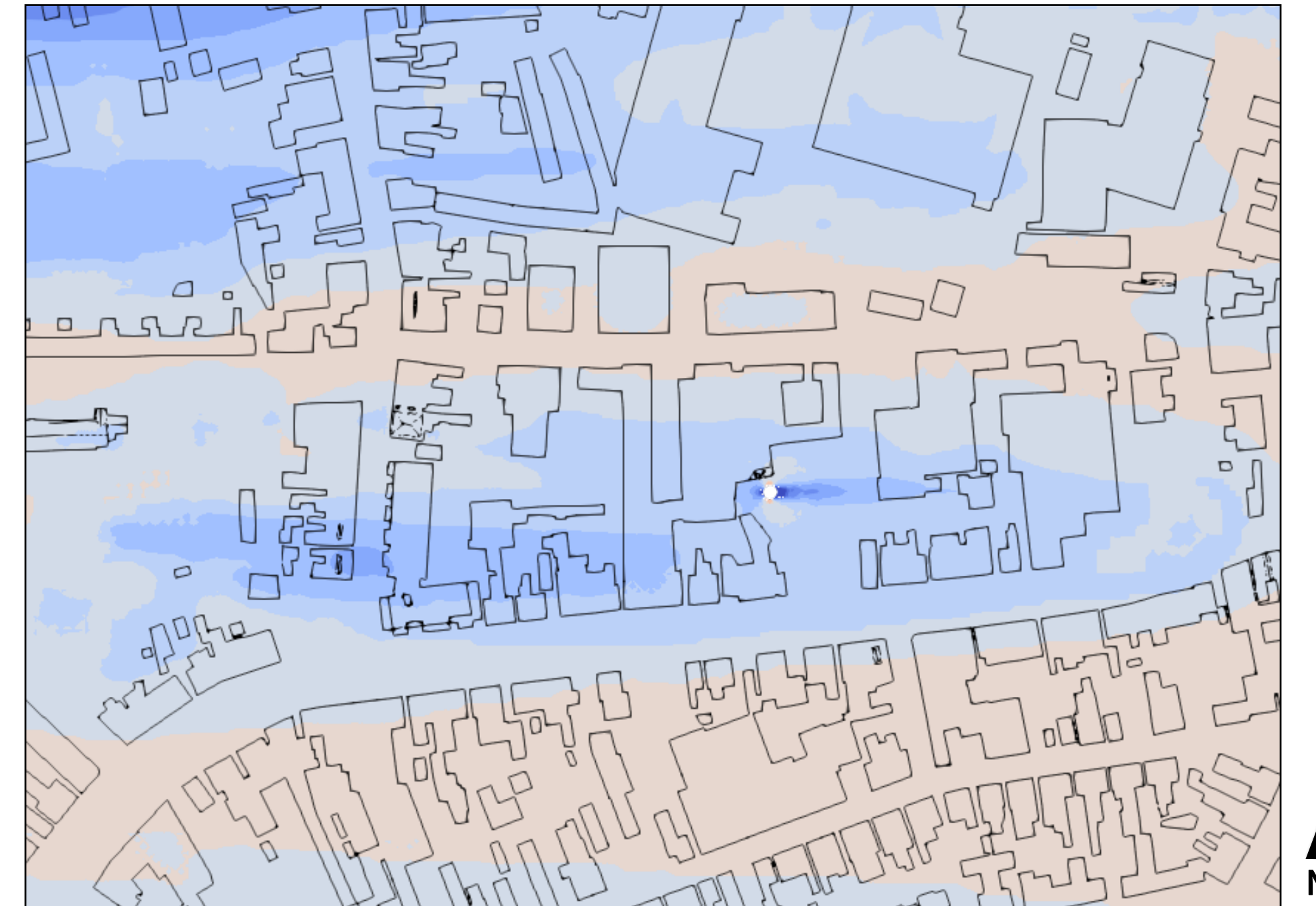
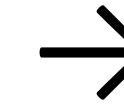
210° Zuidwestzuid



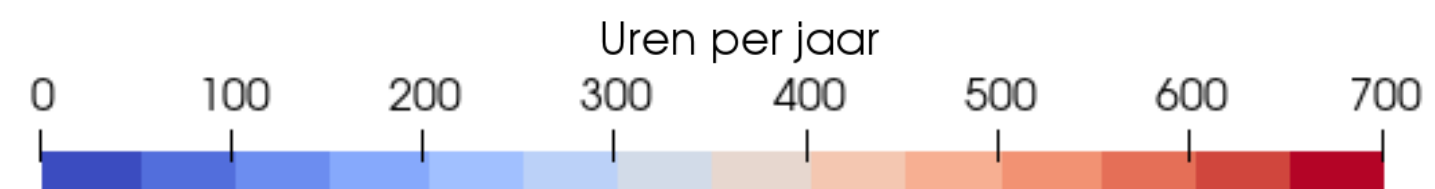
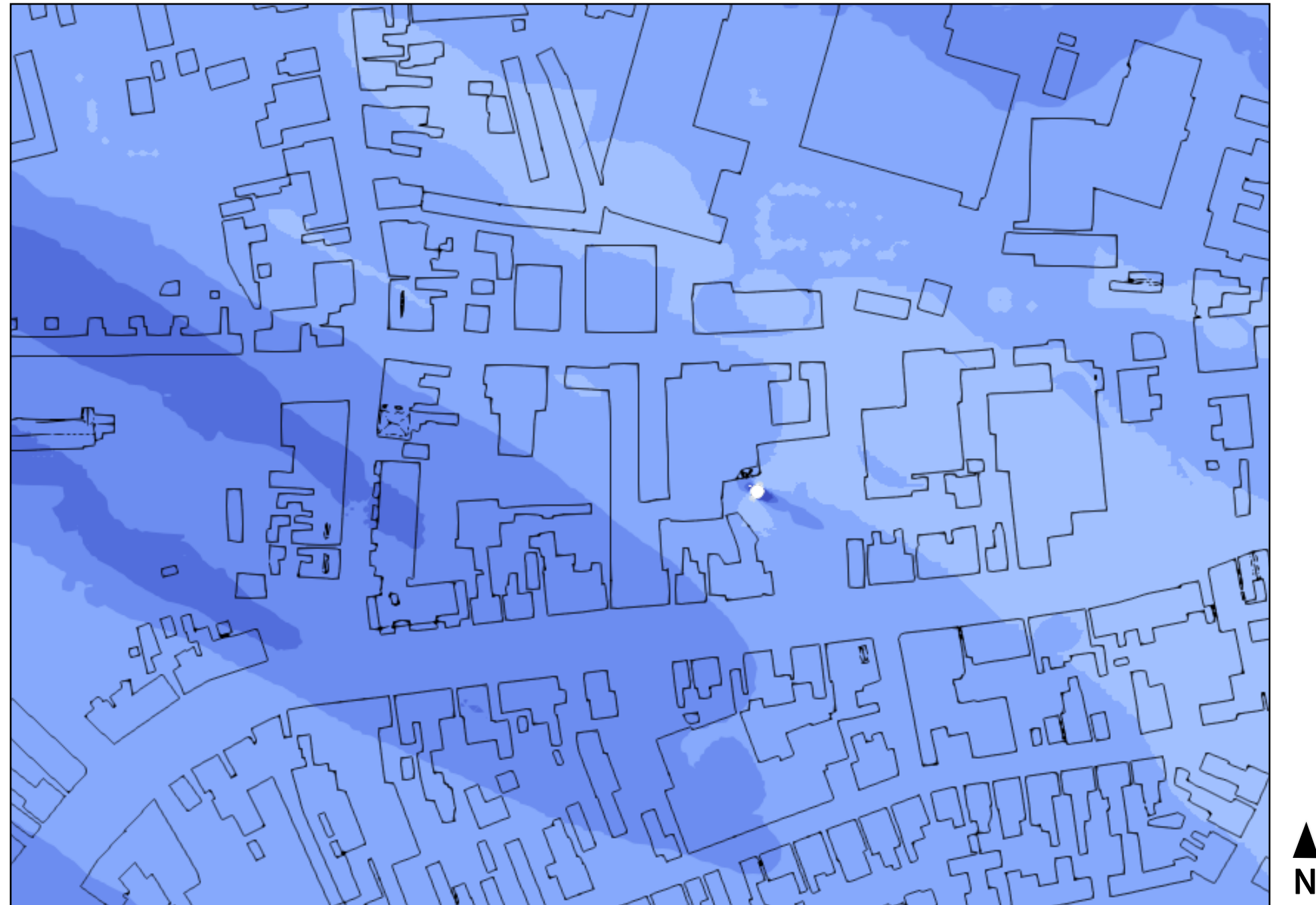
240° Westzuidwest



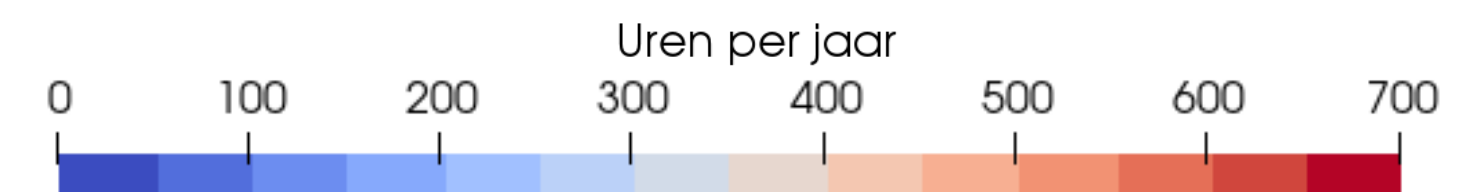
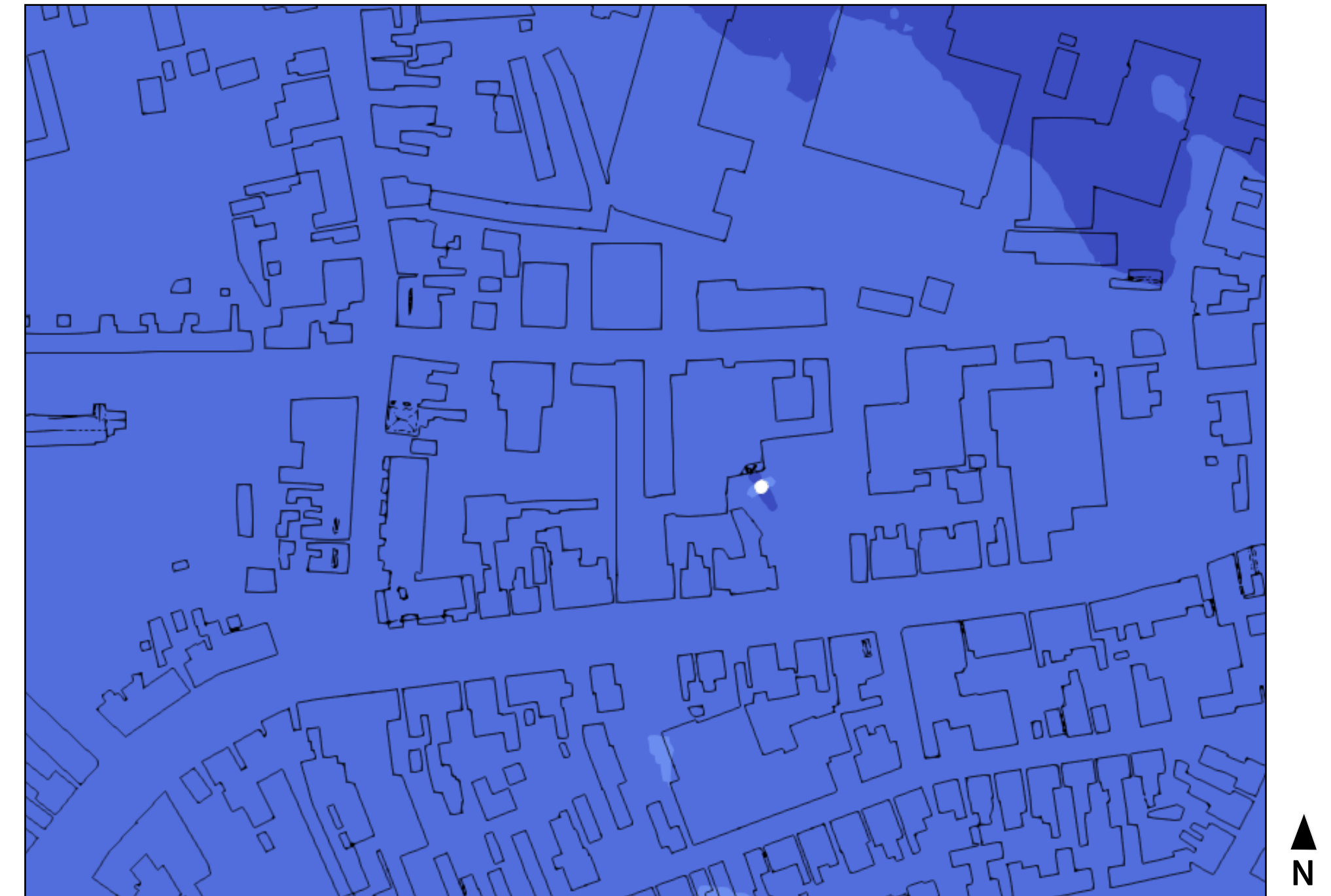
270° West



300° Westnoordwest



330° Noordwestnoord





Actiflow BV

Tramsingel 5

4814 AB Breda

+31 (0)76 5422 220

contact@actiflow.com

www.actiflow.com