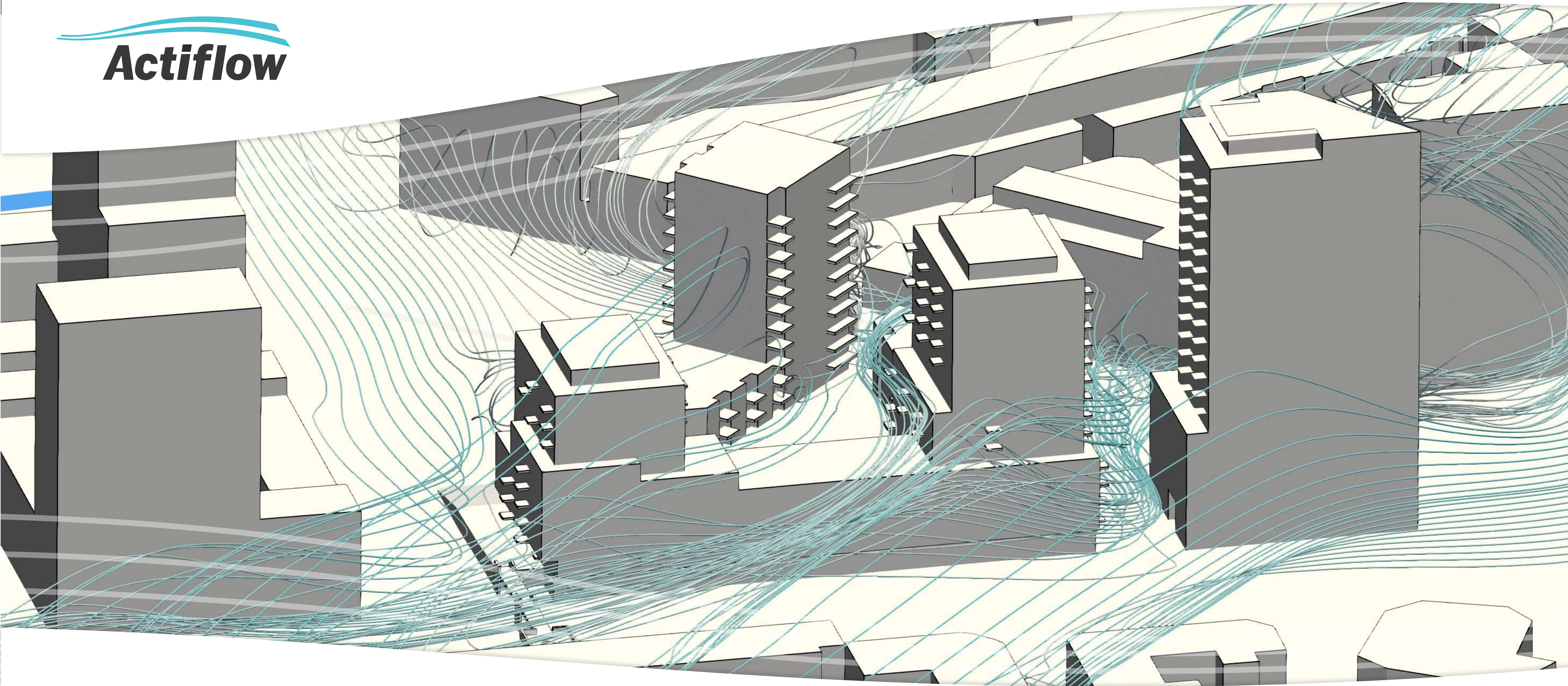




Project B1 te Nieuwegein

CFD-studie windhinder en windgevaar

Auteur(s): ir. Ashly Berghuizen
Controlleur: ir. Ragiel Wildvank
Datum: 26/02/2020

AFR - 7932
Versie 1.0
©2020 Actiflow BV

Inhoudsopgave

- 1 Introductie
- 2 Normstelling
- 3 Opzet van de berekening
 - 3.1 Software
 - 3.2 Geometrie en rekenrooster
 - 3.3 Aannames en randvoorwaarden
- 4 Resultaten
- 5 Conclusie

- A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen
- B Inlegvel NEN 8100:2006

1 Introductie

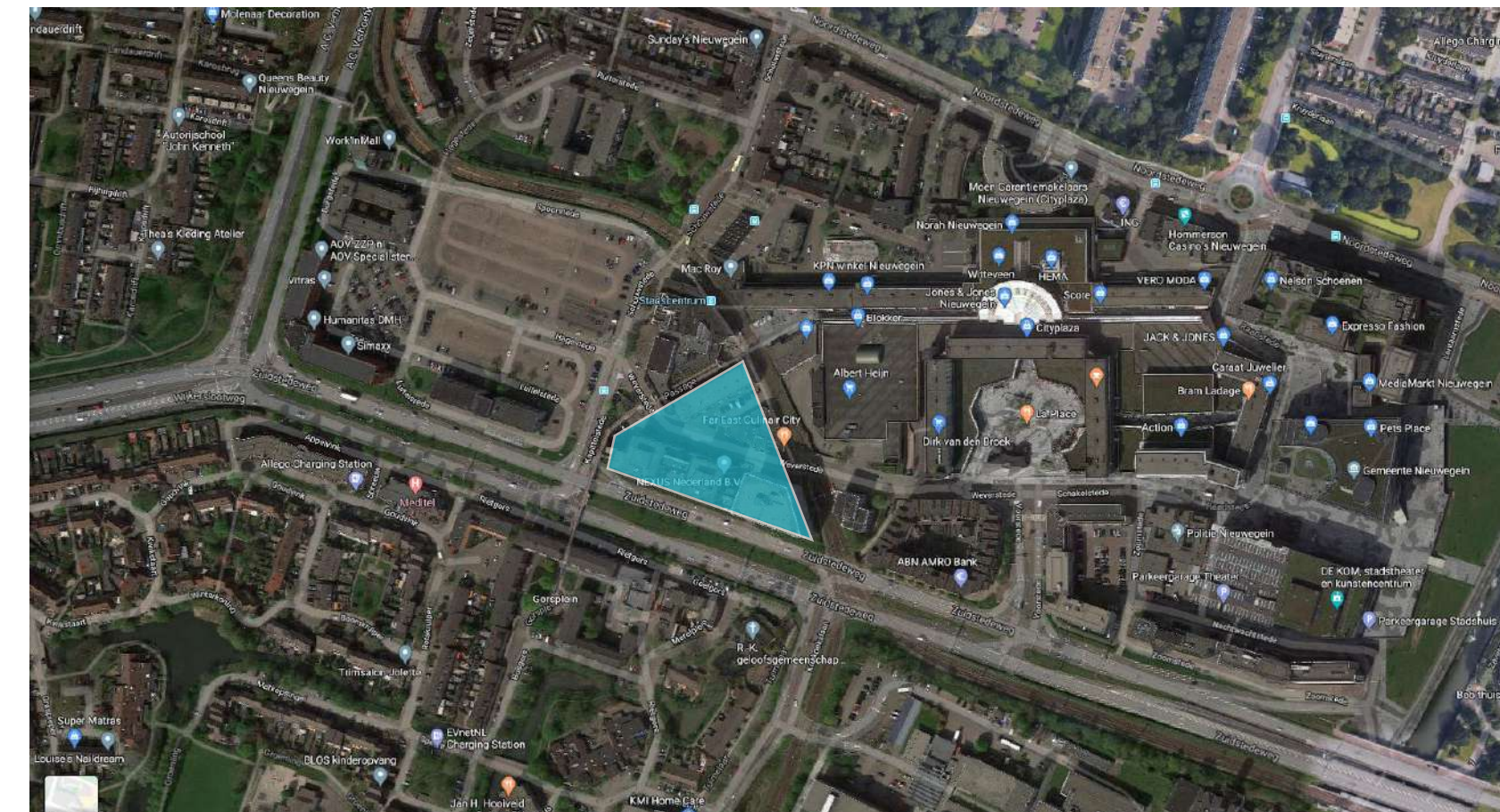
Het project 'Project B1' te Nieuwegein, betreft de ontwikkeling van nieuwbouw in Nieuwegein. Voorliggende rapportage omschrijft een windstudie, uitgevoerd door **Actiflow** in opdracht van Utrecht de kralen in relatie tot de ontwikkeling van deze nieuwbouw.

Het project betreft een tweetal nieuwbouwvolumes welke weer bestaan uit een viertal torens van verschillende hoogtes variërende van +/- 36 m tot 70 m hoog. Figuur 1.1 laat een impressie zien van de bouwlocatie in de huidige omgeving en het model zoals verkregen van de opdrachtgever.

Het bouwproject veroorzaakt een verandering in het straatbeeld en dit heeft een onbetwistbare invloed op het windklimaat. De vraag is of het windklimaat in het gebied acceptabel is na realisatie van het nieuwe gebouw.

Actiflow is gevraagd om voor de ontwikkeling van de nieuwbouw het windklimaat inzichtelijk te maken met behulp van berekeningen op basis van Computational Fluid Dynamics (CFD). Bij deze studie is gebruik gemaakt van de normstelling omtrent windhinder en windgevaar, de Nederlandse norm NEN 8100:2006 'windhinder en windgevaar in de gebouwomgeving'.

Onderhavige rapportage beschrijft deze studie en de resultaten hiervan. Hoofdstuk 2 gaat in op de gebruikte normstelling waaraan getoetst is. De gebruikte geometrie van het gebouw, de omgeving, het rekendomein en de bijbehorende randvoorwaarden zijn weergegeven in hoofdstuk 3. De resultaten van de berekeningen worden besproken in hoofdstuk 4, waarna de conclusies en aanbevelingen volgen in hoofdstuk 5.



Figuur 1.1
impressie van de omgeving en de nieuwbouw

(a)
de huidige omgeving, de nieuwbouwlocatie in blauw (bron: google maps)



(b)
het nieuwbouwproject- model zoals verkregen van de opdrachtgever

2 Normstelling

In onderhavige windstudie wordt het windklimaat ter plaatse van de openbare buitenruimte in kaart gebracht. De toetsing hiervan vindt plaats aan de hand van de normstelling uit NEN 8100:2006. In de norm wordt onderscheid gemaakt tussen windhinder en windgevaar. De definitie van windhinder is het ondervinden van hinder door wind. Dit zal bij een gemiddeld persoon gebeuren wanneer de lokale uurgemiddelde windsnelheid meer dan 5 m/s bedraagt.

Windgevaar is het optreden van een dergelijk hoge windsnelheid waarbij in ernstige mate problemen optreden bij het lopen, zoals evenwichtsverlies, waardoor het onmogelijk wordt zich staande te houden of zich lopend voort te bewegen. Windgevaar vindt vooral tijdens vlagen plaats. Dit fenomeen wordt vanwege de benodigde rekenkracht en conform de norm, niet gemodelleerd in een tijdsafhankelijke berekening, maar in een aanvulling op de statistische windhinderanalyse. Hier wordt aangenomen dat windgevaar optreedt als de uurgemiddelde lokale windsnelheid meer dan 15 m/s bedraagt.

NEN 8100:2006 geeft een indeling voor windhinder naar kwaliteitsklassen. Deze indeling is terug te vinden in tabel 2.1. Aan de hand van de kans op overschrijding van de grenswaarde voor windhinder wordt bepaald in welke klasse een locatie valt. Afhankelijk van het gebruiksdoel van de locatie wordt een bepaalde klasse gekarakteriseerd als goed, matig of slecht.

Tabel 2.2 toont de indeling en kwalificatie voor de kans op windgevaar op vergelijkbare wijze als voor windhinder wordt gedaan. Hierbij dient te worden opgemerkt dat voor activiteitsklassen 'Slenteren' en 'Langdurig zitten' zelfs een beperkt risico al onacceptabel is. Voor deze activiteitsklassen geldt dat enkel

$p \leq 0.05$ acceptabel is. Een gevaarlijk windklimaat (overschrijdingskans $> 0.30\%$) moet te allen tijde worden vermeden. Toetsing vindt plaats op een hoogte van 1,75 m boven het grondoppervlak.

Tabel 2.1: Eisen voor de beoordeling van het lokale windklimaat voor windhinder

Overschrijdingskans (%) (Lokaal windsnelheid > 5 m/s) (van het aantal uren per jaar)	Kwaliteitseis	Activiteiten		
		Doorlopen	Slenteren	Langdurig zitten ^a
<2.5%	A	Goed	Goed	Goed
2.5 - 5%	B	Goed	Goed	Matig
5 - 10%	C	Goed	Matig	Slecht
10 - 20 %	D	Matig	Slecht	Slecht
> 20%	E	Slecht	Slecht	Slecht

^a Dit geldt conform de norm voor een bankje in het park, voor horeca terrassen of private buitenruimtes is zwaardere normstelling nodig om het gewenste comfort te behalen.

Tabel 2.2: Eisen voor de beoordeling van het lokale windklimaat voor windgevaar

Overschrijdingskans (%) (Lokaal windsnelheid > 15 m/s) (van het aantal uren per jaar)	Kwaliteitseis
0.05 - 0.30 %	Beperkt risico
> 0.30%	Gevaarlijk

3 Opzet van de berekening

Voor een overzicht van de instellingen bij de berekening wordt verwezen naar het inlegvel uit de NEN 8100:2006, welke is toegevoegd in bijlage B.

3.1 Software

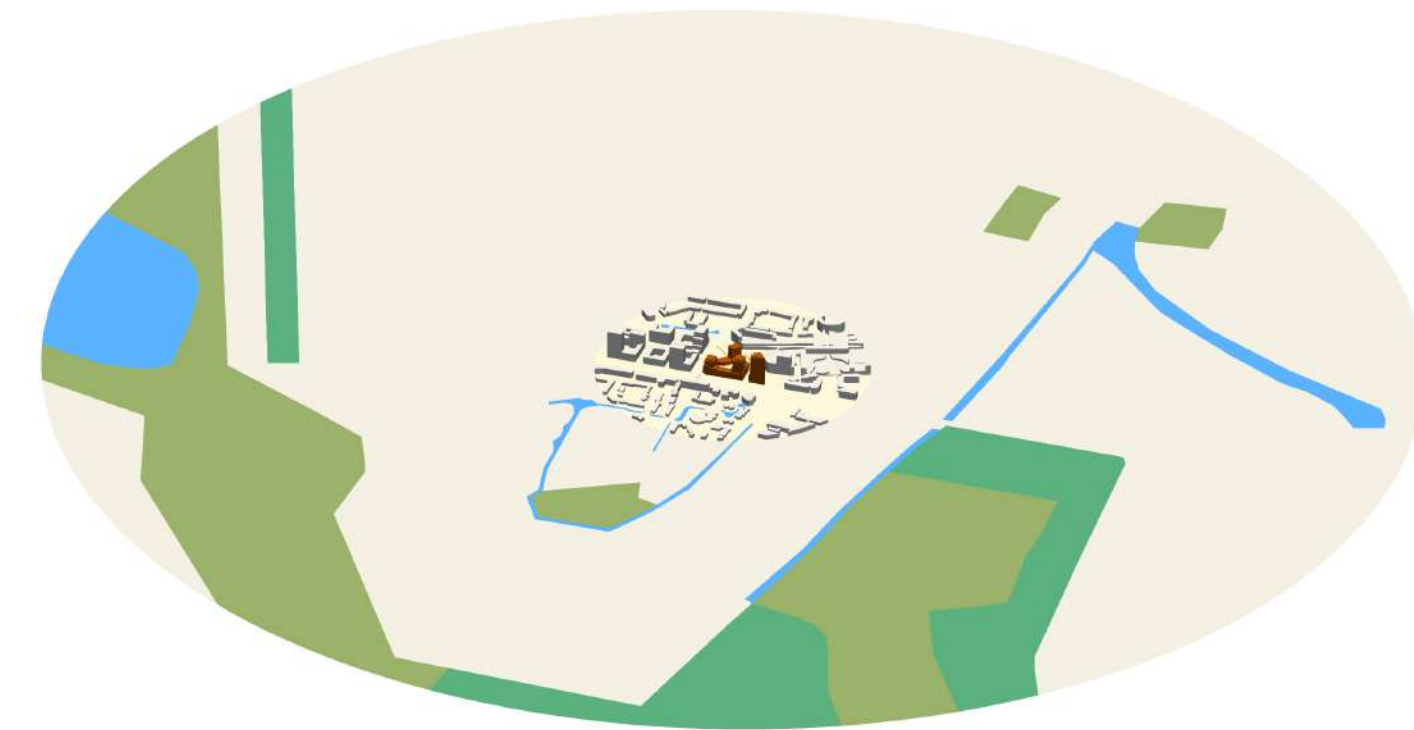
De berekening is uitgevoerd met behulp van OpenFOAM v1812, een softwarepakket dat bedoeld is voor het oplossen van problemen in de continuüm mechanica en thermodynamica. Voor dit project is “simpleFoam” gebruikt. Deze solver is gebaseerd op de incompressibele Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) vergelijkingen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

3.2 Geometrie en rekenrooster

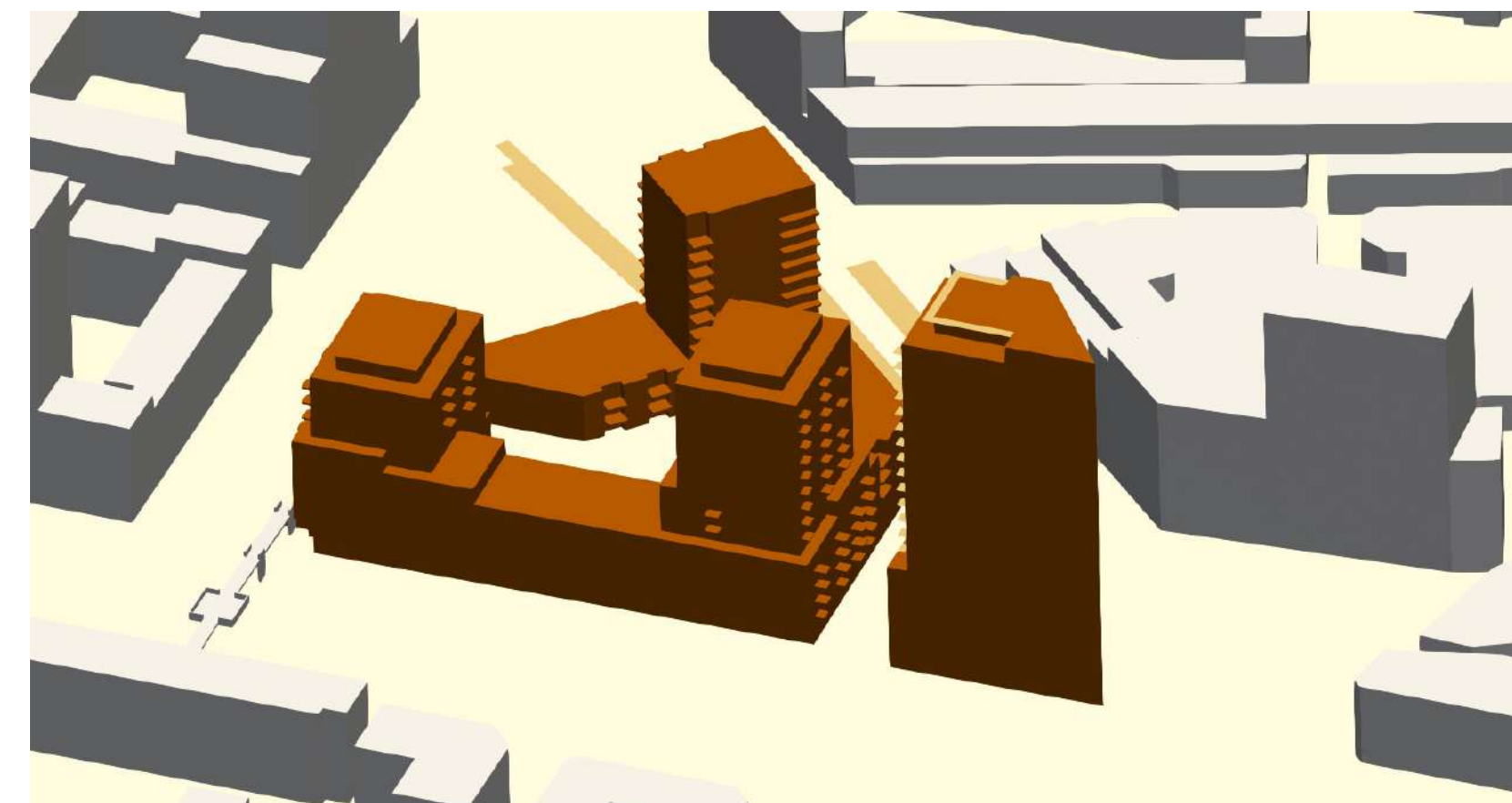
De geometrie van het model is gebaseerd op de verkregen tekeningen en modellen van de opdrachtgever. Het 3D-model is weergegeven in figuur 3.1. Het model omvat alle gebouwen binnen een straal van minimaal 300 meter.

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 conform NPR 6097:2006.

Figuur 3.1
Impressie model



(a) Overzicht model



(b) Plangebied met de nieuwbouw

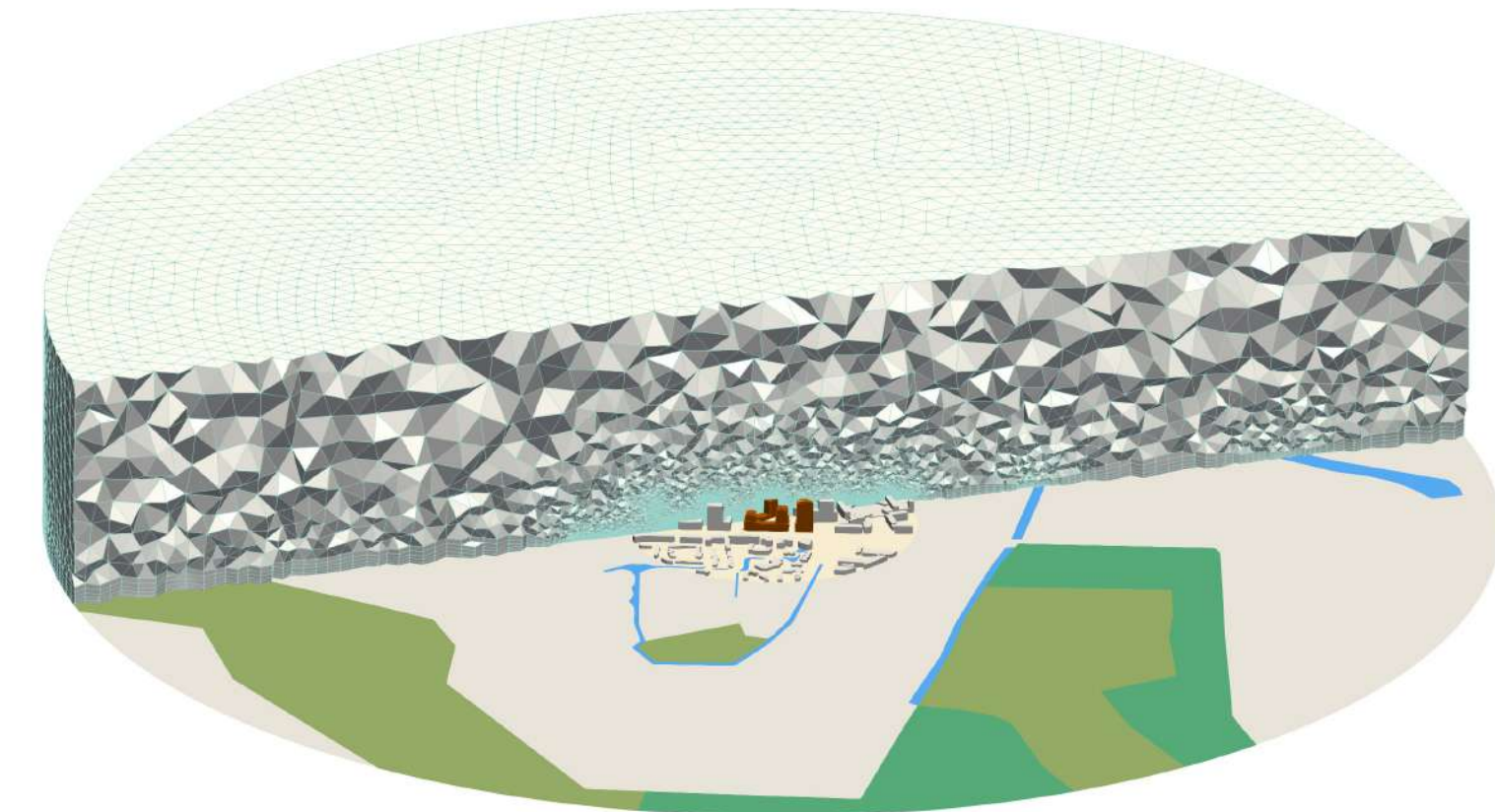
Het luchtvolume in de hierboven omschreven geometrie is vervolgens opgedeeld in een groot aantal kleine volumecellen. Deze cellen tezamen vormen het rekenrooster voor onderhavige situatie (figuur 3.2). Dit rooster bestaat uit 22 571 467 cellen. Over het grondoppervlak en de bebouwing zijn vijf lagen prisma's geplaatst. Deze prismalaag zorgt voor een betere berekening van de snelheidsgradiënt in de atmosferische grenslaag.

3.3 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.

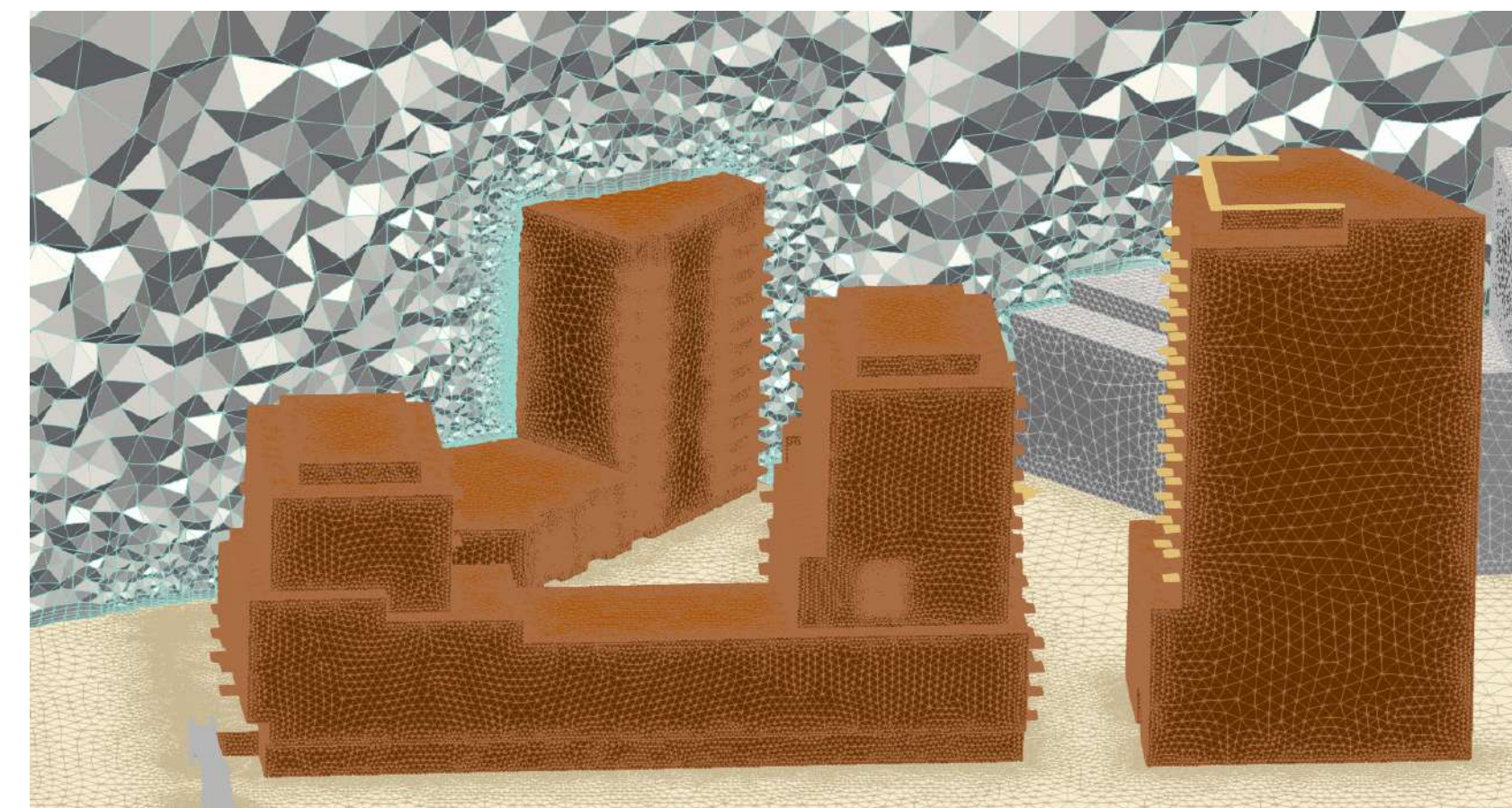
Ook de turbulente grootheden k en ω verlopen volgens een voorgeschreven profiel, zoals aangegeven in vergelijking 3.3 en vergelijking 3.4. Hierin heeft C_μ de waarde 0,09. Deze empirische constante komt voort uit het gebruikte turbulente model (k - ω SST).

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.



Figuur 3.2
Impressie rekeningruid

(a) Doorsnede over het rekeningruid



(b) Doorsnede over het rekeningruid nabij de nieuwbouw

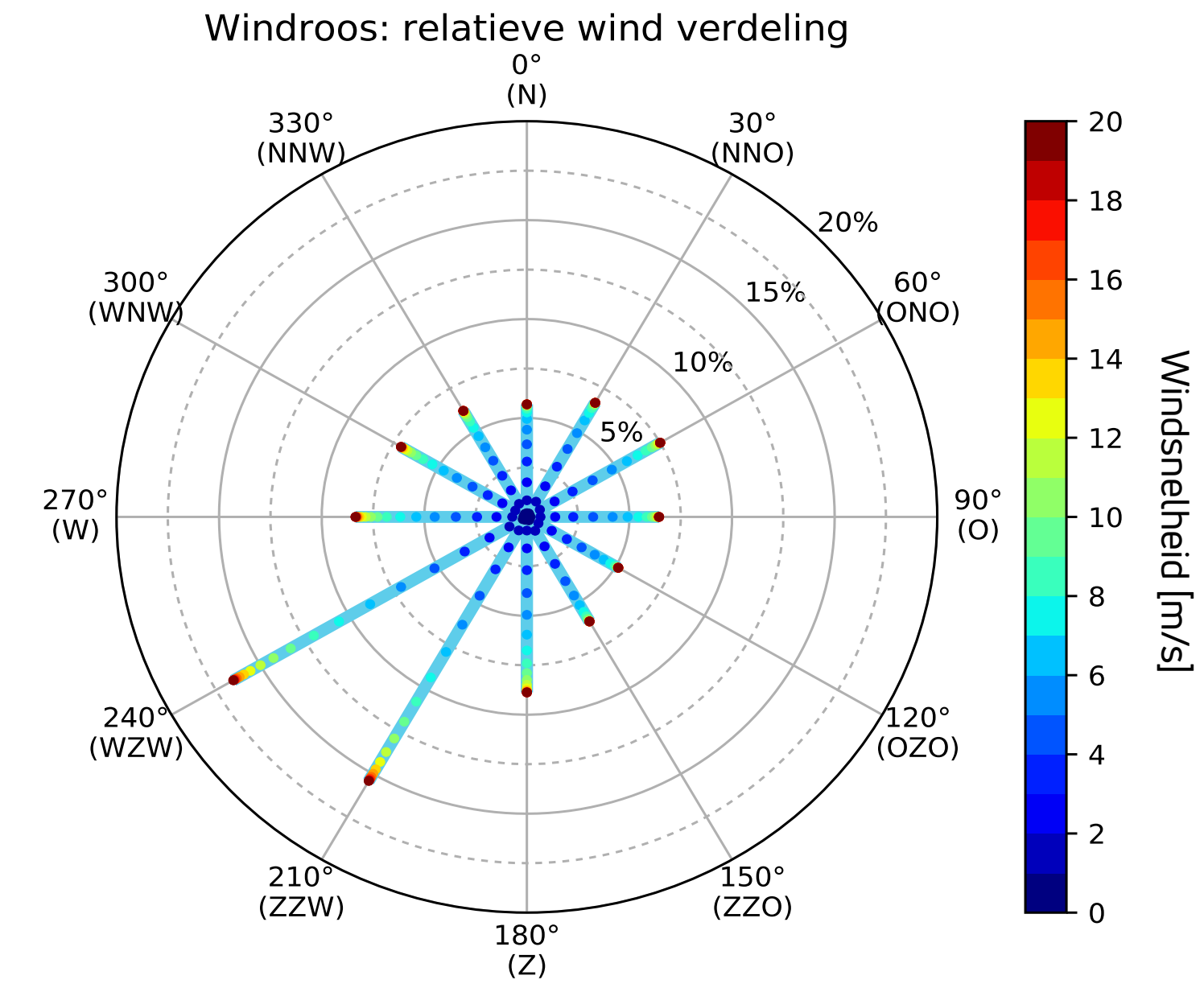
Vervolgens wordt de windstatistiek gecombineerd met de berekende versterkingsfactor, zodat voor elke windsnelheid op een locatie een overschrijdingskans kan worden bepaald van verschillende windsnelheden. Deze overschrijdingskans wordt vervolgens getoetst aan de gewenste kwaliteitsklasse om te bepalen 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.

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

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

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

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



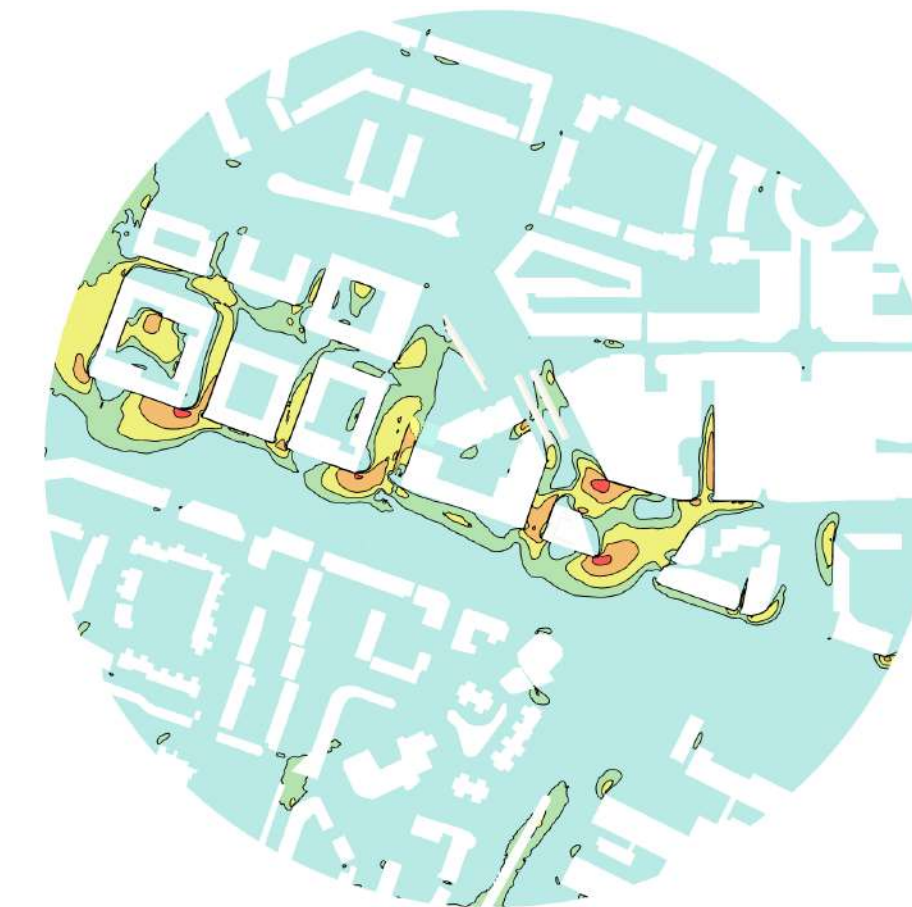
Figuur 3.3: Visualisatie van de windstatistiek welke is gebruikt bij de bepaling van windhinder en windgevaar.

4 Resultaten

In deze sectie worden de resultaten voor windhinder en windgevaar ter plaatse van de openbare buitenruimte weergegeven conform NEN 8100:2006. De resultaten van de openbare buitenruimte worden weergegeven op horizontale doorsneden op 1,75 m boven maaiveld. Figuren 4.1 t/m 4.3 tonen de resultaten van de openbare buitenruimte.

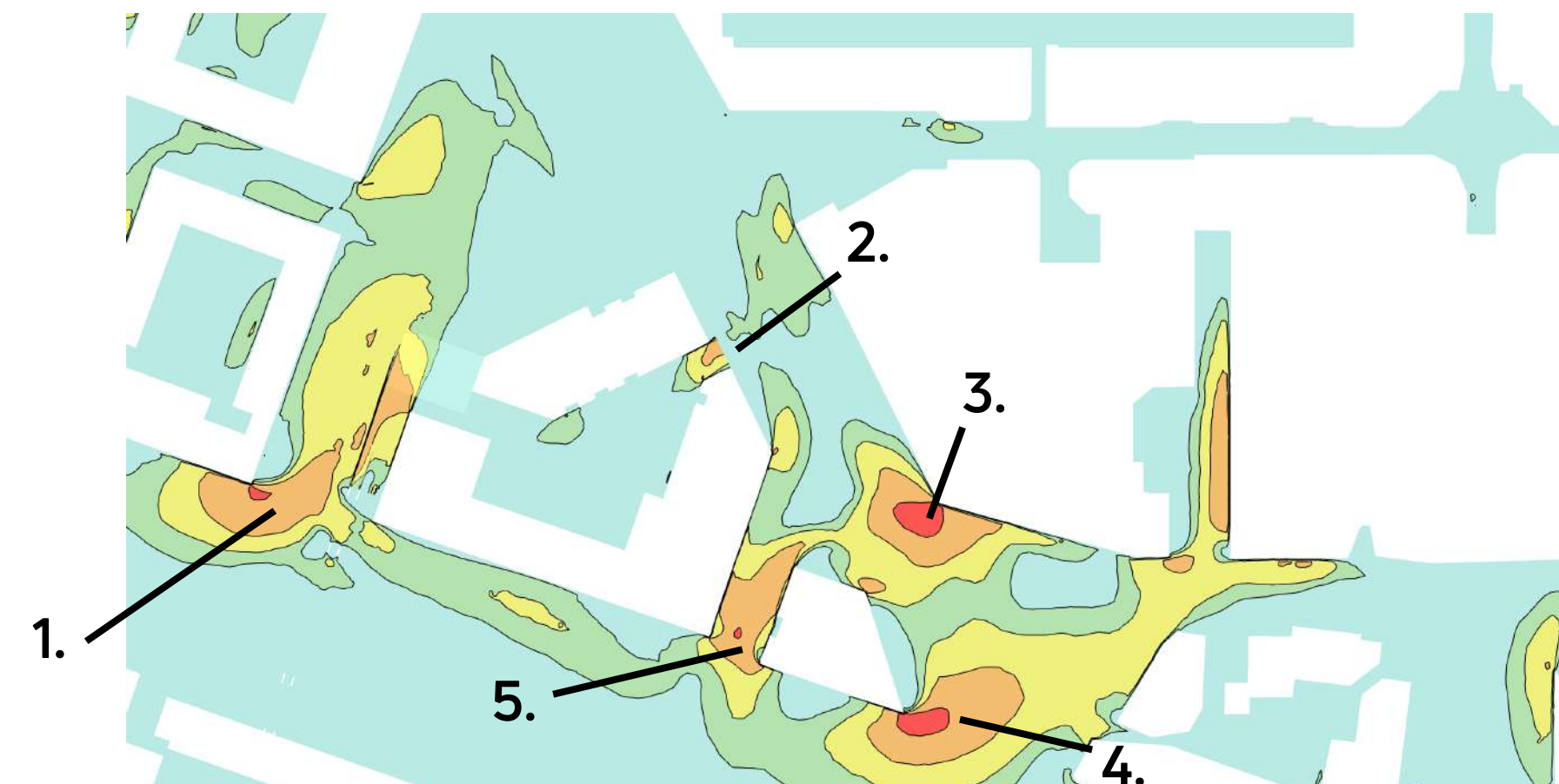
- Op locaties met voor voetgangers louter een verkeersfunctie en geen verblijfsfunctie dient windhinder bij voorkeur klasse A, B of C te zijn. Klasse D biedt een matig niveau. Klasse E biedt een slecht niveau en dient vermeden te worden.
- Op locaties die gezien kunnen worden als verblijfsgebied voor voetgangers dient windhinder bij voorkeur klasse A of B te zijn. Klasse C biedt een matig niveau en klassen D en E bieden een slecht niveau. Deze twee hoogste klassen dienen op deze locaties vermeden te worden.
- Ter plaatse van gebouwentrees dient bij voorkeur klasse A behaald te worden. Klasse B biedt een matig niveau. Klassen C, D en E bieden een slecht niveau en dienen vermeden te worden op deze locaties.
- Windgevaar dient bij voorkeur voorkomen te worden. Een beperkt risico kan lokaal geaccepteerd worden.

De resultaten (figuur 4.1) laten zien dat alle klassen van windhinder op kunnen treden in de nabijheid van de nieuwbouw. Klasse D is in oranje weergegeven in figuur 4.1. Zoals hierboven uitgelegd, karakteriseren klasse D gebieden waar de windsnelheid 5 m/s of hoger is voor tussen de 10% en 20% van de uren per jaar. Voor de klasse E zones wordt een overschrijding van 5 m/s voor meer dan 20% van het aantal uren per jaar behaald. Zones welke interessant zijn en een minder comfortabel windklimaat laten zien zijn gemarkeerd met een "1" t/m "5" in figuur 4.1b.



Figuur 4.1
Windhinder op voetgangersniveau

(a)
Overzicht



(b)
Close-up

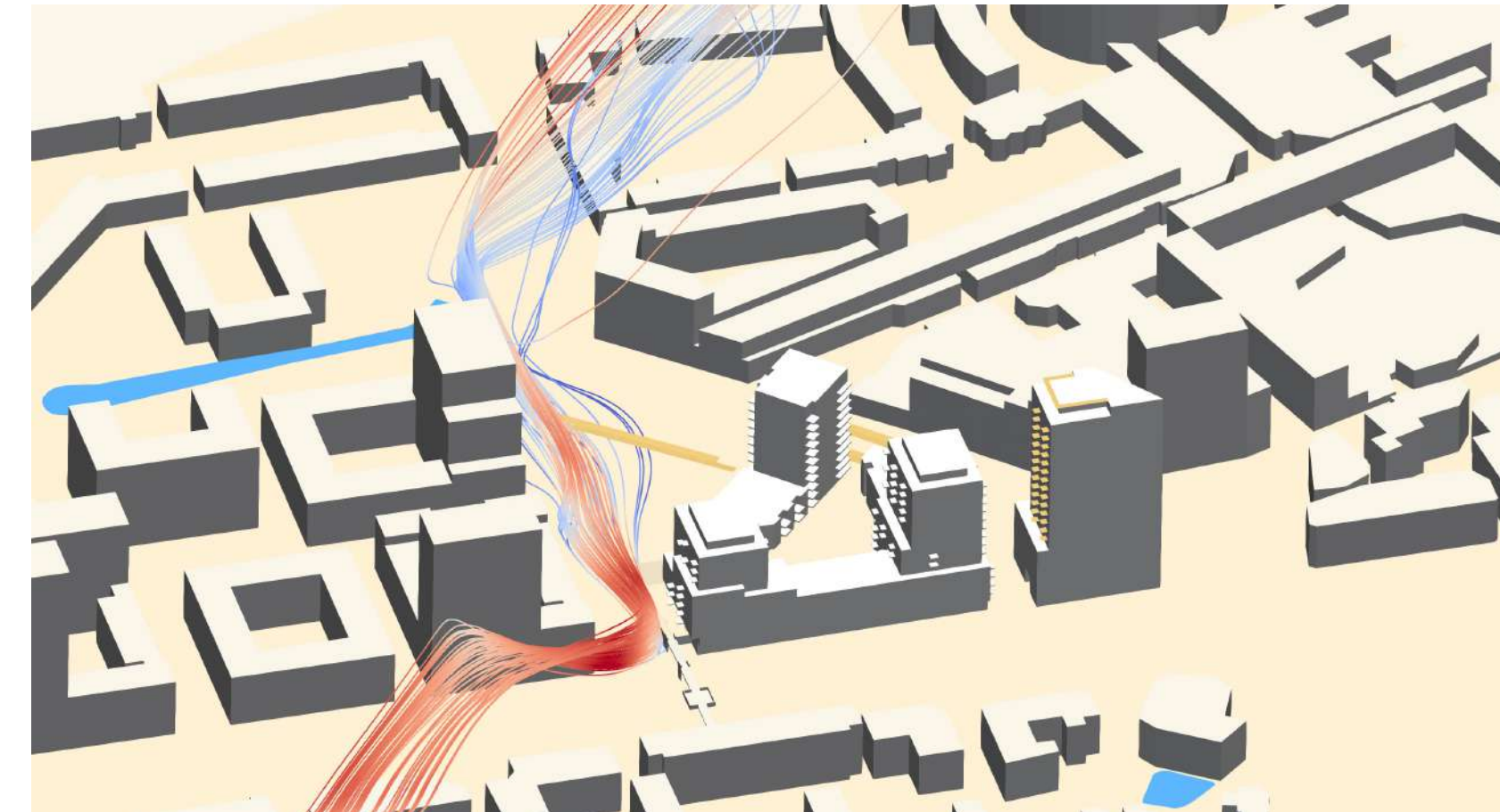


De oorsprong van het getoonde windklimaat komt voort uit een combinatie van factoren. Dit zijn onder meer:

- De overheersende en maatgevende windrichtingen zijn westzuidwest en zuidzuidwest, zie figuur 3.3 en bijlage A. Deze windrichtingen zijn zeer dominant en de windsnelheden vanuit deze windrichtingen zijn relatief hoog.
- Daarnaast bestaat de bebouwing stroomopwaarts van de nieuwbouw (zone ten zuidwesten van de nieuwbouw) veelal uit relatief lage volumes met een relatief gelijkmatige bouwhoogte. Wind vanuit de dominante windrichtingen wordt dan ook slechts zeer beperkt geremd voordat het de nieuwbouw bereikt.
- De nieuwbouw is georiënteerd in de richting zuidzuidwest - noordnoord-oost. Dit is evenwijdig aan de dominante windrichtingen, waardoor wind hier wederom niet afgeremd wordt.

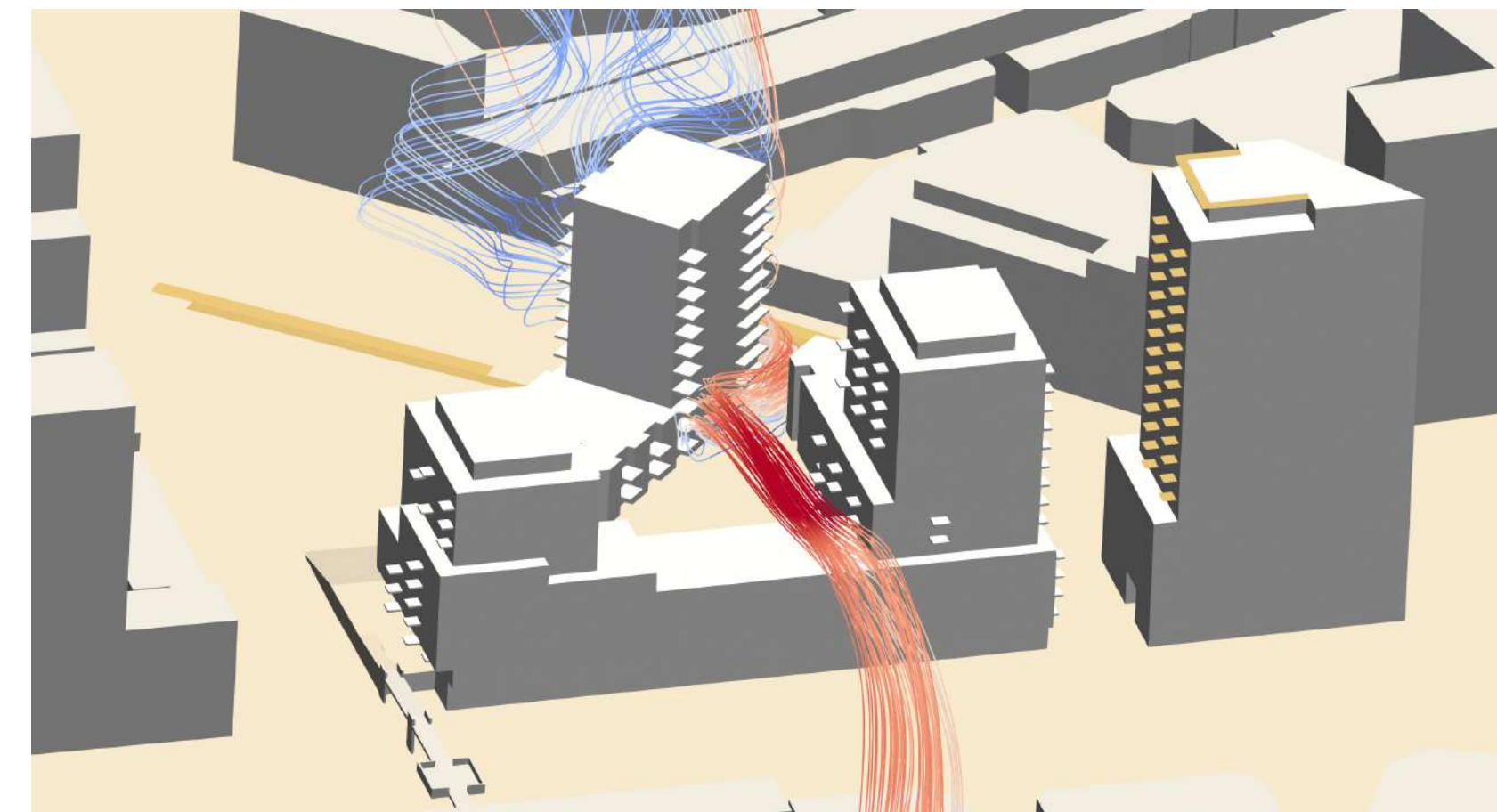
Zone 1 wordt veroorzaakt door een zogeheten hoekstroom van het tegenoverliggende gebouw wanneer de wind vanuit de maatgevende, zuidwestelijke, windrichting waait. Figuur 4.2a laat de stroomlijnen zien wanneer de wind vanuit westzuidwestelijke richting komt en tegen de gevel van het gebouw komt, deze zal naar beneden naar de hoek worden geleid en door de straat versnellen, waardoor er een minder comfortabel windklimaat ontstaat.

Zone 2 betreft een versnelling van de wind over de binnenplaats tussen de gebouwen waar de wind het binnenterrein verlaat. De wind komt hier relatief ongehinderd aanstromen, komt over het gebouw ten zuidwesten aan en versnelt over het binnenterrein. Vanaf hier zal de wind doorstromen en het terrein verlaten, omdat de doorgang hier smal is vindt er een kanalisering van de stroom plaats waardoor de wind nog eens zal versnellen en zo een minder prettig windklimaat zal realiseren (zie ook figuur 4.2b).



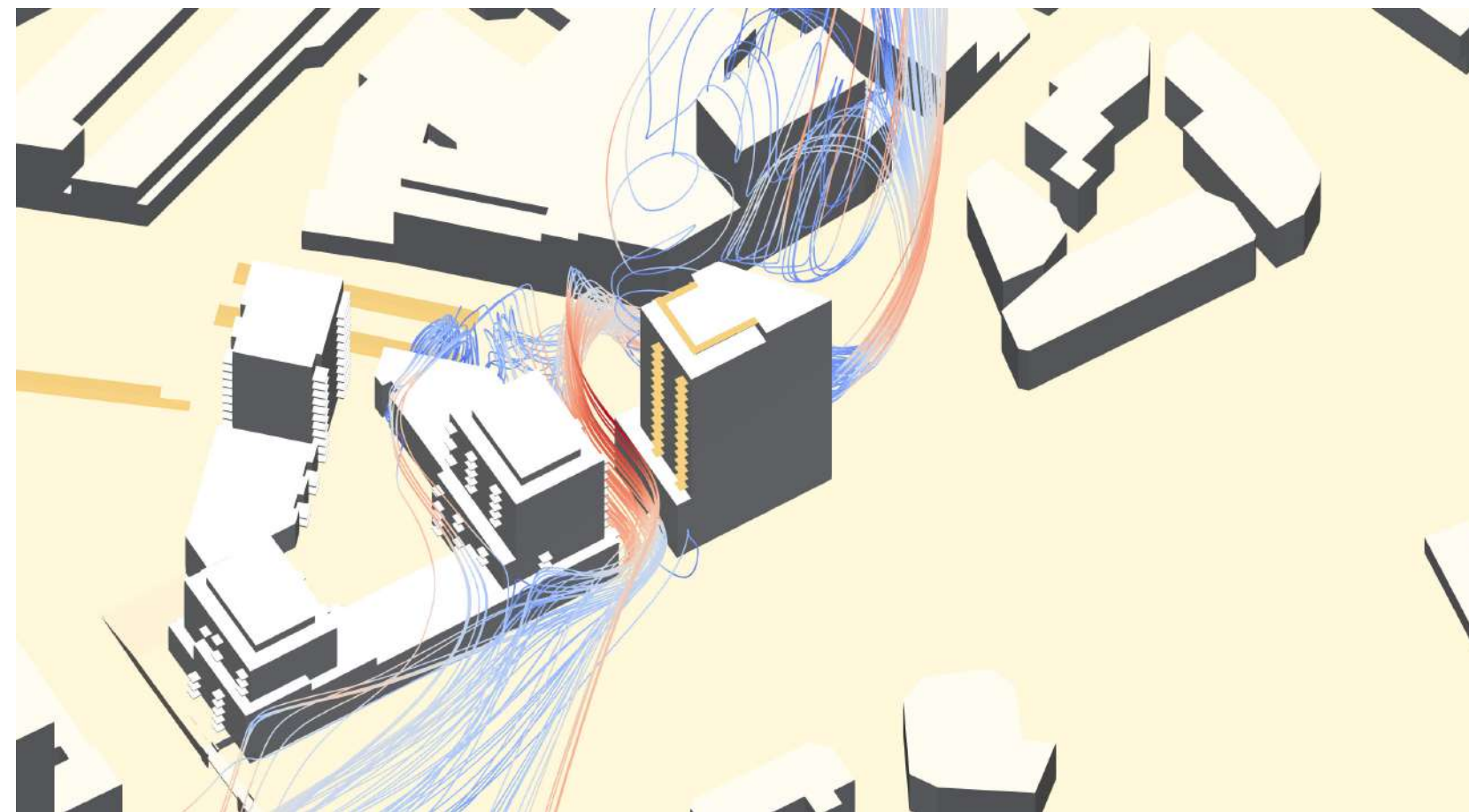
Figuur 4.2: Stroomlijnen rond de gebouwen van belang. Blauw lijnen geven een lagere snelheid aan, rood een hogere snelheid.

(a) Stroomlijnen zone 1 - windrichting WZW

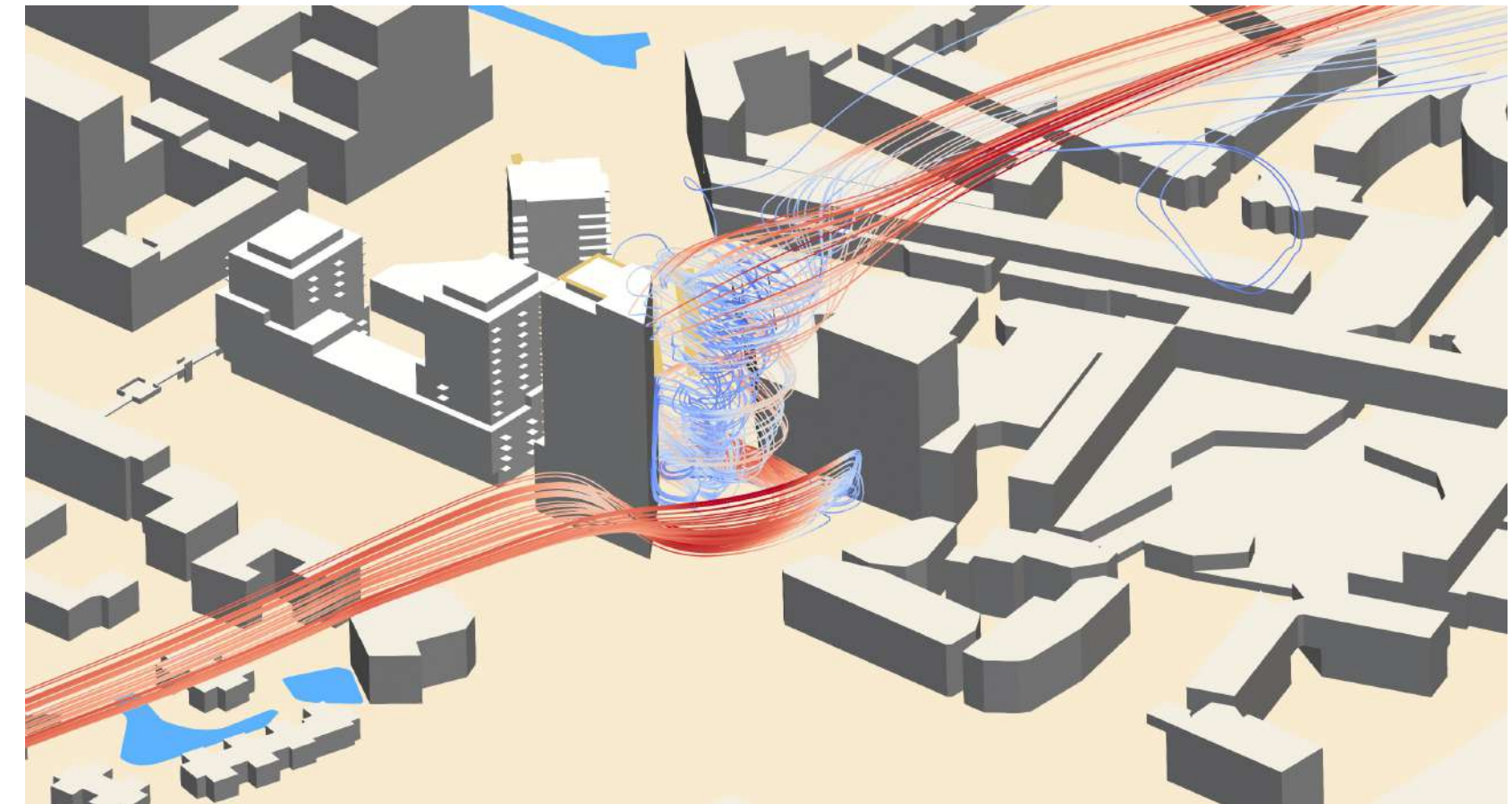


(b) Stroomlijnen zone 2 - windrichting ZZW

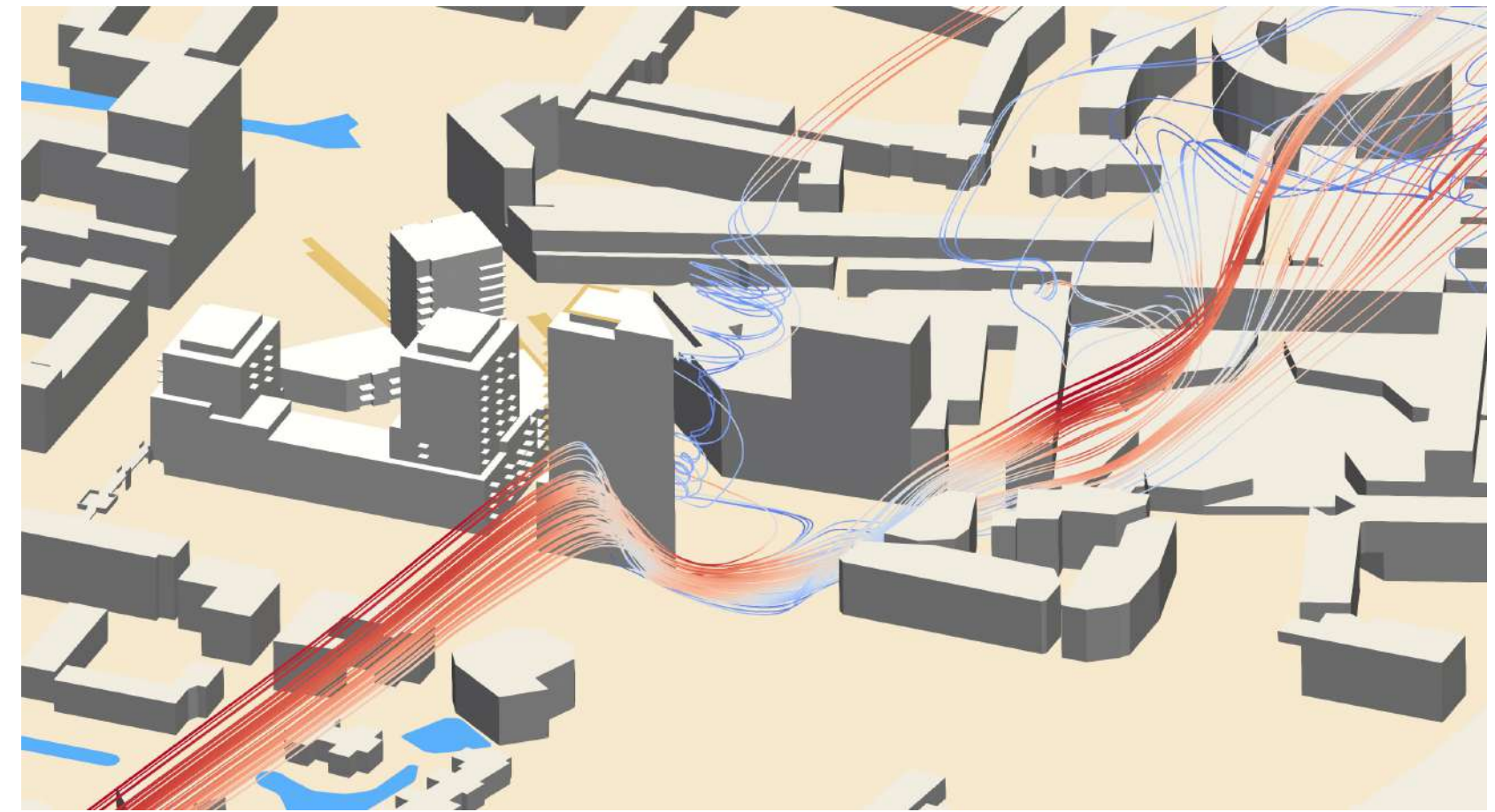
Kijkende naar figuur 4.3c, zone 3, zien we een aaneenschakeling van stroomingsfenomenen welke tot een windhinderklasse E zone leiden. Zone 5 wordt hier ook direct voor een gedeelte verklaard. De wind stroomt vanuit de westzuidwestelijke richting tegen de gevel van het zuidwestelijke bouwvolume. Daarna versnelt hij om de hoek tussen de twee bouwvolumes in waardoor een gedeelte van de versnelling zichtbaar in zone 5 ontstaat. Daarna stroomt de wind door en ontstaat er een downwash-effect tegen de andere toekomstige nieuwbouw aan waarna de wind met vrij hoge snelheid naar de grond wordt geleid. Hier komt deze stroom nog samen met de hoekstroom welke zone 4 voor een gedeelte veroorzaakt, zoals te zien in figuur 4.2d. Figuur 4.2e laat zien dat wanneer de wind vanuit de zuidwestelijke richting komt de wind vrij aankomt stromen en tegen de gevel van de nieuwbouw aankomt, hier een ontstaat een downwash en een hoekstroom met een significante versnelling van de wind rondom de hoek, met een windhinderklasse E tot gevolg.



(c)
Stroomlijnen zone 3/5 -
windrichting WZW



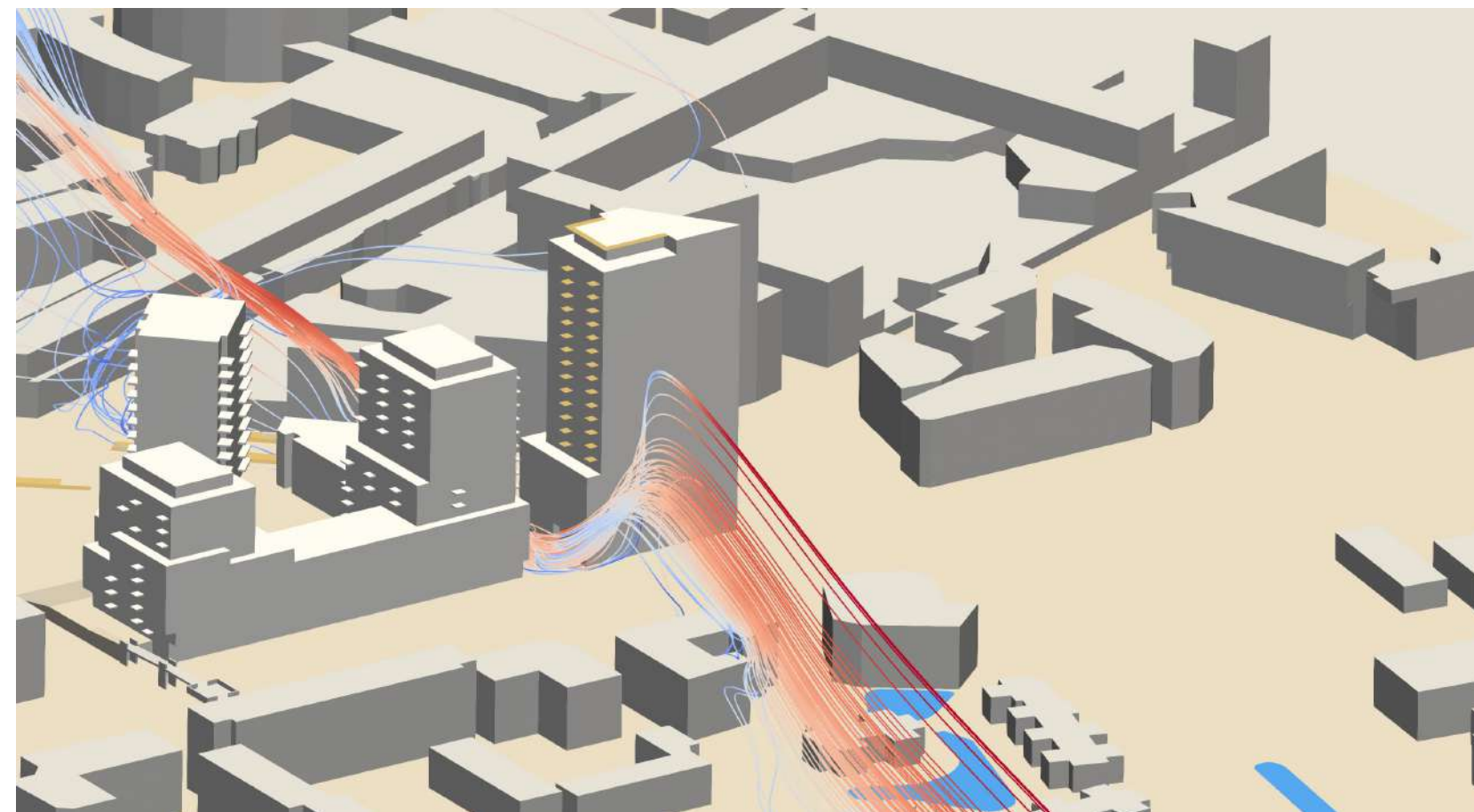
(d)
Stroomlijnen zone 4/5 -
windrichting ZZW



(e)
Stroomlijnen zone 4 -
windrichting ZZW

Figuur 4.2f laat zien dat dit ook aan de andere kant van de nieuwbouw gebeurt waardoor er ook een significante versnelling in de doorgang tussen de gebouwen plaatsvindt, met als gevolg een verminderd comfort.

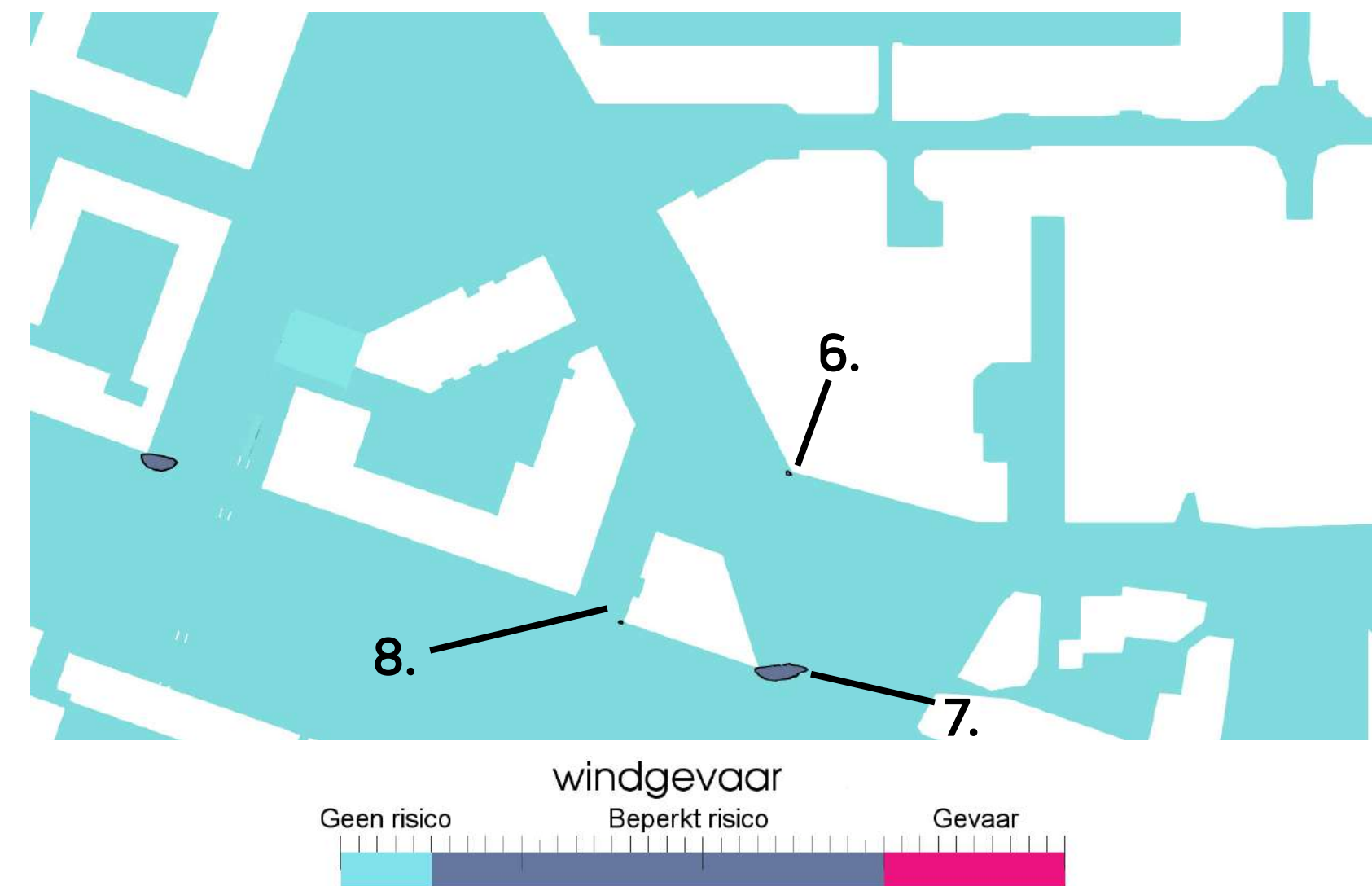
In figuur 4.3 wordt de windgevaaranalyse gepresenteerd. De analyse geeft aan dat er een enkele kleine zones met 'beperkt risico' wordt gevonden in de directe omgeving van de nieuwbouw (genummerd met '6', '7' en '8'). Deze zones van beperkt risico op windgevaar worden veroorzaakt door de eerder beschreven oorzaken van versnellingen rondom de nieuwbouw.



Figuur 4.3:
Windgevaar op voet-
gangersniveau



(a)
Overzicht



(b)
Close-up

5 Conclusie

Dit rapport presenteert een onderzoek naar het windklimaat rondom het project 'Project B1 te Nieuwegein'. Het onderzoek is uitgevoerd door [Actiflow](#).

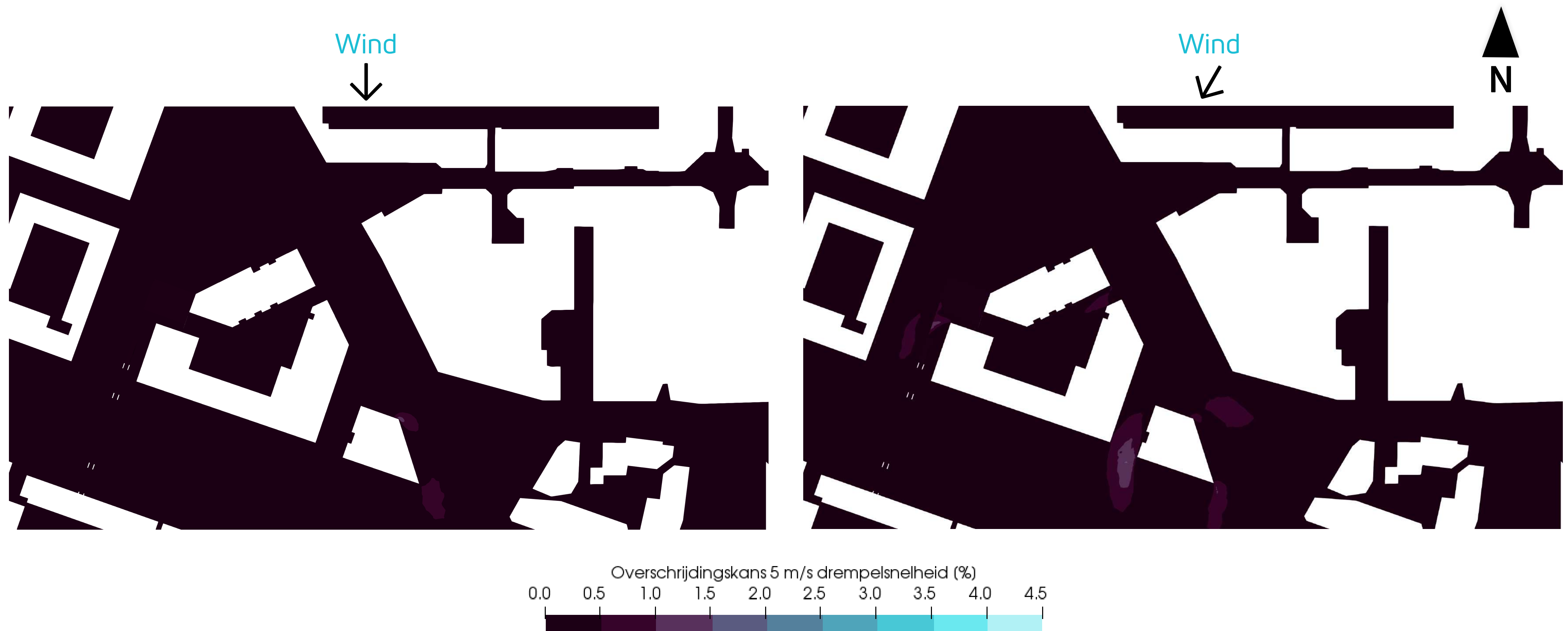
Voor de analyse is de Nederlandse norm "NEN 8100:2006: Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving" gebruikt. Hierbij is een geometrisch model van het gebouw en zijn omgeving opgesteld. Een rekengrid met hoge resolutie is rond deze geometrie opgetrokken als basis voor Computational Fluid Dynamics (CFD)-simulaties van de windstroming. In totaal zijn 12 simulaties uitgevoerd voor 12 corresponderende windrichtingen.

Vanuit de resultaten is te zien dat alle windhinderklassen voorkomen in de directe nabijheid van het nieuwbouwproject. Ook een beperkt risico op windgevaar komt voor op een locatie nabij de nieuwbouw. De zones met een minder comfort (1 t/m 5 in figuur 4.1b) en het risico op windgevaar (6 t/m 8 in in figuur 4.3b) vinden hun oorsprong in de oriëntatie van het gebouw ten opzichte van de maatgevende windrichting en de gebouwen in de omgeving en elkaar. Ook de relatief vrije aanstroom van de wind vanuit de maatgevende zuidwestelijke windrichting zorgt voor versnelling van wind rondom de nieuwbouw.

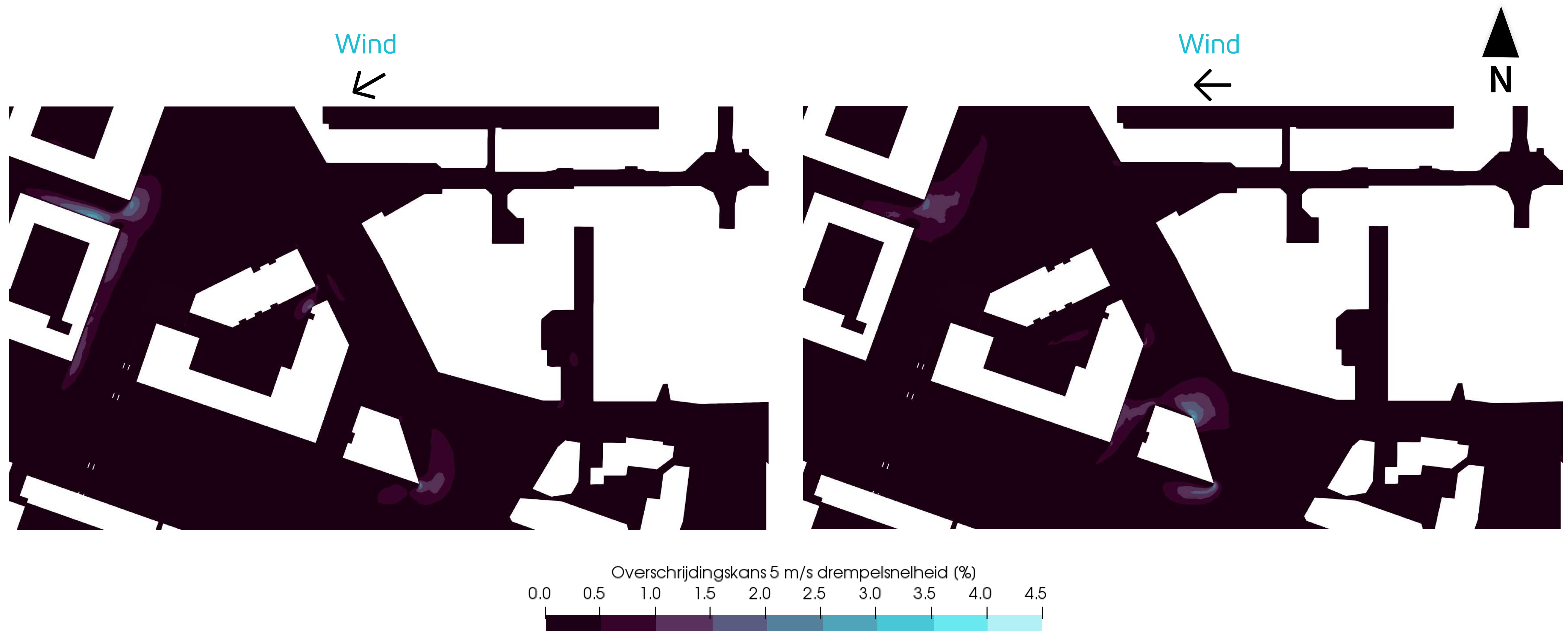
Om het aanwezig zijn van windhinderklassen D/E in bepaalde gebieden te voorkomen worden passende maatregelen aanbevolen. Het is van belang te kijken naar de functie van deze gebieden tot welke klassen deze gebieden teruggedrongen dienen te worden met behulp van zorgvuldig gekozen maatregelen.

Afhankelijk van de fase waarin het bouwproject zich bevindt kunnen er verschillende maatregelen genomen worden. Zo kan het verschuiven van de bouwvolumes zorgen voor een aanzienlijke verbetering. Ook kan er worden gewerkt met schermen en luifels aan de nieuwbouw. Op het straatniveau zelf kan er worden gewerkt met vegetatie om zo de wind af te remmen. Bij de keuze voor verdere maatregelen die genomen dienen te worden kan [Actiflow](#) geadviseerd worden.

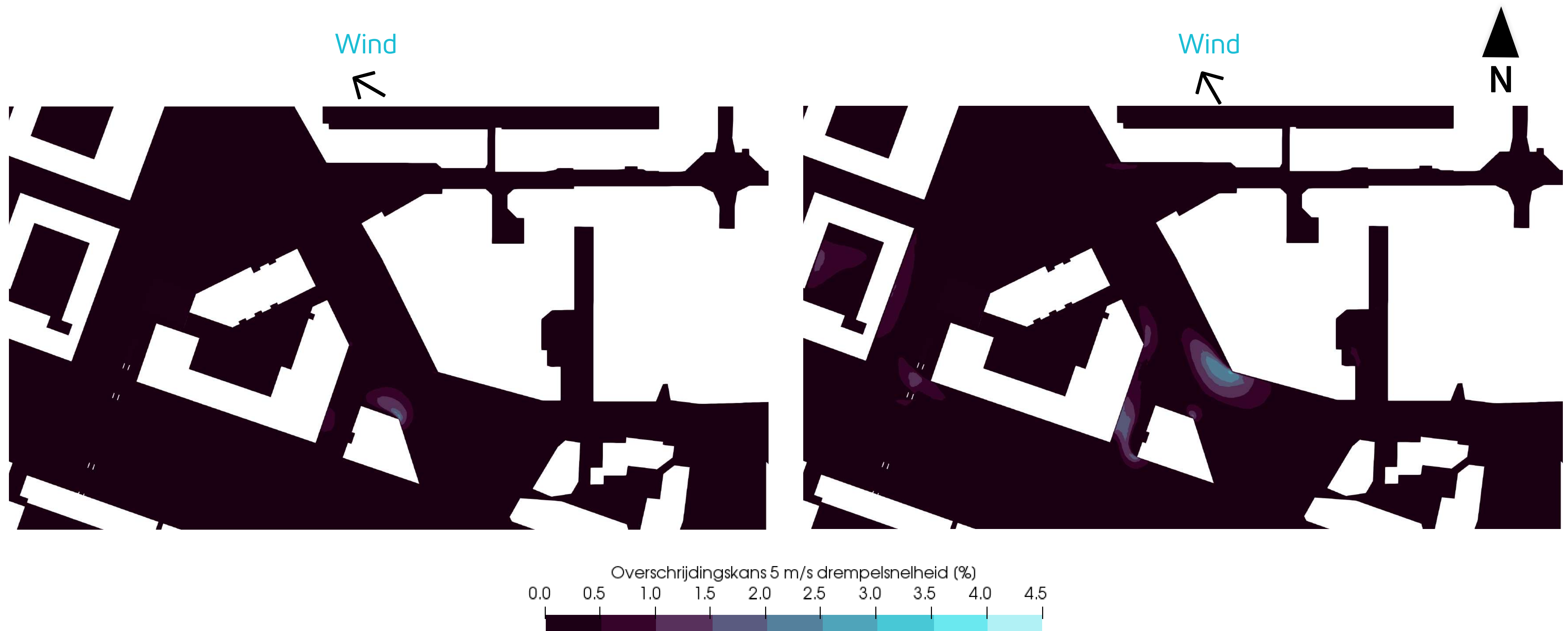
A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



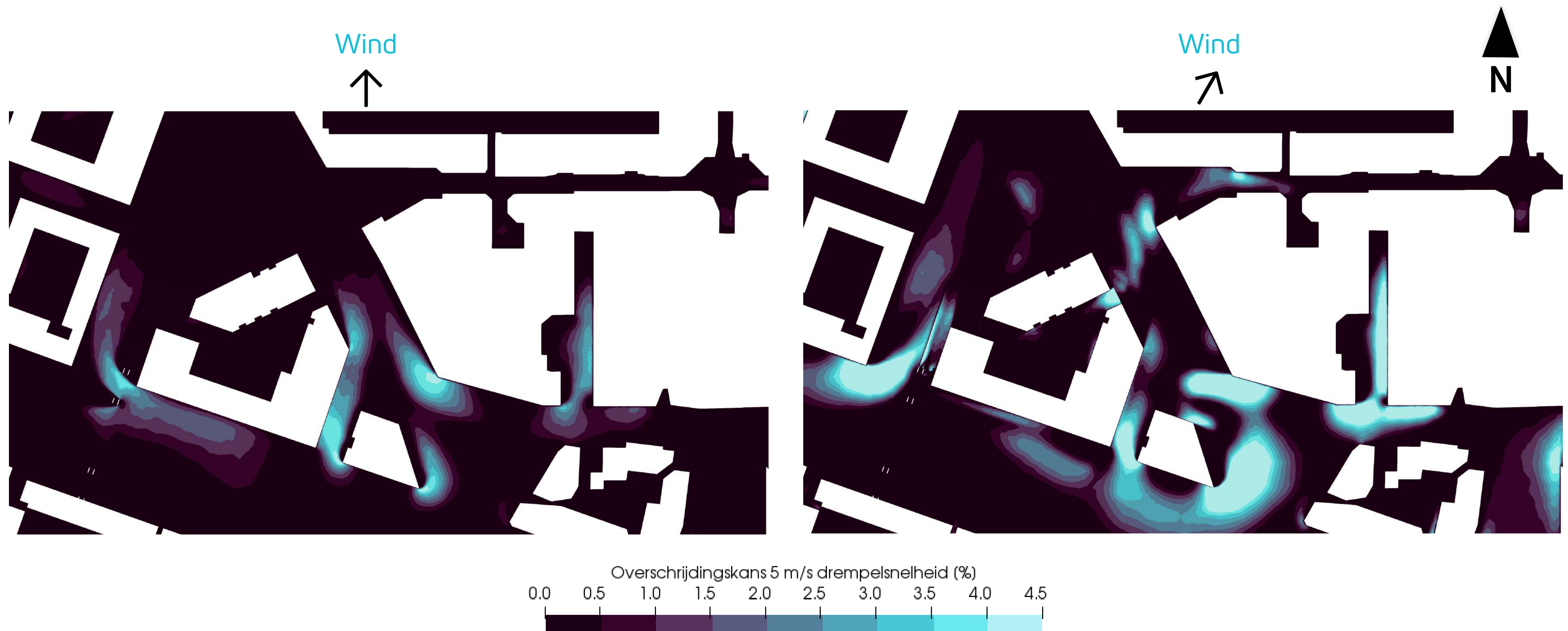
A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



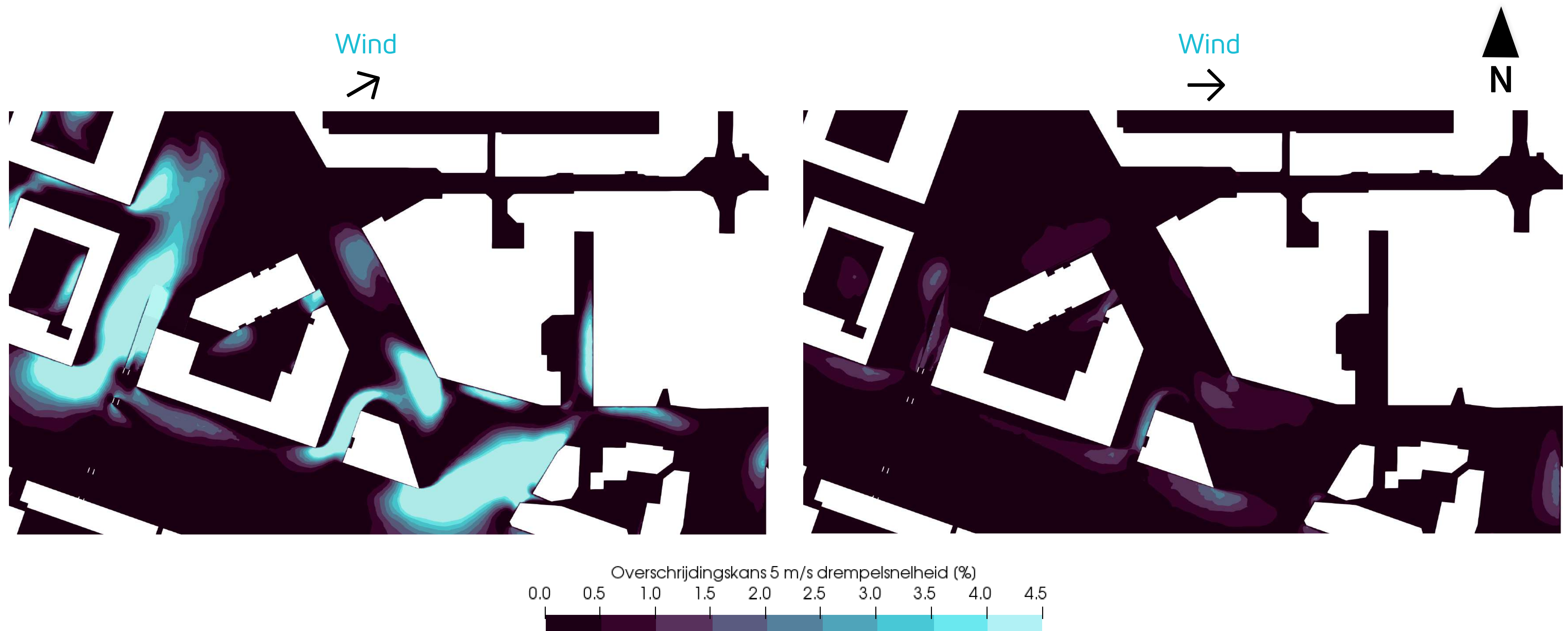
A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



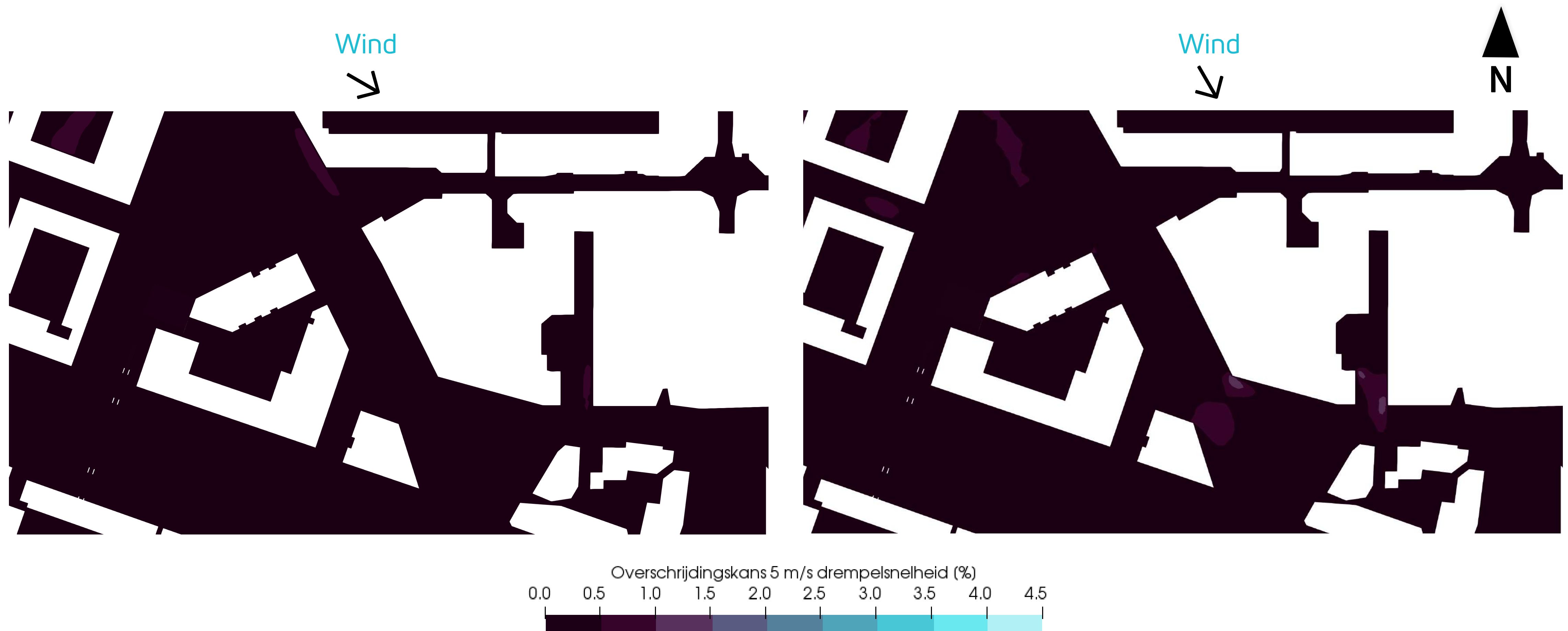
A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



B Inlegvel NEN 8100:2006

Project	Projectgegevens
Projectnaam	Project B1 te Nieuwegein
Opdrachtgever	Utrecht de kralen
Projectleider	ir. Ashly Berghuizen
Datum	26/02/2020
Model	Algemene gegevens van het model
Omvang gemodelleerd gebied	Bebouwing binnen 300 m rond kerngebied
Kerngebied	Nieuwe gebouwen
Omgeving	Omgeving in massa's, gedetailleerd nabij het kerngebied
Afmetingen model	Rond met straal 1500 m en hoogte 500 m
Blokkeringsgraad	maximaal 3%
Gemodelleerd groen	geen
Onderzochte windrichtingen (minimaal 12 over de windroos)	12
Onderzochte configuraties	Windhinder en windgevaar
Computeropstelling	Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur
Programmatuur	☒ FVM (eindige volume methode) ☐ FEM (eindige elementen methode) ☐ anders Programmatuur: OpenFOAM Versie: v1812
Algemeen	☒ drie-dimensionaal ☒ tijd-onafhankelijk ☒ isothermisch ☐ passieve scalars ☐ twee-dimensionaal ☐ tijd-afhankelijk ☐ thermisch ☐ actieve scalars Overige:
Rekenrooster	Hybride ongestructureerd: tetraëders met prismalaag Basis: 22 571 467 cellen
Turbulentiemodellering	k-omega-SST
Convectieve differentieschema's	Snelheidscomponenten: linearUpwindV cellLimited leastSquares 1 Turbulente grootheden: limitedLinear 1 Scalaire variabelen: n.v.t.

Randvoorwaarden	Gebruikte randvoorwaarden
Instroomprofiel	Logaritmische atmosferische grenslaag
Uitlaat	Druk-uitlaat
Boven-/Zijwanden	Slip-wanden
Vloer/bodem	No-slip, lokale ruwheid
Overige	No-slip, lokale ruwheid
Gegevensverwerking en -beoordeling	informatie voor locatie en berekening windklimaat
Amersfoortse coördinaten van de locatie	X: 133854 Y: 448755
Gepresenteerde resultaten	Windhindercontouren, klassenindeling en windgevaarcontouren
Opmerkingen en eventuele conclusies van proefoverschrijdend belang	



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