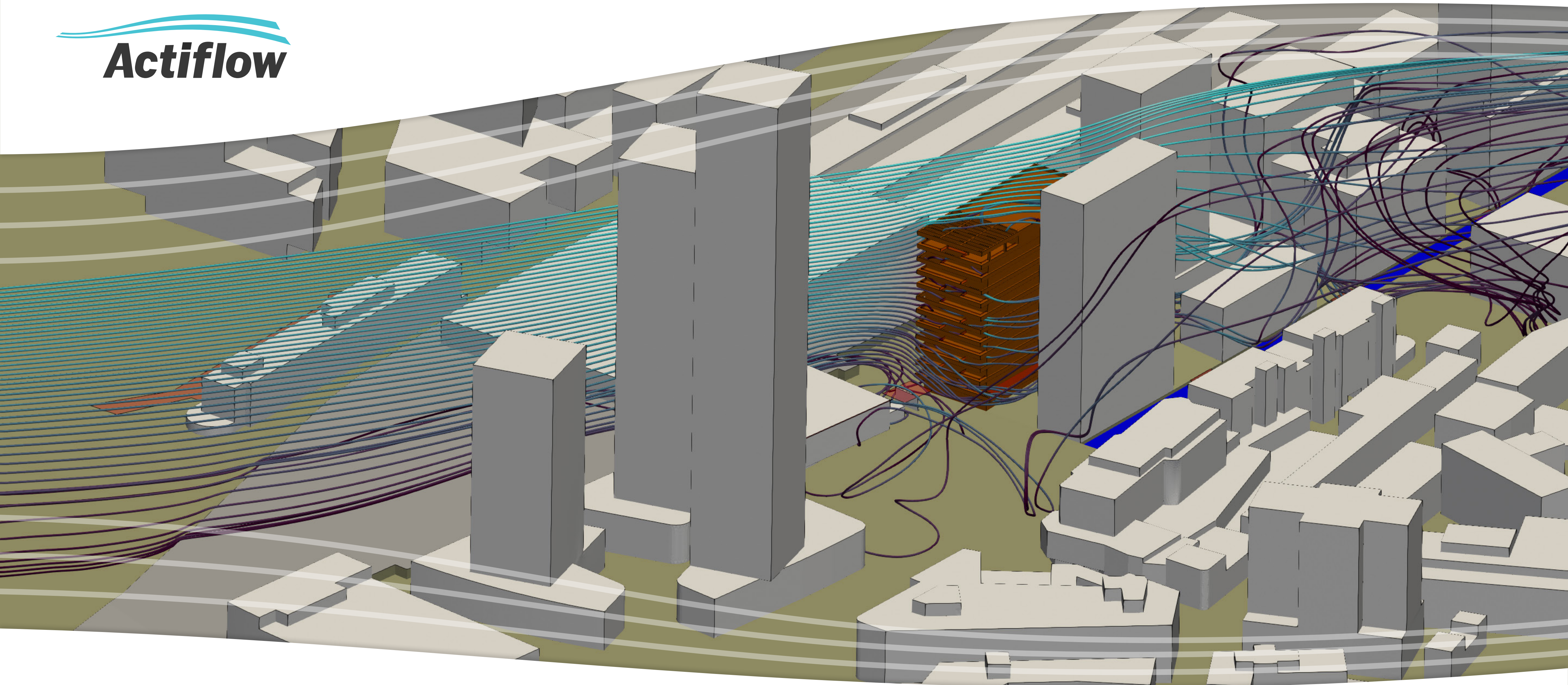




Kantoorgebouw Lichthoven Stationsplein te Eindhoven

CFD-studie windhinder en windgevaar

Auteur(s): ir. Samy lousef

Controlleur: ir. Tom Fahner

Datum: 24/02/2020

AFR - 7939

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

4.1 Windhinder - openbare buitenruimten

4.2 Windgevaar - openbare buitenruimten

5 Conclusie en aanbevelingen

5.1 Conclusie

5.2 Aanbevelingen

A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen

B Inlegvel NEN 8100:2006

1 Introductie

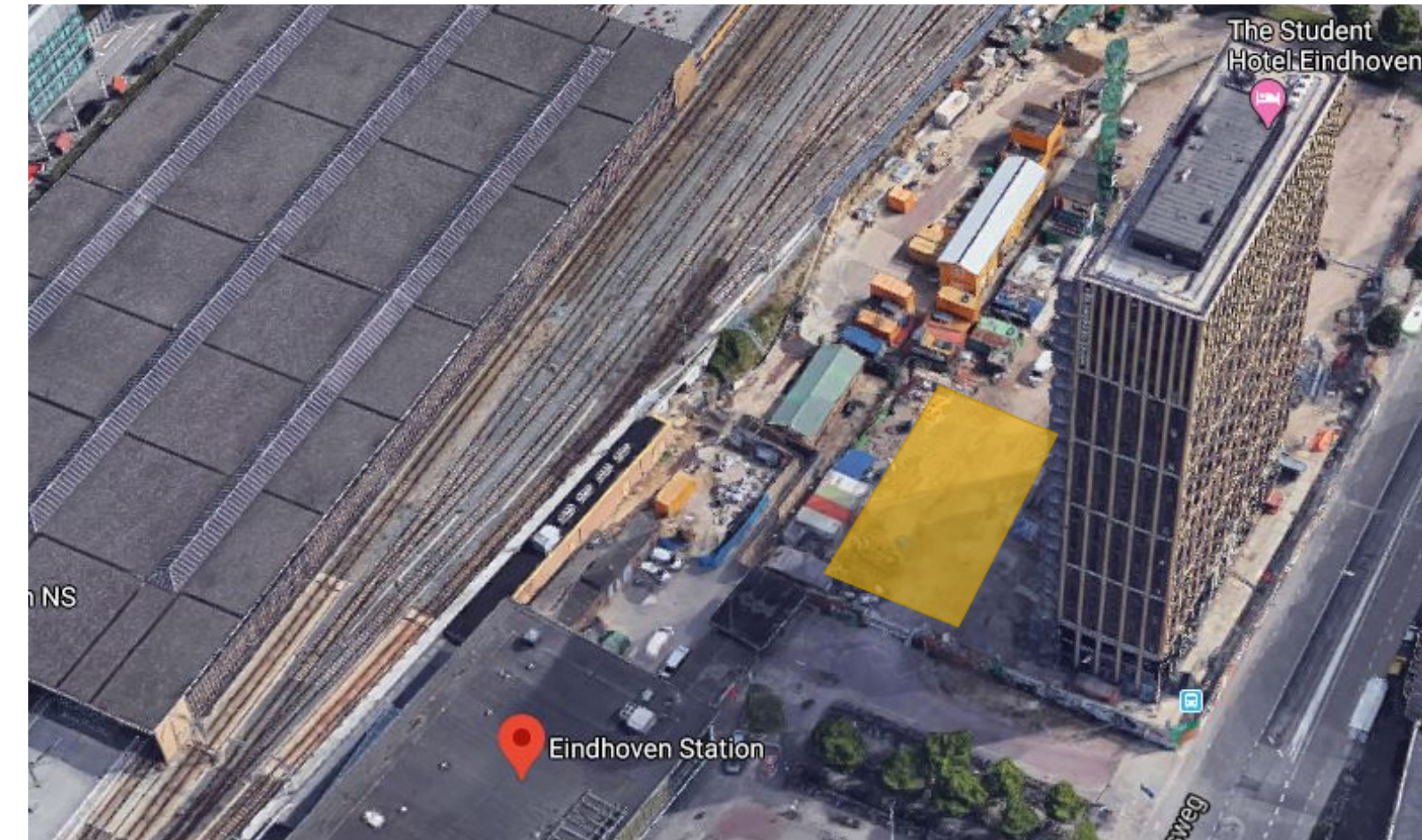
Voorliggende rapportage omschrijft een windstudie, uitgevoerd door **Actiflow** in opdracht van Rho Adviseurs B.V.. Het onderwerp van het rapport is het nieuwbouwproject betreffende de ontwikkeling van kantoorgebouw Lichthoven aan het Stationsplein te Eindhoven.

De nieuwbouw (namelijk gebouw A) is voorzien op een perceel aan het Stationsplein te Eindhoven, grenzend aan station Eindhoven Centraal en het Student Hotel (figuur 1.1). In de huidige situatie ligt het perceel braak. In de nieuwe situatie is een gebouw voorzien bestaande uit een rechthoekig bouwvolume met een hoogte van ruim 50 m. Een illustratie van de nieuwbouw wordt getoond in figuur 1.2.

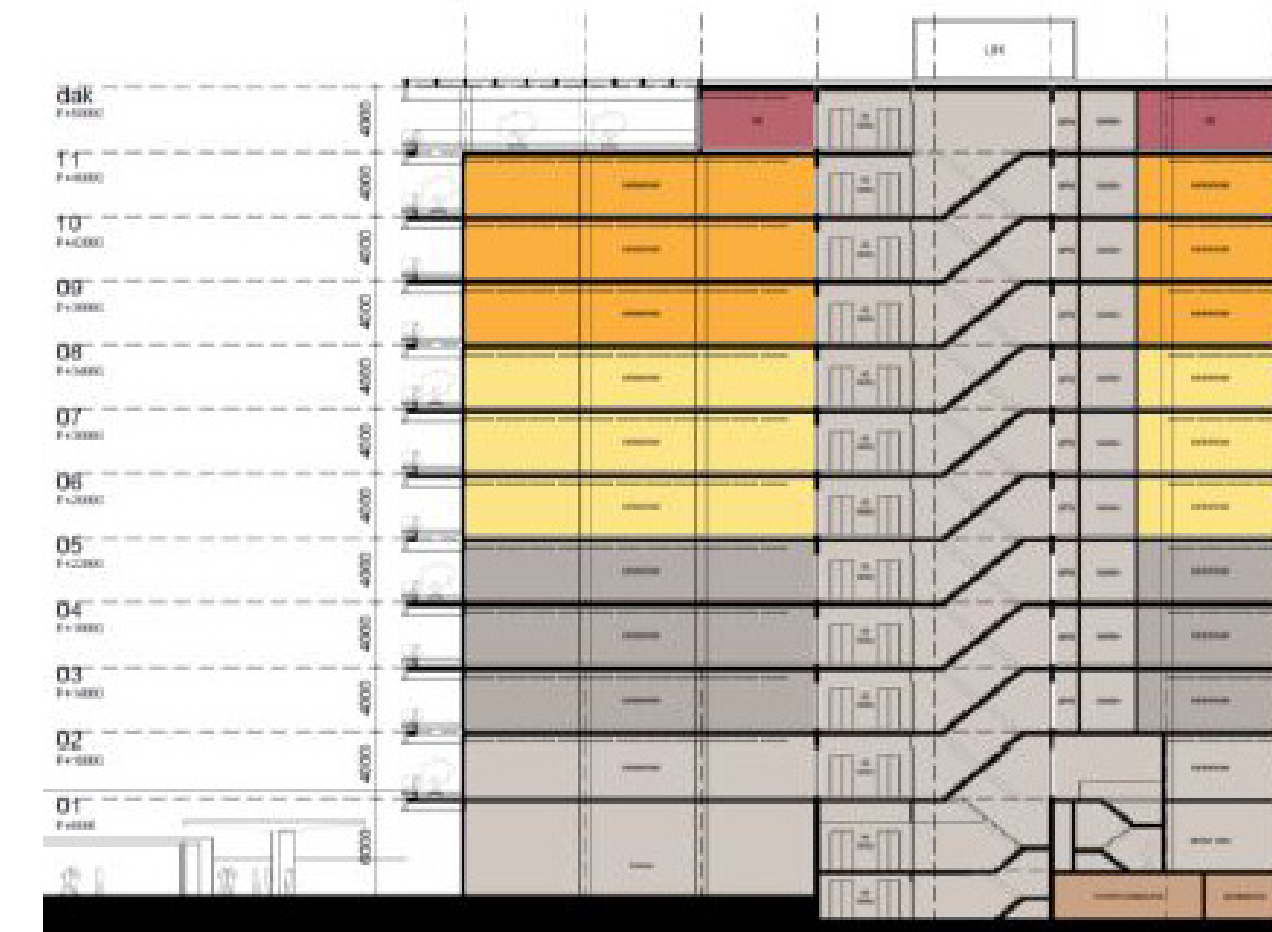
Het bouwproject veroorzaakt een verandering in het straatbeeld en dit heeft een invloed op het windklimaat. De vraag is of het windklimaat in het gebied acceptabel is na realisatie van het nieuwe gebouw.

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 het positie van het nieuwbouwproject (bron: Google Maps)



Figuur 1.2
Impressie van het nieuwbouwproject, 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.

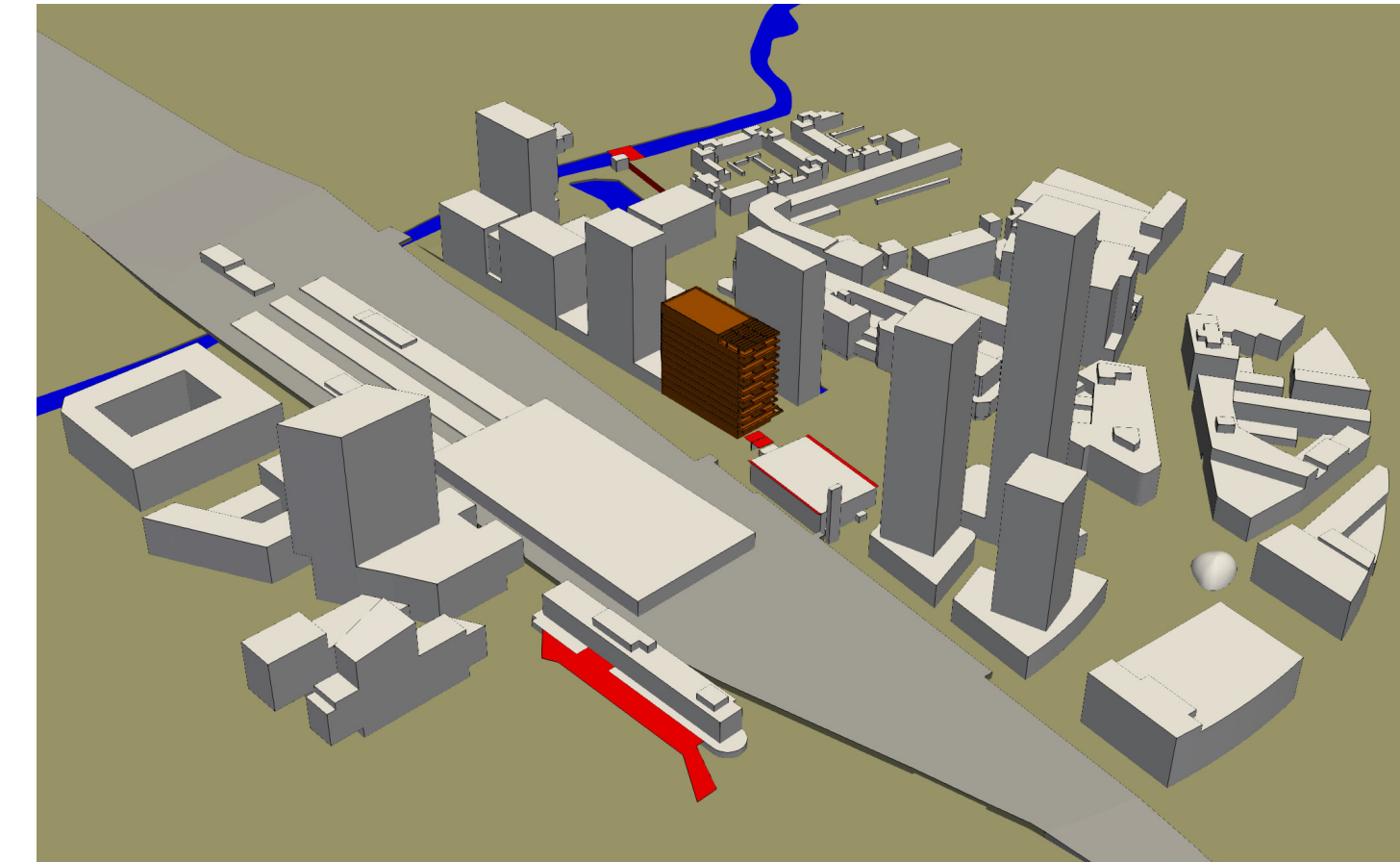
3.1 Software

De berekening is uitgevoerd met behulp van OpenFOAM v1912, 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

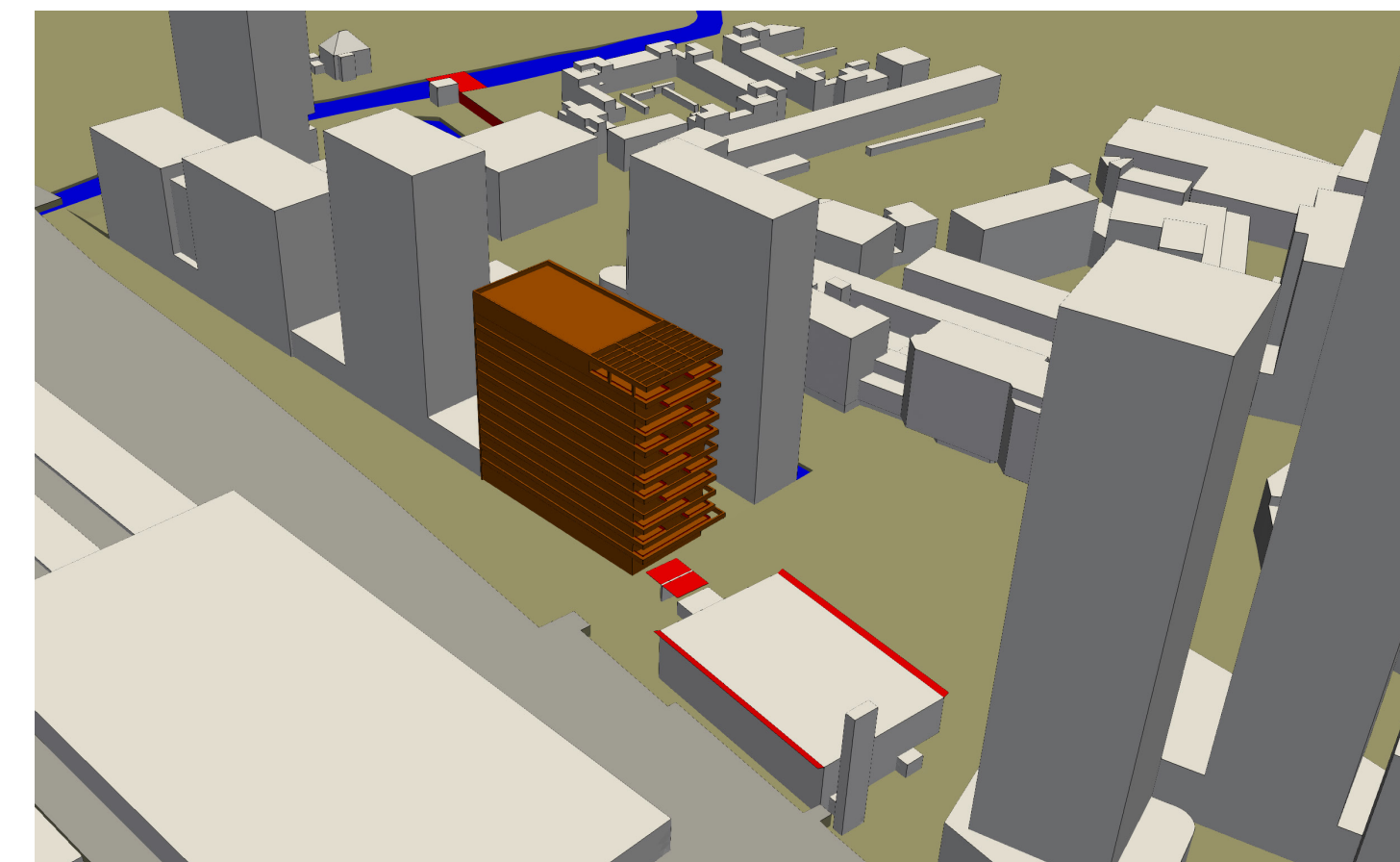
De geometrie van het model is gebaseerd op de verkregen tekeningen en modellen van de opdrachtgever. Het 3D-model is weergegeven in figuur 3.1. Het model omvat alle gebouwen binnen een straal van minimaal 300 meter.

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 900 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.



Figuur 3.1:
Impressie van het
model

(a)
Overzicht model



(b)
Close-up

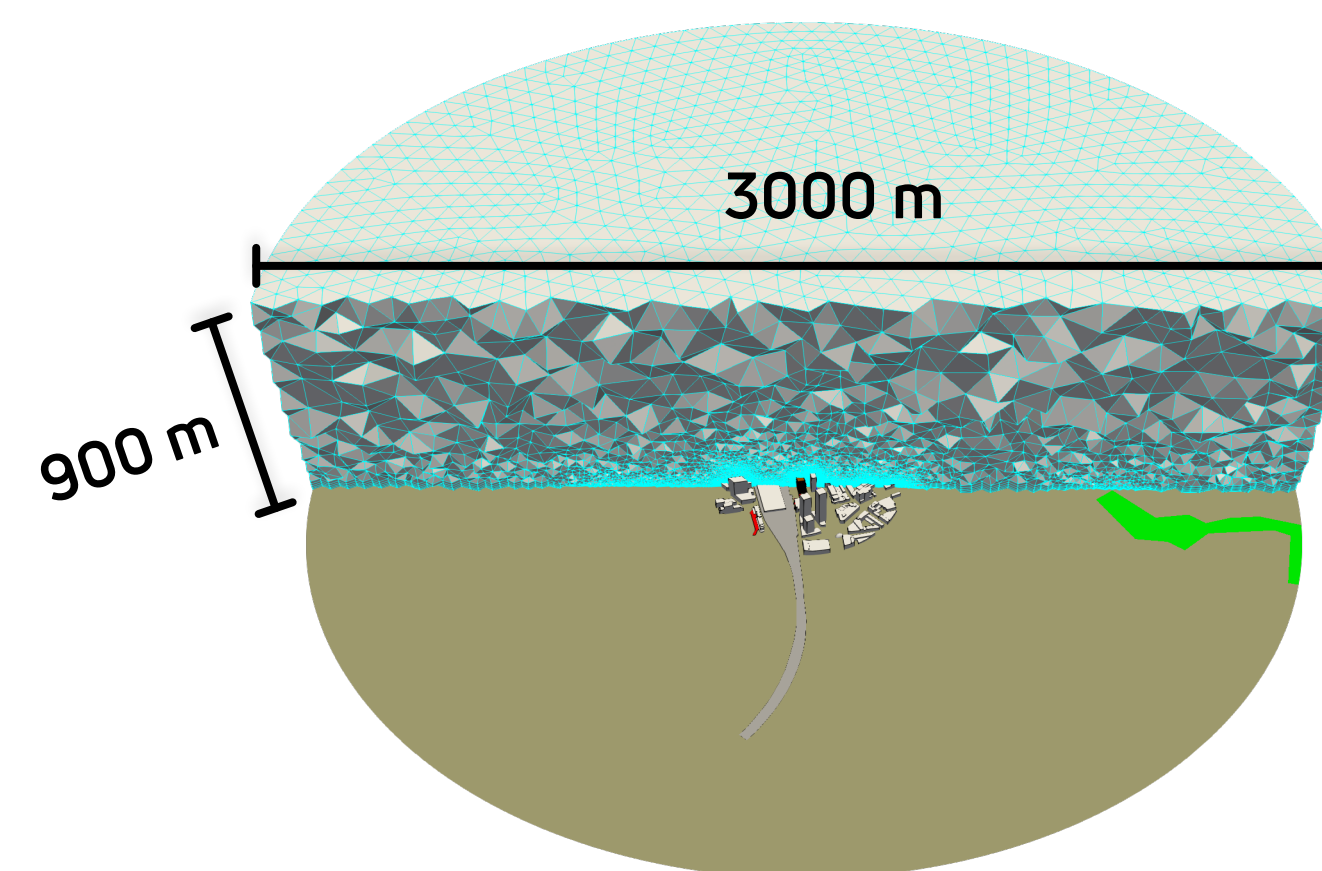
Het luchtvolume in de hierboven omschreven geometrie is vervolgens opgedeeld in een groot aantal kleine volumecellen. Deze cellen tezamen vormen het rekenrooster voor onderhavige situatie (figuur 3.2). Dit rooster bestaat uit 38 406 549 cellen. Over het grondoppervlak en de bebouwing zijn vijf lagen 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 doorerekend, 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.

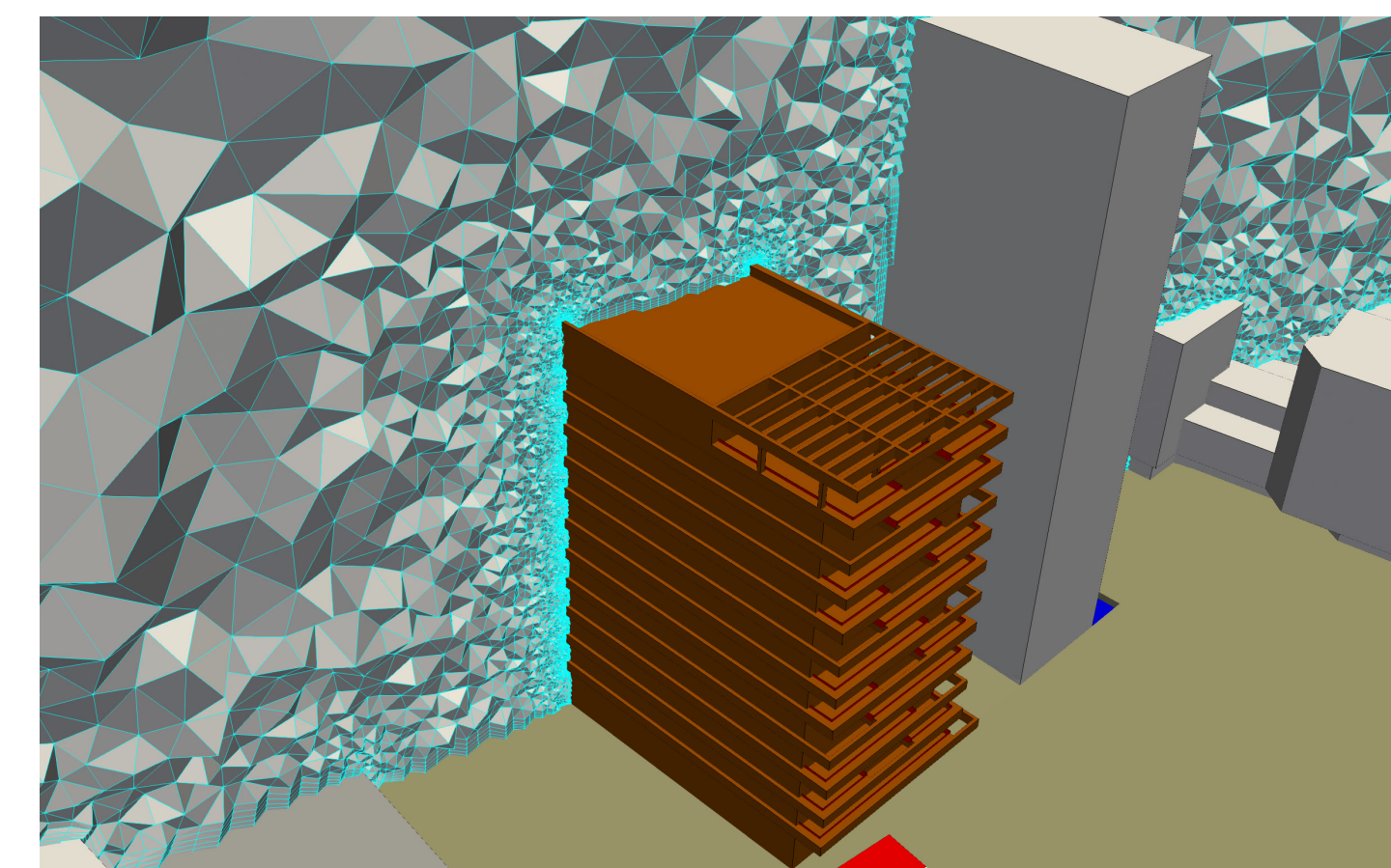
Ook de turbulente grootheden k en ω verlopen volgens een voorgeschreven profiel, zoals aangegeven in vergelijking 3.3 en vergelijking 3.4. Hierin heeft C_μ de waarde 0,09. Deze empirische constante komt voort uit het gebruikte turbulentemodel (k - ω SST).

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 rekengrid

(a)
Doorsnede van het
rekengrid



(b)
Doorsnede van het
rekengrid - ingezoomd

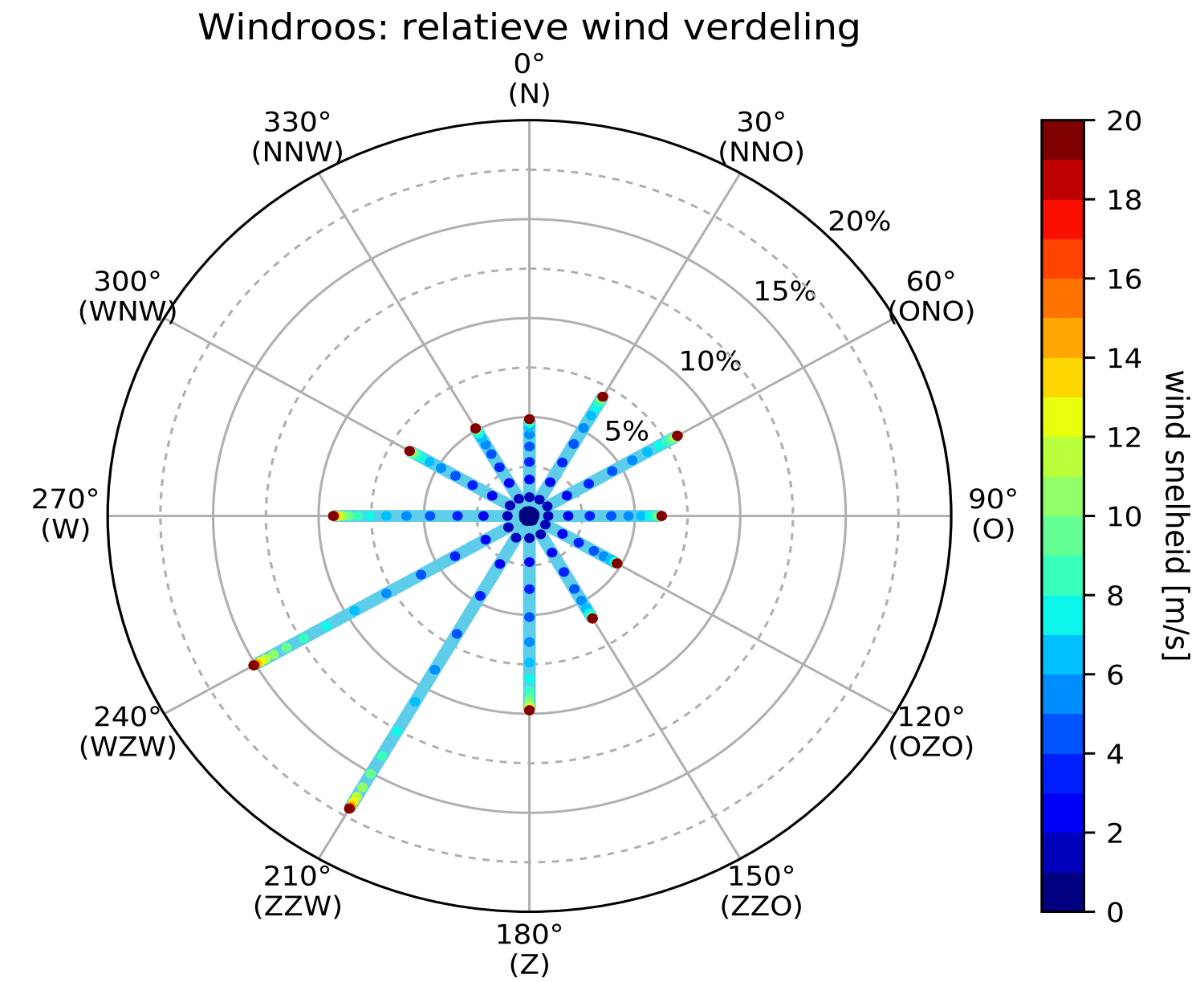
Vervolgens wordt de windstatistiek gecombineerd met de berekende versterkingsfactor, zodat voor elke windsnelheid op een locatie een overschrijdingskans kan worden bepaald van verschillende windsnelheden. Deze overschrijdingskans wordt vervolgens getoetst aan de gewenste kwaliteitsklasse om te bepalen of er een comfortabel windklimaat kan zijn. Een visualisatie van de lokale windstatistiek als windroos met daarbij de verdeling 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.

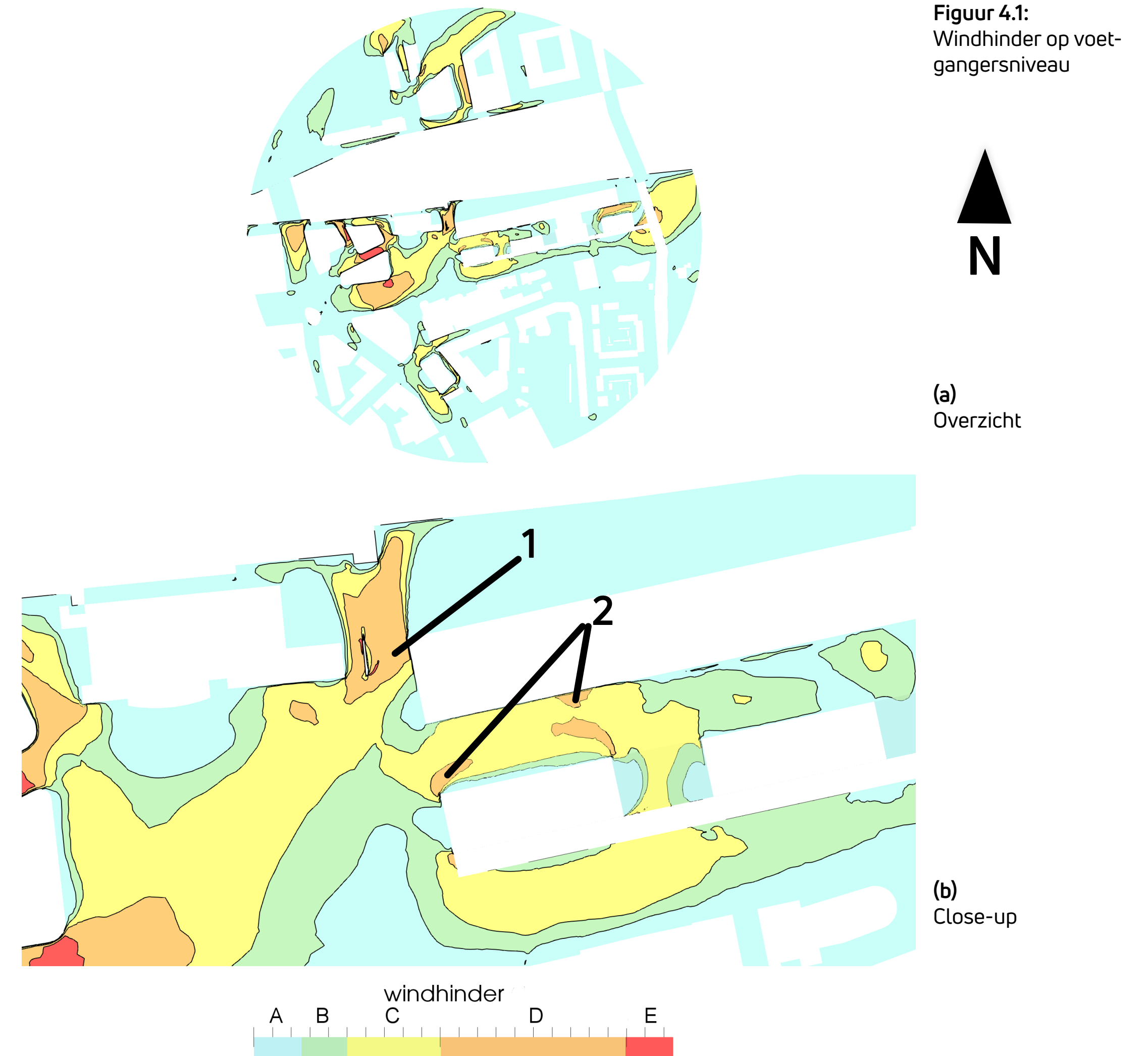
4 Resultaten

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.

4.1 Windhinder - openbare buitenruimten

De resultaten (figuur 4.1) laten zien dat windhinderklassen A, B, C en D op kunnen treden in de nabijheid van de nieuwbouw. Klasse E wordt in de directe omgeving van de nieuwbouw niet gevonden. Klasse D is in oranje weergegeven in figuur 4.1. Zoals hierboven is uitgelegd, karakteriseert klasse D de gebieden waar de windsnelheid 5 m/s of hoger is voor 10% tot 20% van de tijd. De zones met klasse D zijn in figuur 4.1b genummerd met '1' en '2'.



Om de resultaten te verklaren, worden stroomlijnen getoond in figuur 4.2. Stroomlijnen geven het pad aan dat de wind volgt wanneer het langs de verschillende obstakels stroomt.

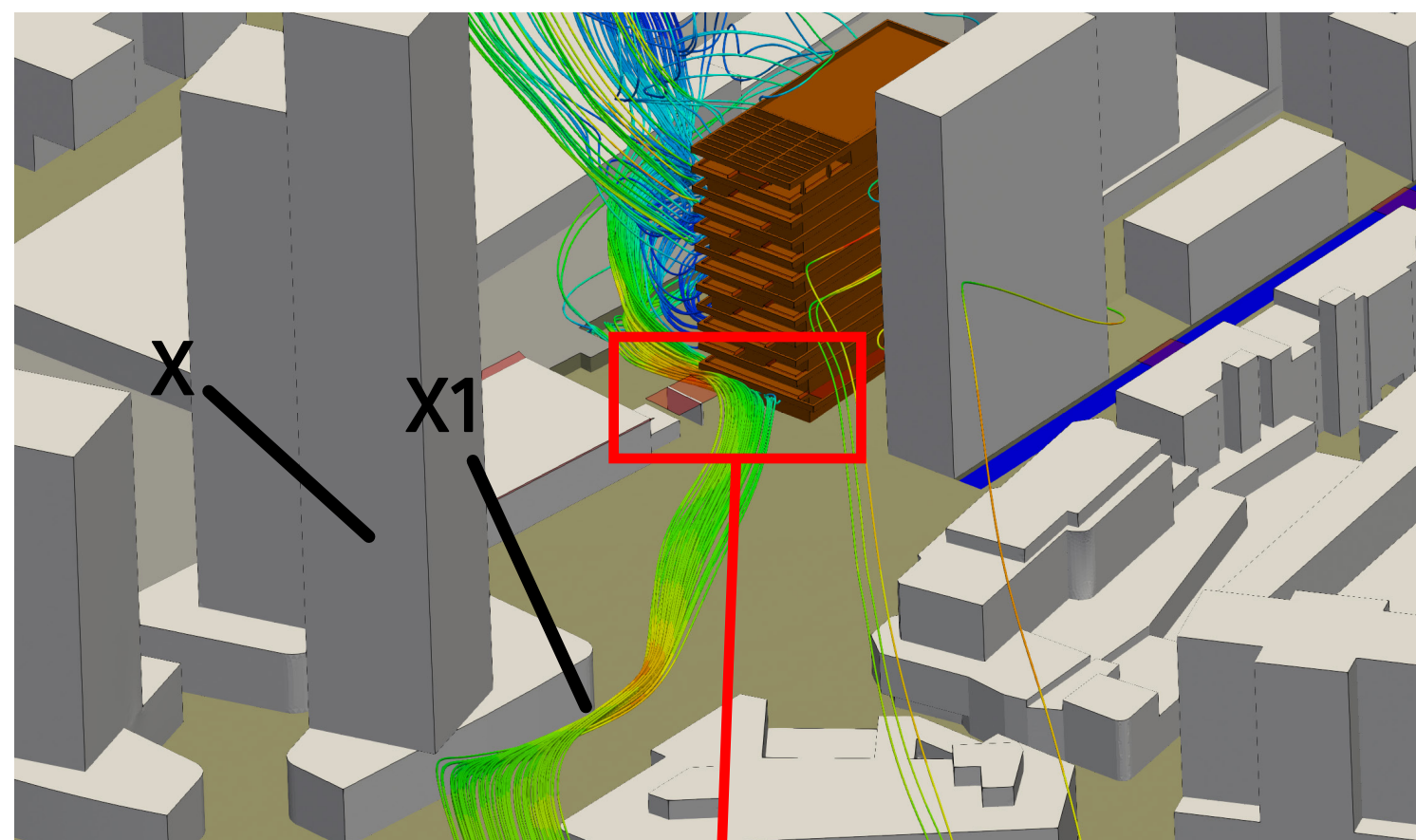
In figuur 4.2a, kan worden gezien dat als de wind uit het zuidzuidwesten (ZZW) komt, deze wind versnelt bij de hoek (met de X1 gemarkeerd) van de toren in de westzuidwestelijke (WZW) richting (met de X gemarkeerd). Dit komt door het zogeheten hoekstroomeffect. Na deze versnelling stroomt de wind tegen het lagere deel van de westelijke facade van de nieuwbouw en wordt vervolgens afgebogen richting de noordwestelijke hoek van het gebouw. Ook hier vindt versnelling van de stroming plaats door het hoekstroomeffect, zoals te zien in figuur 4.2b. Dit stromingsverschijnsel veroorzaakt de verslechtering van het windcomfort op voetgangersniveau rondom zone 1.

Vergelijkbare observaties kunnen worden gemaakt wanneer de wind uit het westzuidwesten komt. Bij deze richting is echter de versnelling van de wind bij de hoek (met de X2 gemarkeerd) van gebouw X sterker aanwezig. Dit wordt aangetoond door de rode stroomlijnen in figuur 4.2c (met de Y gemarkeerd) welke hoge wind snelheden aangeven. Deze versterkte acceleratie draagt gedeeltelijk bij aan de verslechtering van het windcomfort op voetgangersniveau rondom zone 1 en daarnaast versterkt het de gevolgen van het hoekstroomeffect bij de noordwestelijke hoek van de nieuwbouw.

Aangaande de regio met windhinderklassen C en D rondom zone 2 wordt het volgende opgemerkt. De oriëntatie van de nieuwbouw is zodanig dat wanneer de wind uit WZW stroomt, de windstroming vanaf de hoek gemarkeerd als J in figuur 4.2d aan het gebouw aanligt. In dit geval ontwikkelt de stroming langs het trottoir tussen de nieuwbouw en het Student Hotel (SH) waarbij de snelheid relatief hoog blijft.

In dezelfde figuur kan worden gezien dat deze hoge windsnelheden ook worden veroorzaakt door de aanwezigheid van het Student Hotel zelf. Dit ontstaat door de versnelling van de stroming rondom de noordwestelijke hoek van het Student Hotel (aangegeven met de SH in figuur 4.2 d). De aanwezigheid van de zones met klasse C en D is dan ook toe te schrijven aan zowel de nieuwbouw, maar ook aan het Student Hotel. Beide beïnvloeden het lokale windklimaat.

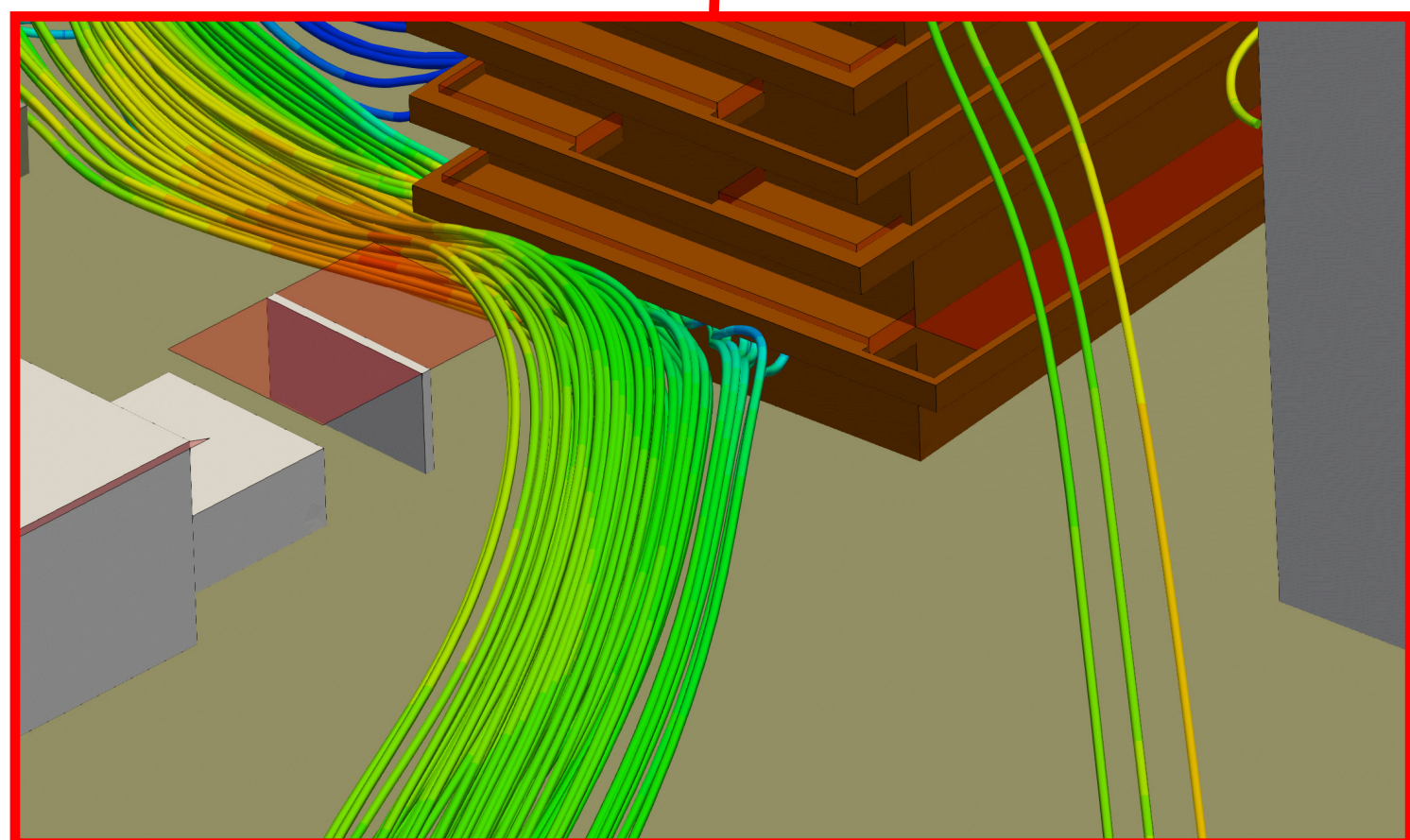
Merk op dat de windhinderklasse D regio's niet mogen worden geassocieerd met windgevaarlijke regio's, maar 'slechts' met oncomfortabele omstandigheden bij de gedefinieerde functies: doorlopen (matig klimaat), slenteren en langdurig zitten. Zoals aangegeven in sectie 2.1, geven de windhinderklassen een schatting van het aantal uren per jaar dat de drempel van 5 m/s wordt overschreden. Daartoe wordt in bijlage A de overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor afzonderlijke windrichtingen uitgezet. In dit geval wordt het effect van de windstroom uit het zuidzuidwesten en westzuidwesten duidelijker gemaakt.



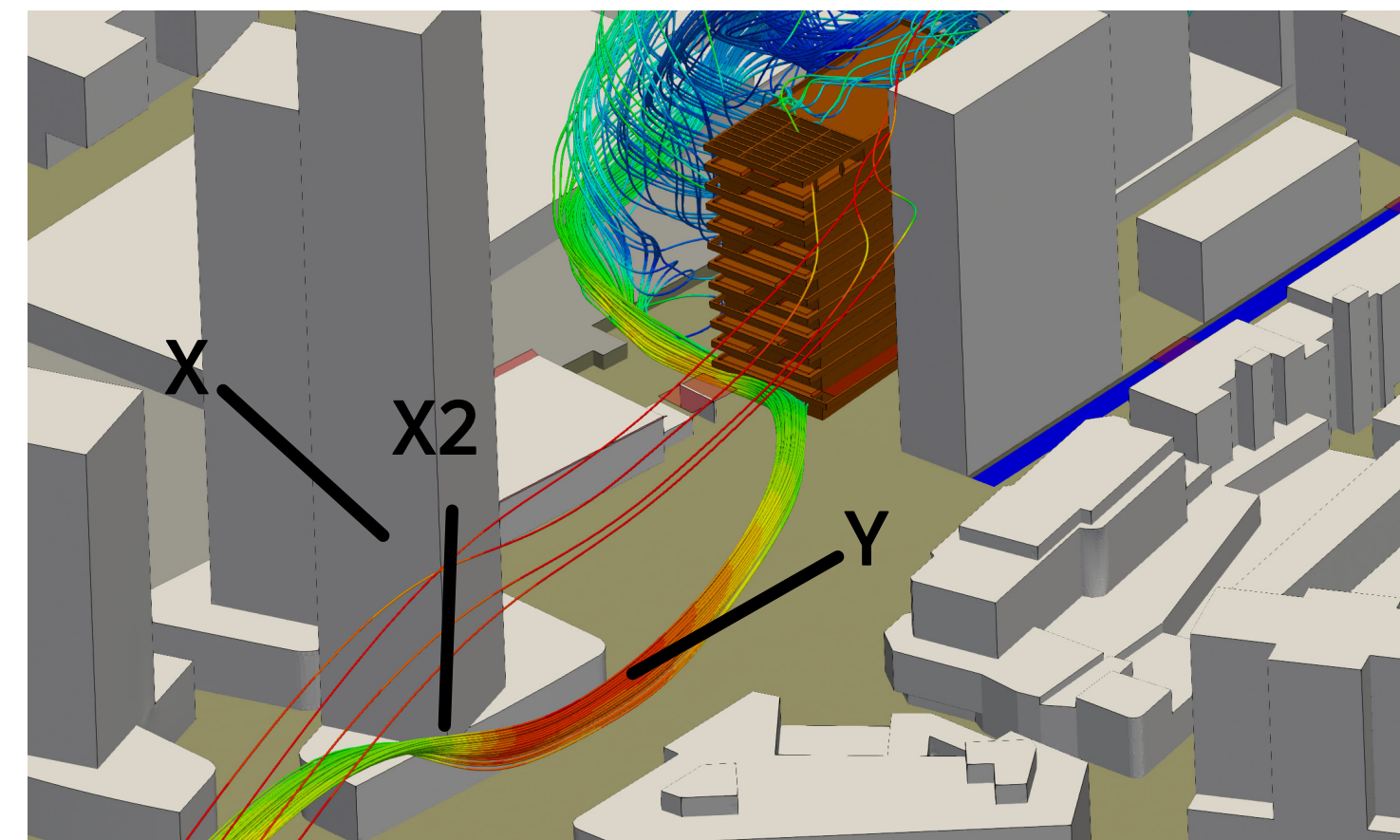
Figuur 4.2:
Stroomlijnen rond de
gebouwen van belang.

Blauw geeft een lage
windsnelheid aan terwijl
rood een hoge windsnel-
heid betekent

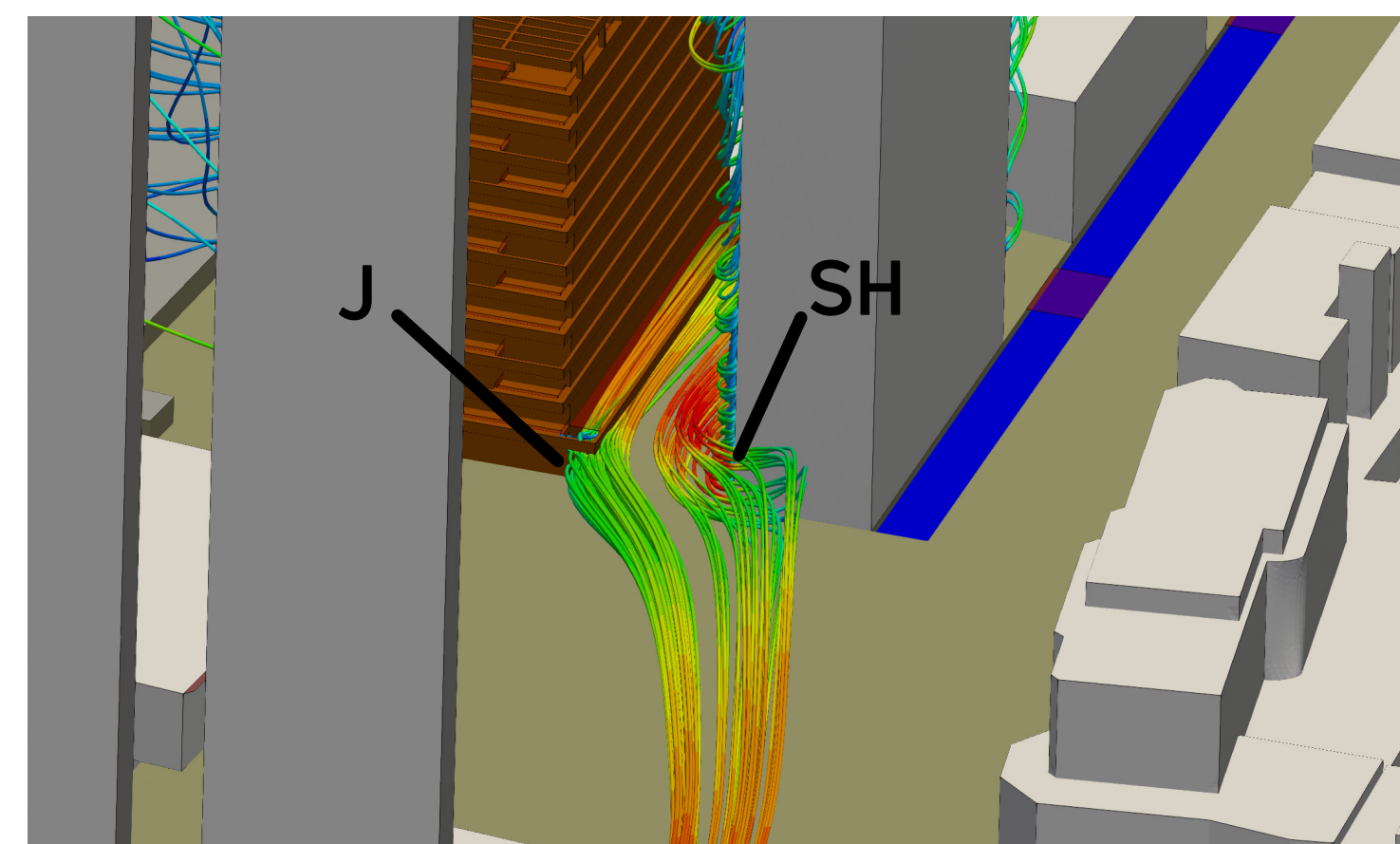
(a)
Wind uit ZZW richting,
gezien vanuit het zuid-
westen



(b)
Wind uit ZZW richting,
gezien vanuit het zuid-
westen - ingezoomd



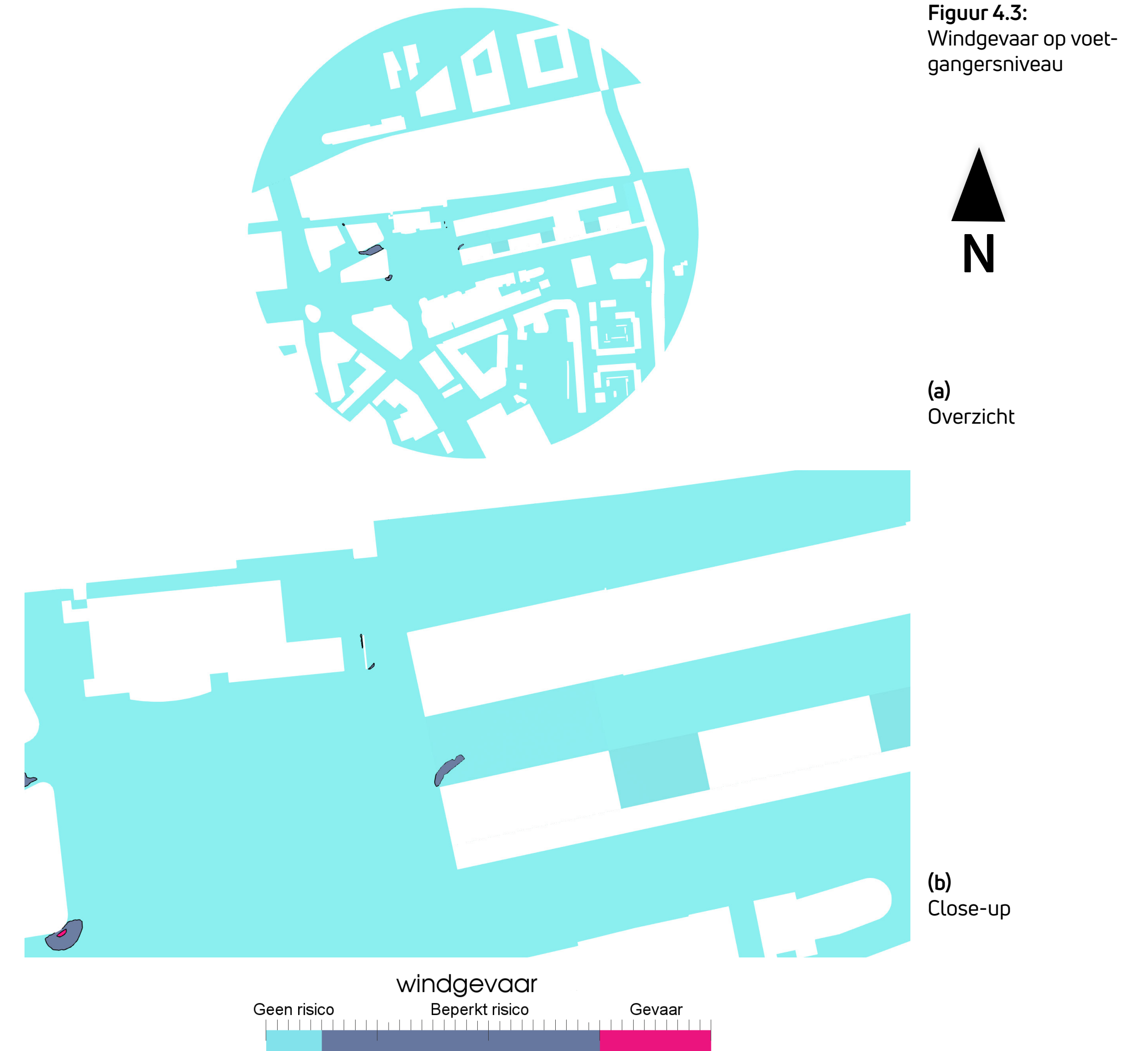
(c)
Wind uit WZW richt-
ing, gezien vanuit het
zuidwesten



(d)
Wind uit WZW richting,
gezien vanuit het zuid-
westen

4.2 Windgevaar - openbare buitenruimten

In figuur 4.3 wordt de windgevaar-analyse gepresenteerd. De analyse geeft aan dat er hele kleine zones met (beperkt) risico worden gevonden in de directe omgeving van de nieuwbouw. De voornaamste zone is die bij de hoek van het Student Hotel waar ook windhinderklasse D werd gevonden. Mochten zich hier gebouwentrées bevinden dan moet hiervoor wellicht een maatregel worden toegepast.



5 Conclusie en aanbevelingen

5.1 Conclusie

Dit rapport presenteert een onderzoek naar het windklimaat rondom de nieuwbouw 'Kantoorgebouw Lichthoven Stationsplein te Eindhoven'. 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.

Regio's met windhinderklasse D worden toegeschreven aan de versnelling van de stroming rond de hoeken van het gebouw (hoekstroomeffect), maar ook als gevolg van de positionering van de nabijgelegen gebouwen. Met name de toren ten westzuidwesten en het Student Hotel beïnvloeden (gedeeltelijk) het windklimaat in de directe nabijheid van de nieuwbouw en het gebied ten zuiden van het station Eindhoven Centraal (op het Stationsplein).

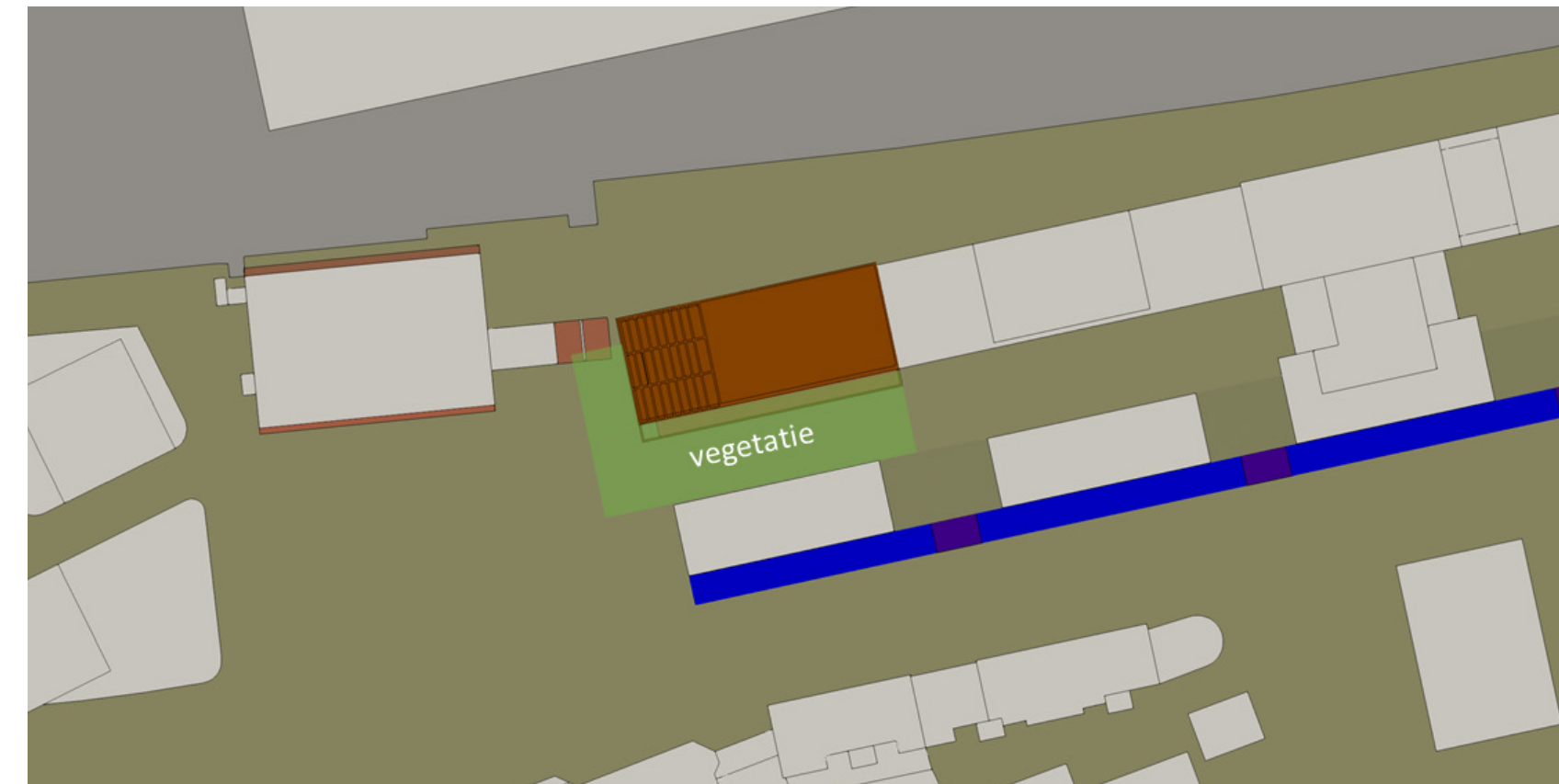
Er worden kleine zones met een beperkt risico op windgevaar gevonden. De zone bij het Student Hotel zou aanleiding kunnen geven om hiervoor maatregelen te voorzien mits er in de buurt een gebouwentree aanwezig is.

Om het aanwezig zijn van windhinderklasse D in bepaalde gebieden te voorkomen worden passende maatregelen aanbevolen. Deze zijn afhankelijk van de functie van het gebied. Dergelijke aanbevelingen worden beschreven in paragraaf 5.2 en zijn bedoeld om het windcomfort te verbeteren.

5.2 Aanbevelingen

Het lokale windklimaat kan worden geoptimaliseerd op basis van mitigerende maatregelen. Zoals in de vorige paragrafen is opgemerkt zijn de belangrijkste aandachtspunten aanwezig op de hoeken van het bouwvolume.

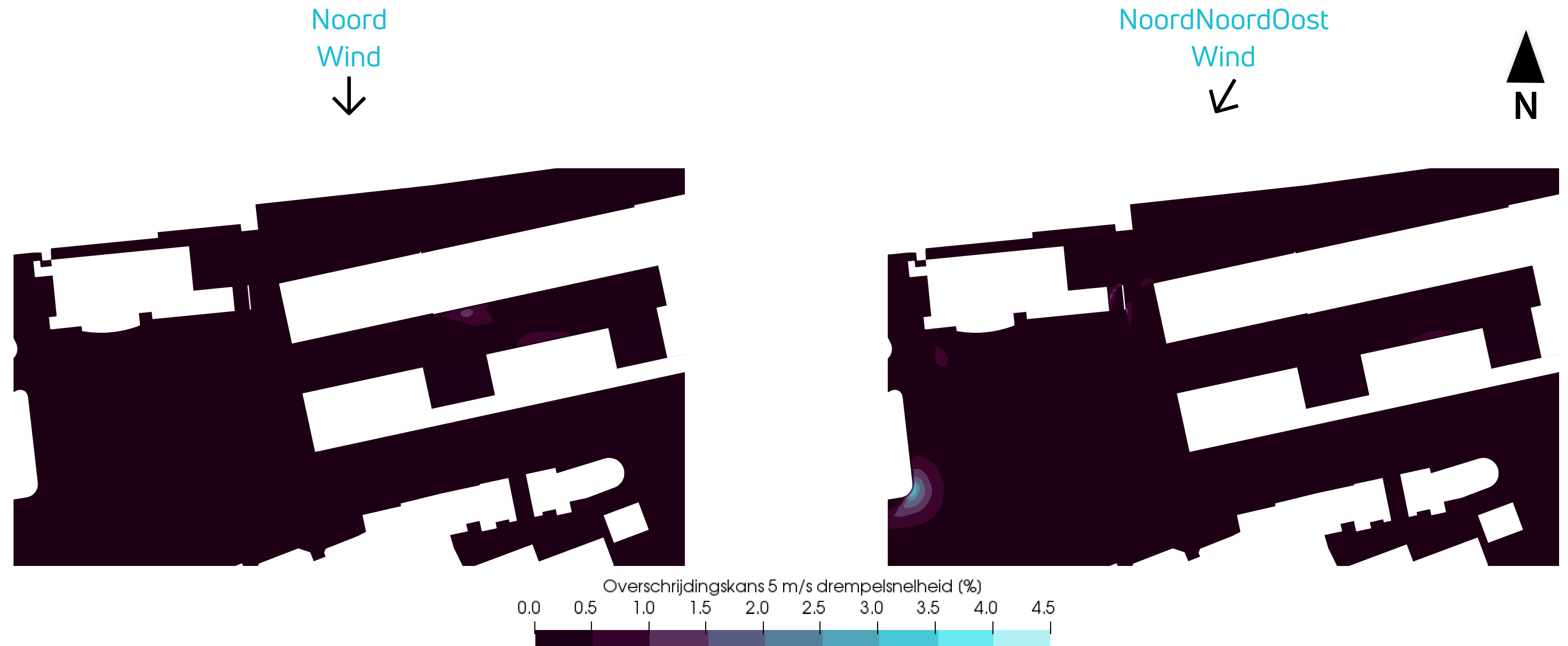
Om de zones met windhinderklasse D te verminderen alsmede de zone met beperkt risico op windgevaar te verkleinen of zelfs kwijt te raken wordt aanbevolen om vegetatie te plaatsen rondom de zuidwesthoek van het gebouw (figuur 5.1). Er wordt aanbevolen om hier vegetatie met een afwisselende hoogte (struiken: 2 tot 3 m, bomen: 5 tot 8+ m), opbouw (kruin hoog of laag) en ook porositeit (wintergroen of bladverliezend) toe te passen.



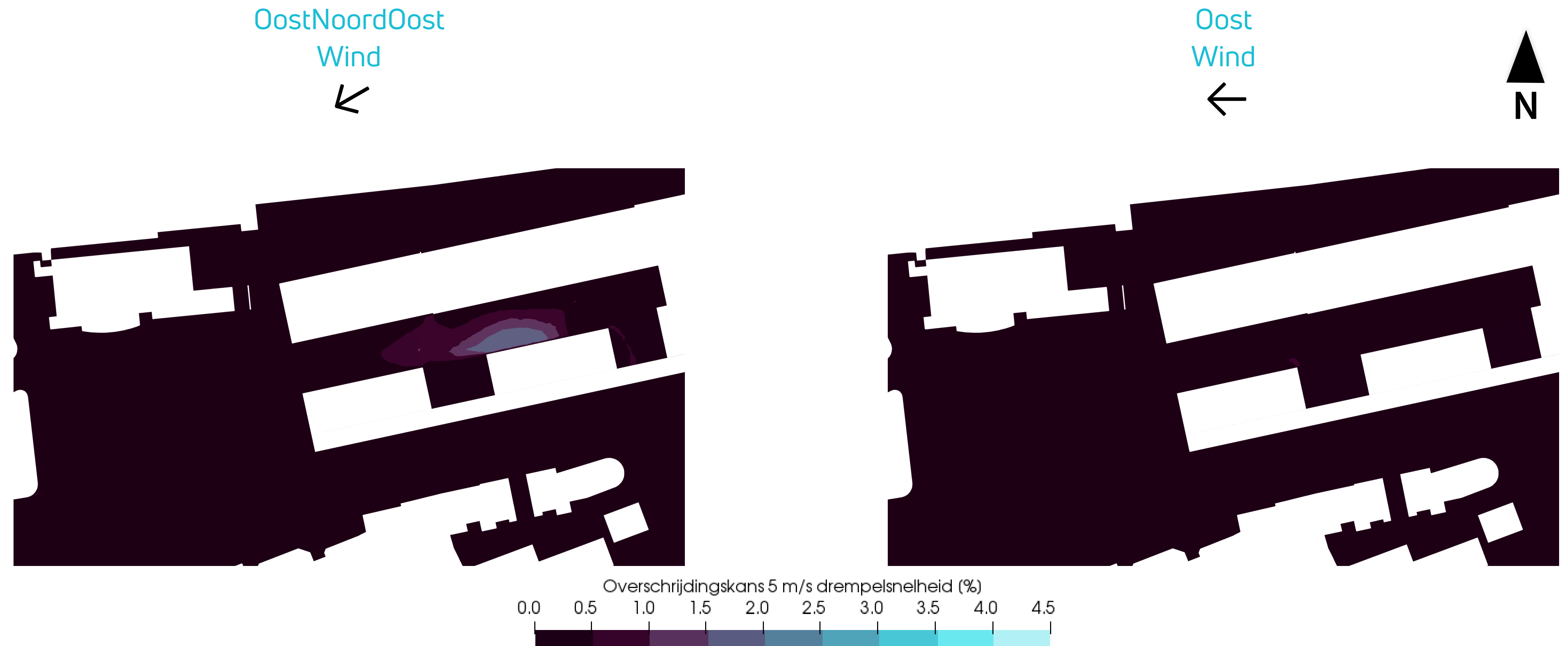
Figuur 5.1:
Impressie van de locatie
van de bomen/struiken



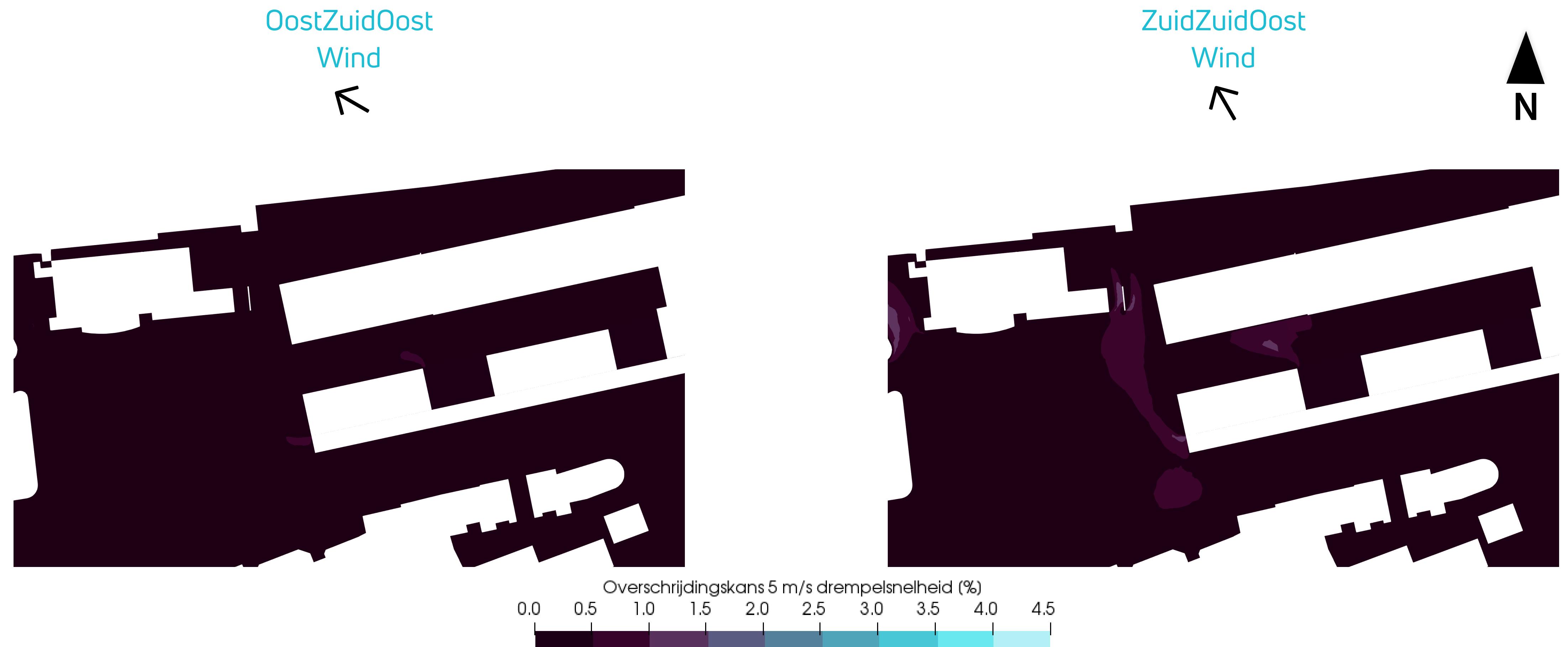
A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



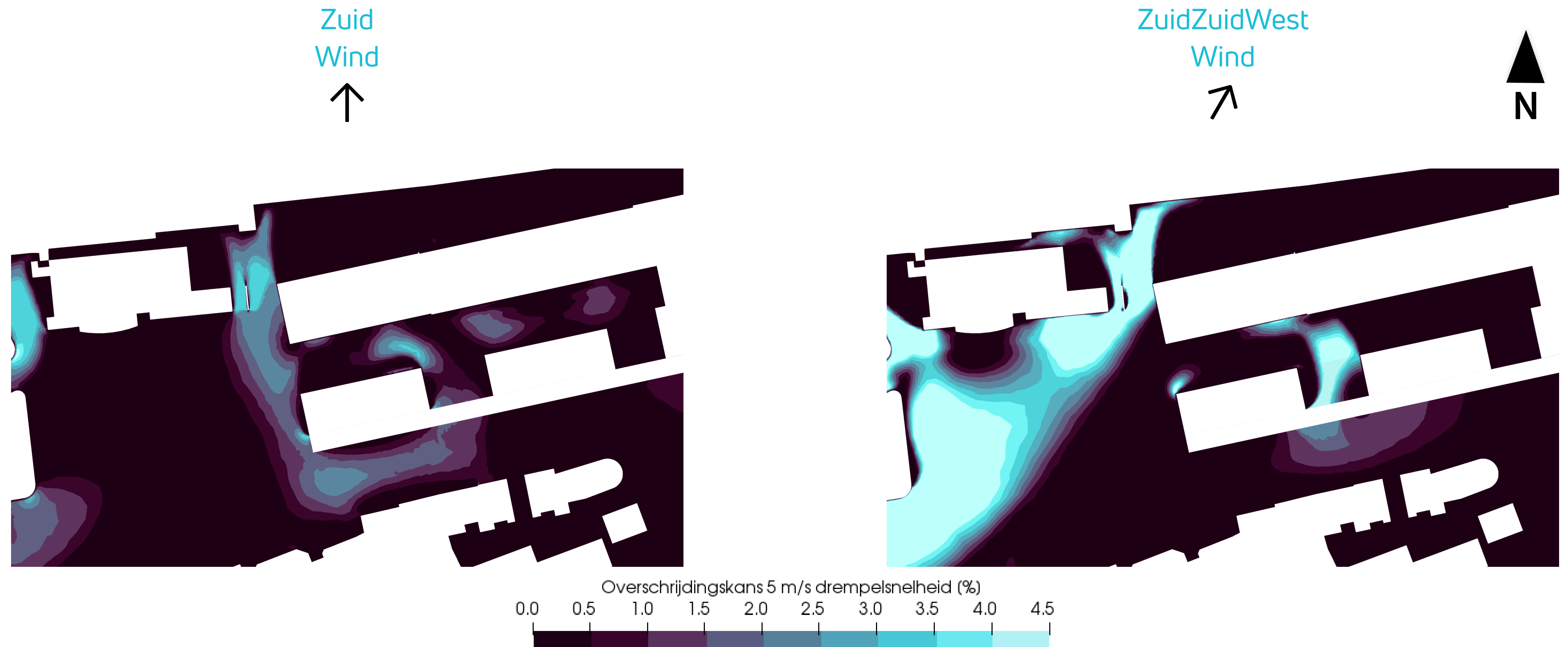
A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



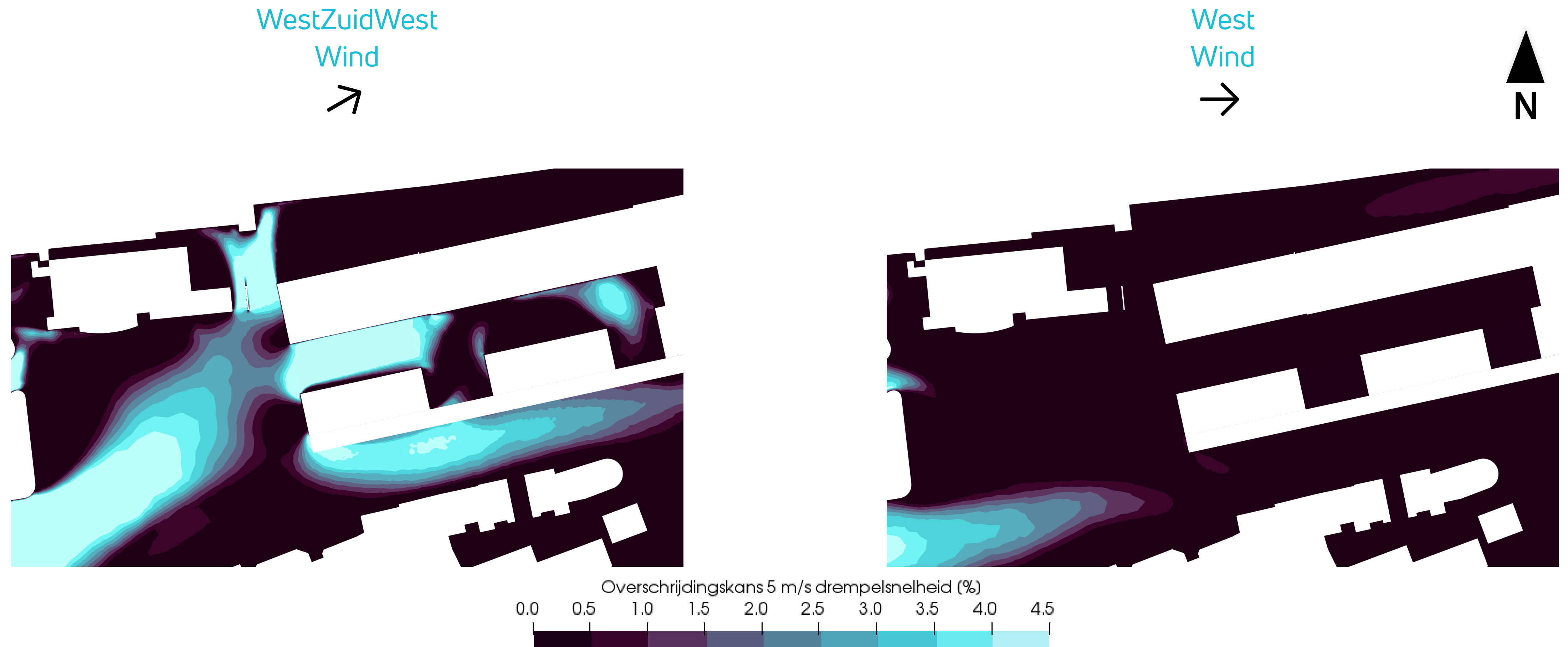
A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



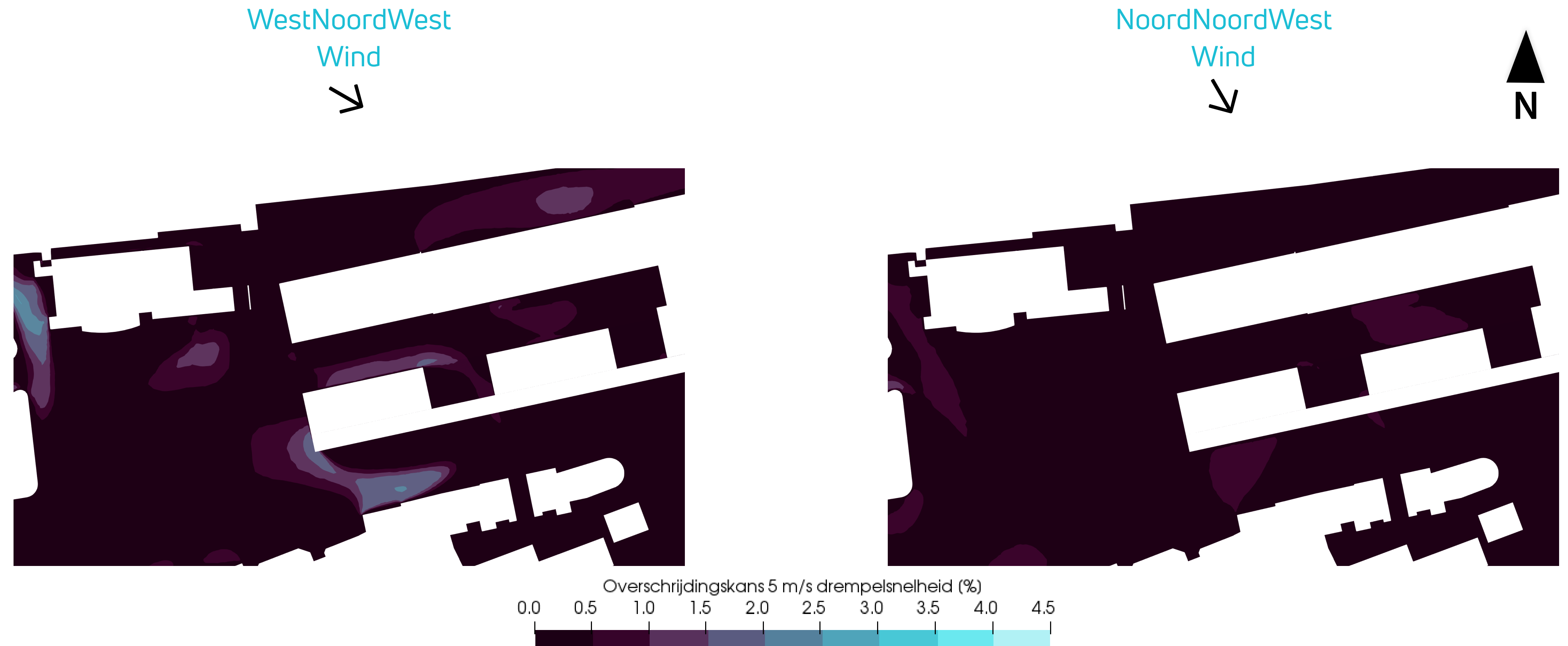
A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



A Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



B Inlegvel NEN 8100:2006

NEN 8100:2005

Technisch inlegvel numerieke simulatie

Project	Projectgegevens
Projectnaam	Kantoorgebouw Lichthoven Stationsplein te Eindhoven
Opdrachtgever	Rho Adviseurs B.V.
Projectleider	ir. Samy lousef
Datum	24-02-20
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 900 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: v1912
Algemeen	☒ drie-dimensionaal ☒ tijd-onafhankelijk ☒ isothermisch ☐ passieve scalars ☐ twee-dimensionaal ☐ tijd-afhankelijk ☐ thermisch ☐ actieve scalars Overige:
Rekenrooster	Hybride ongestructureerd: tetraëders met prismalaag Basis: 38 406 549 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: 161465Y: 383579
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