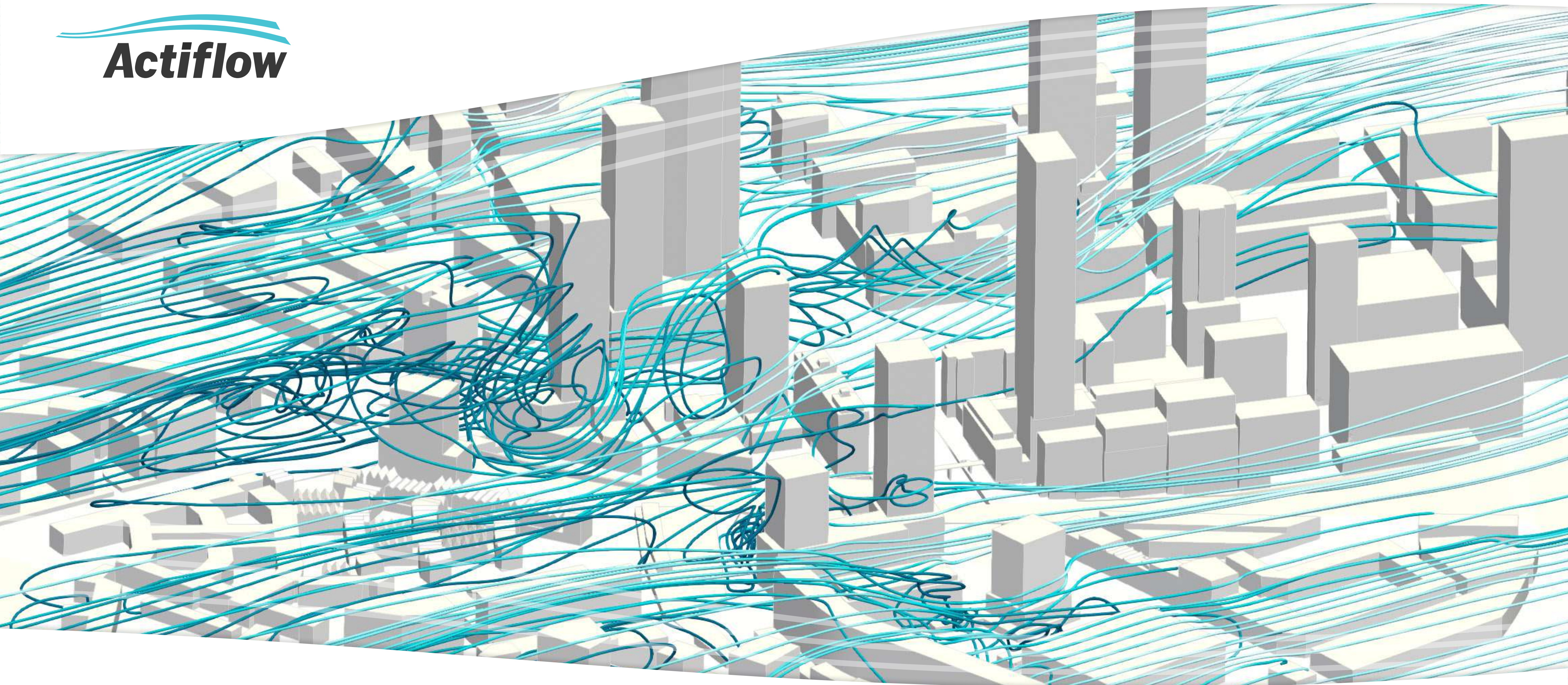




Inhoudsopgave

- 1** Introductie
- 2** Normstelling
 - 2.1 Windklimaat openbare buitenruimte
 - 2.2 Windklimaat private buitenruimten
- 3** Opzet van de berekening
 - 3.1 Software
 - 3.2 Geometrie en rekenrooster
 - 3.3 Aannames en randvoorwaarden
- 4** Resultaten
- 5** Conclusie
- A** Inlegvel NEN 8100:2006
- B** Windhinder en windgevaar: situatie bladdragend en bladloze vegetatie, en jaargemiddeld
- C** Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen

1 Introductie

Voorliggende rapportage omschrijft een windstudie uitgevoerd door [Actiflow B.V.](#) in opdracht van JP van Eesteren in relatie tot de ontwikkeling van het project *Pompenburg* aan de Pompenburg te Rotterdam.

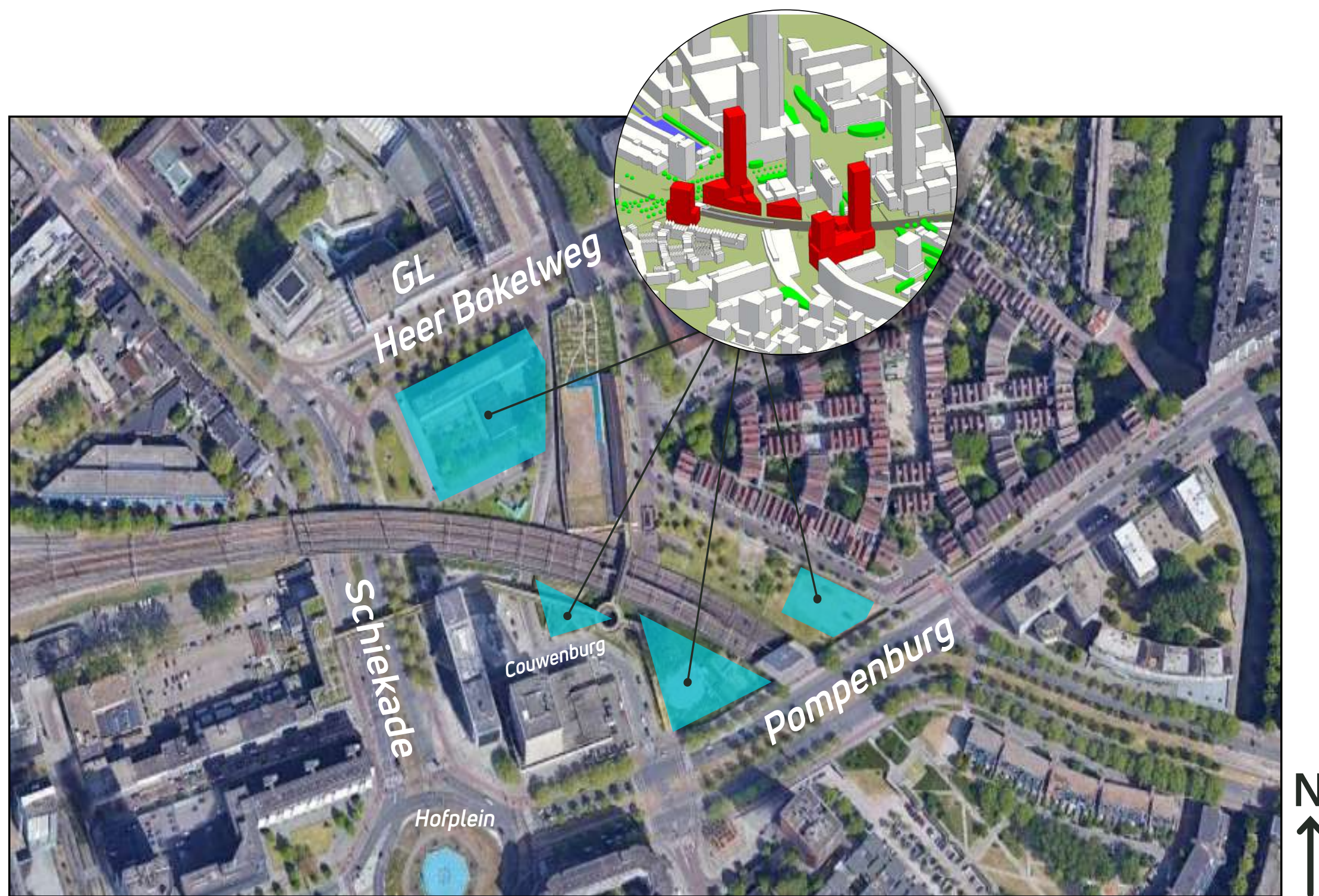
Het nieuwbouwproject wordt ten noordoosten van het centrum van de stad gerealiseerd. Het plangebied wordt gekenmerkt door een mix van residentiële midden- en hoogbouw in het oosten, overwegend hoogbouw in de vorm van kantoorpanden in het zuiden en westen en ten noorden van het gebied bevindt zich tevens hoogbouw in de vorm van kantoren en o.a. het Grafisch Lyceum (zie figuur 1.1).

Het nieuwbouwproject bestaat uit vier losstaande volumes met meerdere torens, zie figuur 1.2. Blok 1 bestaat uit een plint van 30 m met daarop twee torens van 125 m (1.1) en 74 m (1.2). Dit blok zal gerealiseerd worden op het perceel waar nu het Heer Bokel College is gesitueerd. Blok 2 bestaat uit een driehoekige volume met een hoogte van 20 m en bevindt zich aan de Couwenburg. Blok 3 bestaat uit een plint met verschil in hoogte met een maximum van 30 m. Op de plint bevindt zich een toren met een hoogte van 140 m. Dit blok wordt voorzien op de locatie van het huidige Park Pompenburg. Blok 4 bestaat uit een volume met variabele hoogten met een maximum van 55 m.

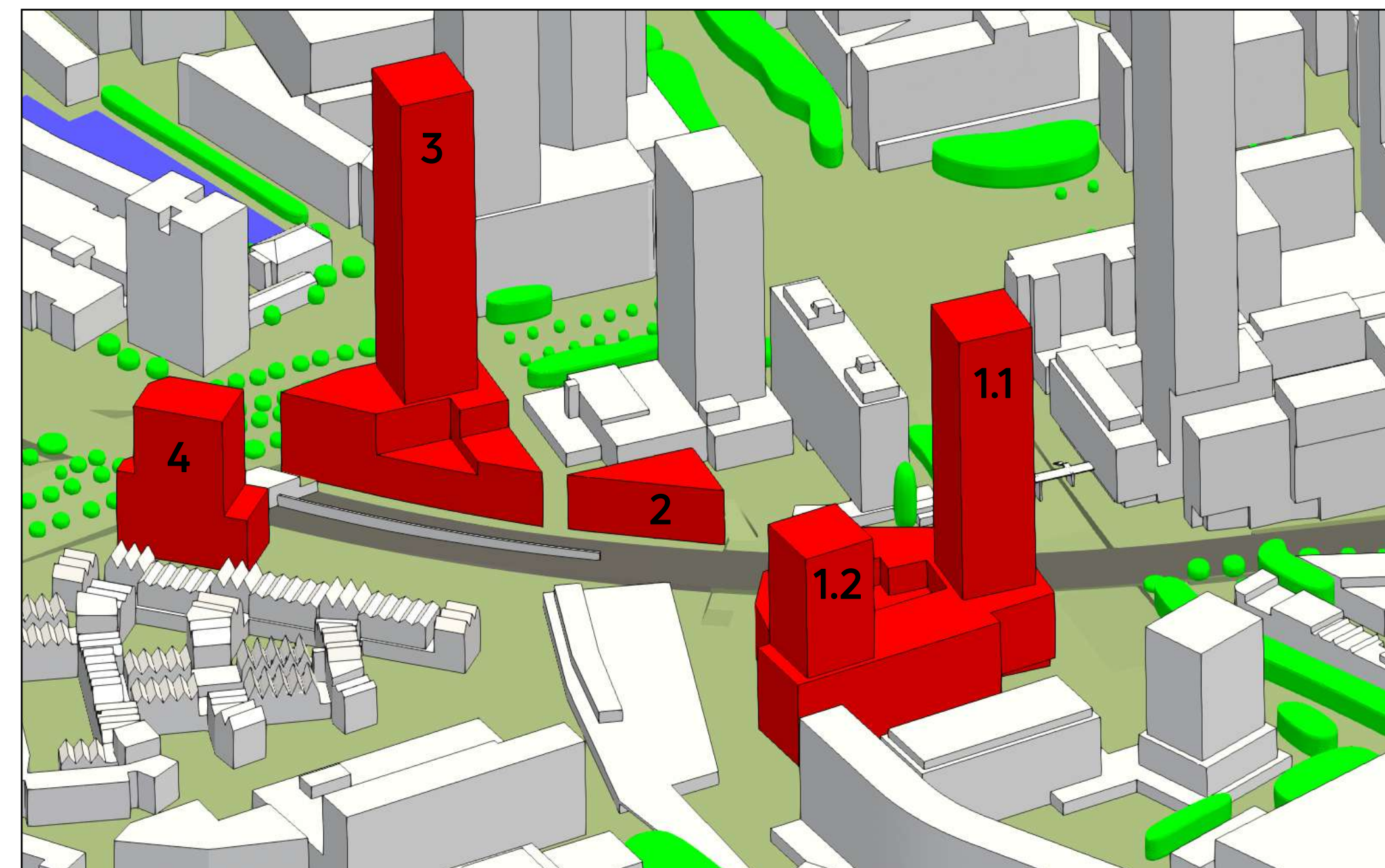
Het inpassen van de nieuwbouw zal leiden tot een wijziging van het lokale windklimaat. Dit kan zorgen voor een situatie die als onprettig of gevaarlijk wordt ervaren. Het is dan ook noodzakelijk het windklimaat inzichtelijk te maken, zodat mogelijke knelpunten kunnen worden aangepakt.

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

Een beschrijving van de richtlijnen wordt gegeven in hoofdstuk 2. De geometrie van het gebouw en de omgeving, de numerieke instellingen, het rekenrooster, en randvoorwaarden zijn weergegeven in hoofdstuk 3. De resultaten worden vervolgens getoond en beschreven in hoofdstuk 4. Tenslotte wordt een conclusie gevormd in hoofdstuk 5.



Figuur 1.1:
Locatie van het project (Bron: Google Earth)



Figuur 1.2:
Impressie van het project (zicht vanuit het noorden)

2 Normstelling

In onderhavige windstudie wordt het windklimaat ter plaatse van de openbare buitenruimte in kaart gebracht. Dit wordt gedaan aan de hand van de richtlijnen in NEN 8100:2006. In deze 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 activiteiten 'Slenteren' en 'Langdurig zitten' zelfs een beperkt risico al onacceptabel is. Voor deze activiteiten geldt dat enkel $p \leq 0.05$ acceptabel is. Een gevaarlijk windklimaat moet te allen tijde worden vermeden. Toetsing vindt plaats op een hoogte van 1,75 m boven het grondoppervlak.

Tabel 2.1: Criteria 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
<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

Tabel 2.2: Criteria 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 A.

3.1 Software

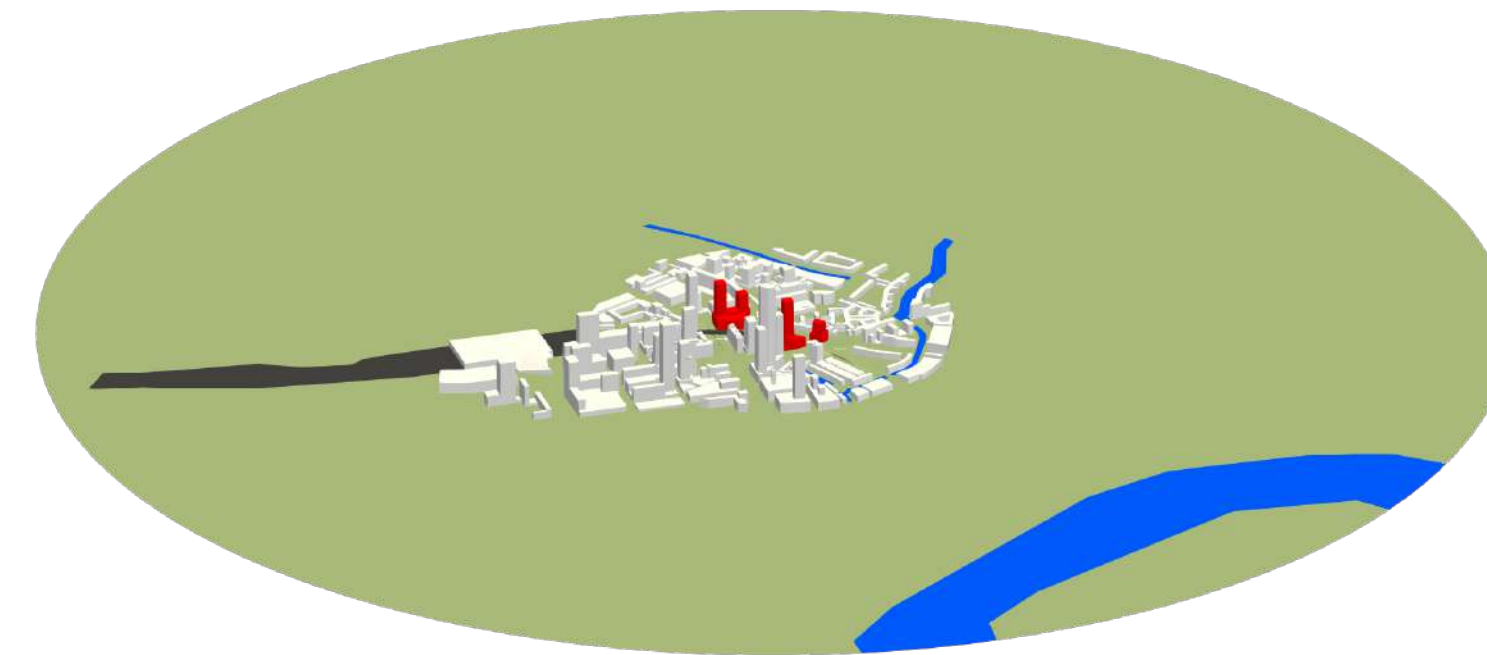
De berekening is uitgevoerd met behulp van OpenFOAM v2112, een softwarepakket dat bedoeld is voor het oplossen van problemen in de continuüm mechanica en thermodynamica. Voor dit project is "simpleFoam" gebruikt. Deze solver is gebaseerd op de incompressibele Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) vergelijkingen 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 het verkregen 3D-model van de opdrachtgever en openbare hoogtedata van het gebied. Het model omvat alle gebouwen binnen een straal van minimaal 300 meter. Dit betreft de situatie na toevoeging van alle nieuwbouw, zoals weergegeven in figuur 3.1. Daarnaast wordt de bestaande vegetatie in het plangebied meegenomen om een jaargemiddeld resultaat te verkrijgen waarin zowel een situatie met bladdragende als bladloze vegetatie wordt beschouwd.

De omliggende bebouwing is als eenvoudige massa's weergegeven. Rond dit gebied is een cilindervormig domein geplaatst met een doorsnede van 4000 m en een hoogte van 1250 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 van het model



(a)
Overzicht, vanuit het zuiden



(b)
Close-up, vanuit het noorden

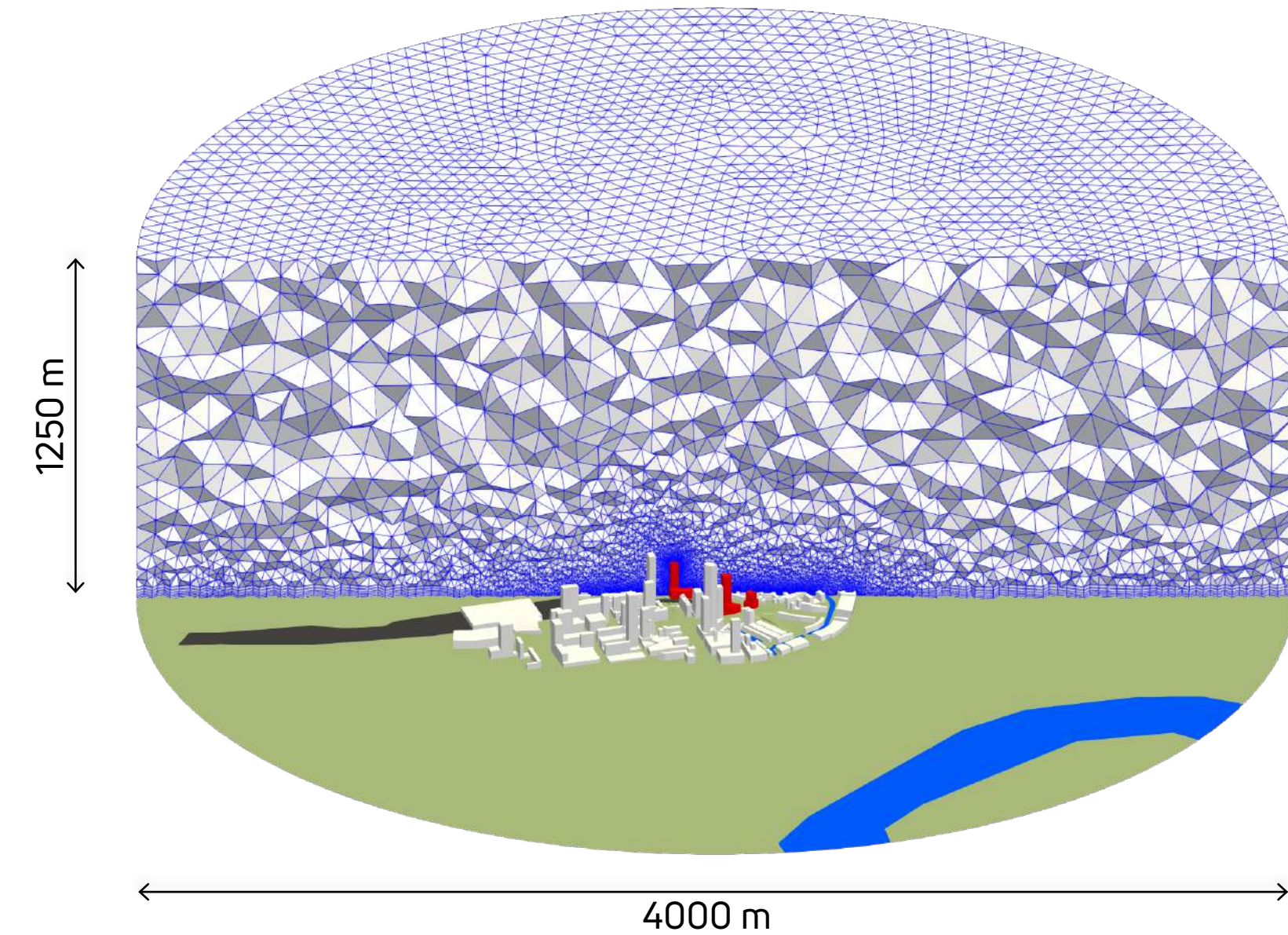
Het luchtvolume in de hierboven omschreven geometrie is vervolgens opgedeeld in een groot aantal kleine volumecellen. Deze cellen tezamen vormen het rekenrooster voor onderhavige situatie (figuur 3.2). Dit rooster bestaat uit 29 897 745 cellen. Over het grondoppervlak en de bebouwing zijn vijf lagen prisma's geplaatst. Deze prismalaag zorgt voor een betere berekening van de snelheidsgradiënten in de grenslagen.

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 modelleren van grenslagen.

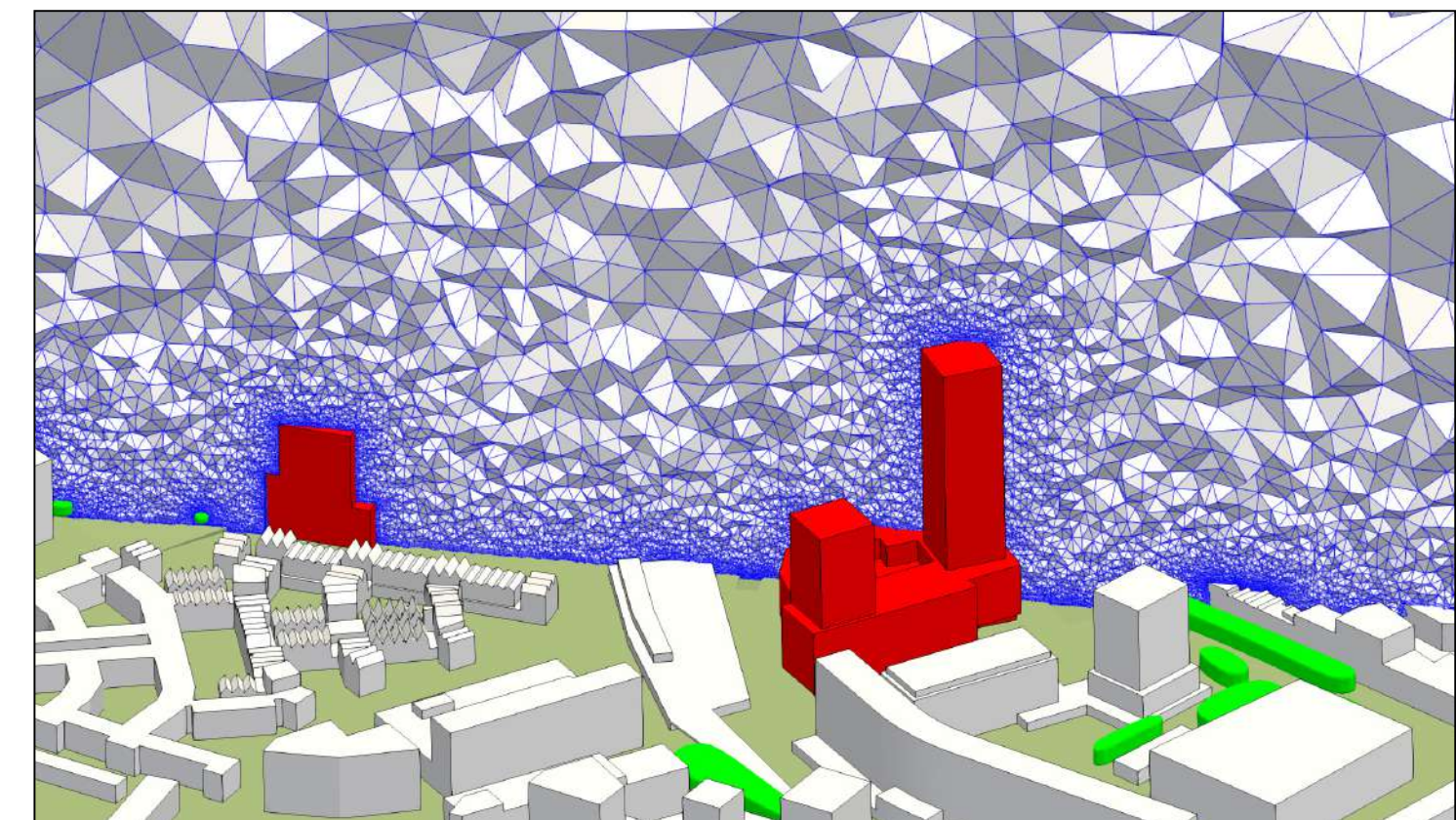
$$U_n(z) = \left(\frac{U^*}{\kappa} \right) \ln \left(\frac{z + z_0}{z_0} \right) \quad (3.1)$$

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



Figuur 3.2:
Impressie rekengrid

(a)
Overzicht, vanuit het zuiden



(b)
Close-up, vanuit het noorden

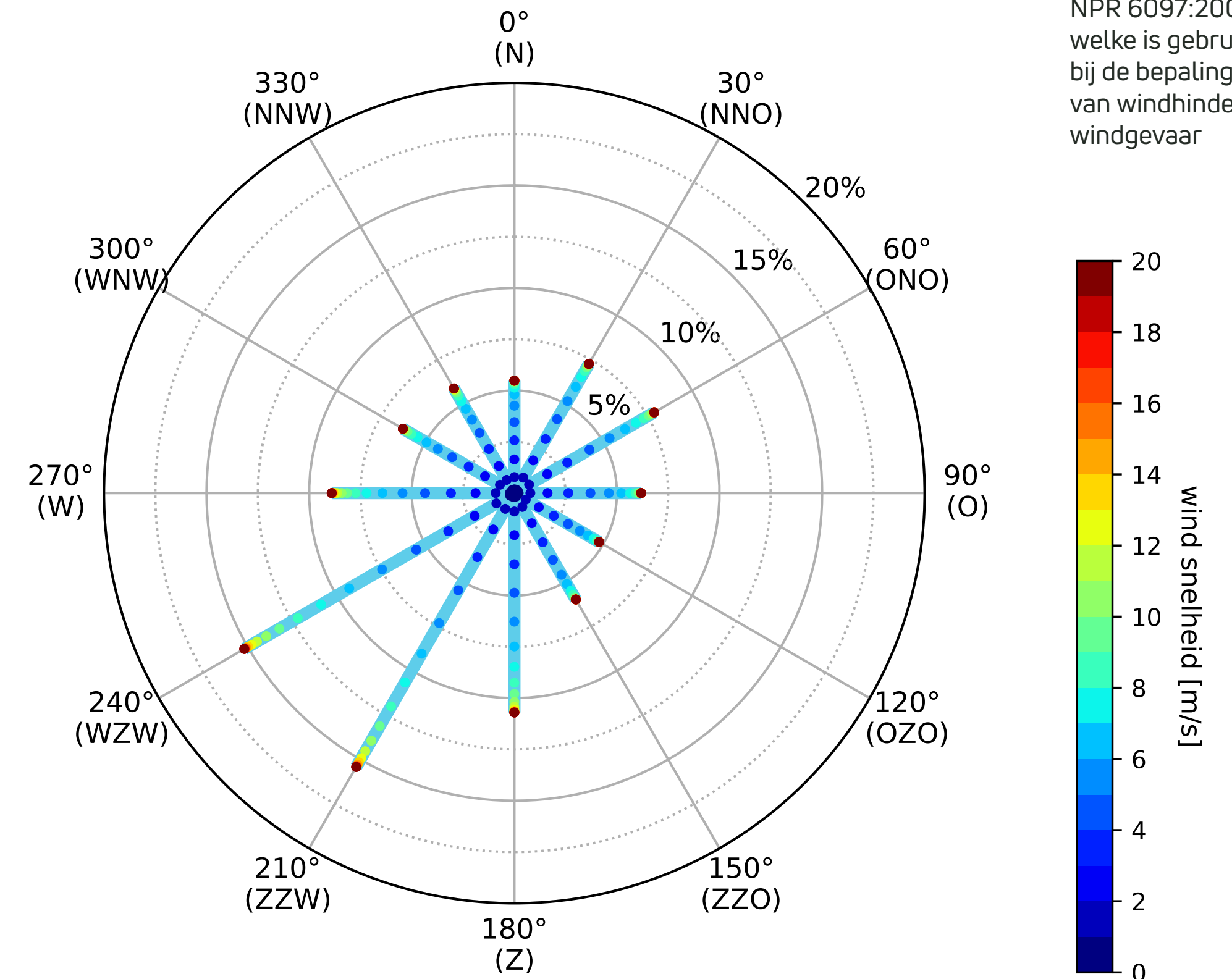
Ook de turbulente grootheden k en ω verlopen volgens een voorgeschreven profiel, zoals aangegeven in vergelijking 3.3 en vergelijking 3.4. Hierin heeft C_μ de waarde 0,09. Deze empirische constante komt voort uit het gebruikte turbulente model (k- ω SST).

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

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

Voor de berekeningen is een referentie windsnelheid U_{ref} 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 referentie windsnelheid vastgelegd.

Vervolgens wordt de windstatistiek conform NPR 6097:2006 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.



Figuur 3.3:
Visualisatie van de
windstatistiek conform
NPR 6097:2006
welke is gebruikt
bij de bepaling
van windhinder en
windgevaar

4 Resultaten

In dit hoofdstuk 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. Figuur 4.1 t/m 4.3 tonen de jaargemiddelde resultaten van de openbare buitenruimte.

Als richtwaarden voor het windklimaat wordt het volgende aangehouden:

- Op locaties met voor voetgangers een verkeersfunctie 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, bijvoorbeeld een winkelstraat of park 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.

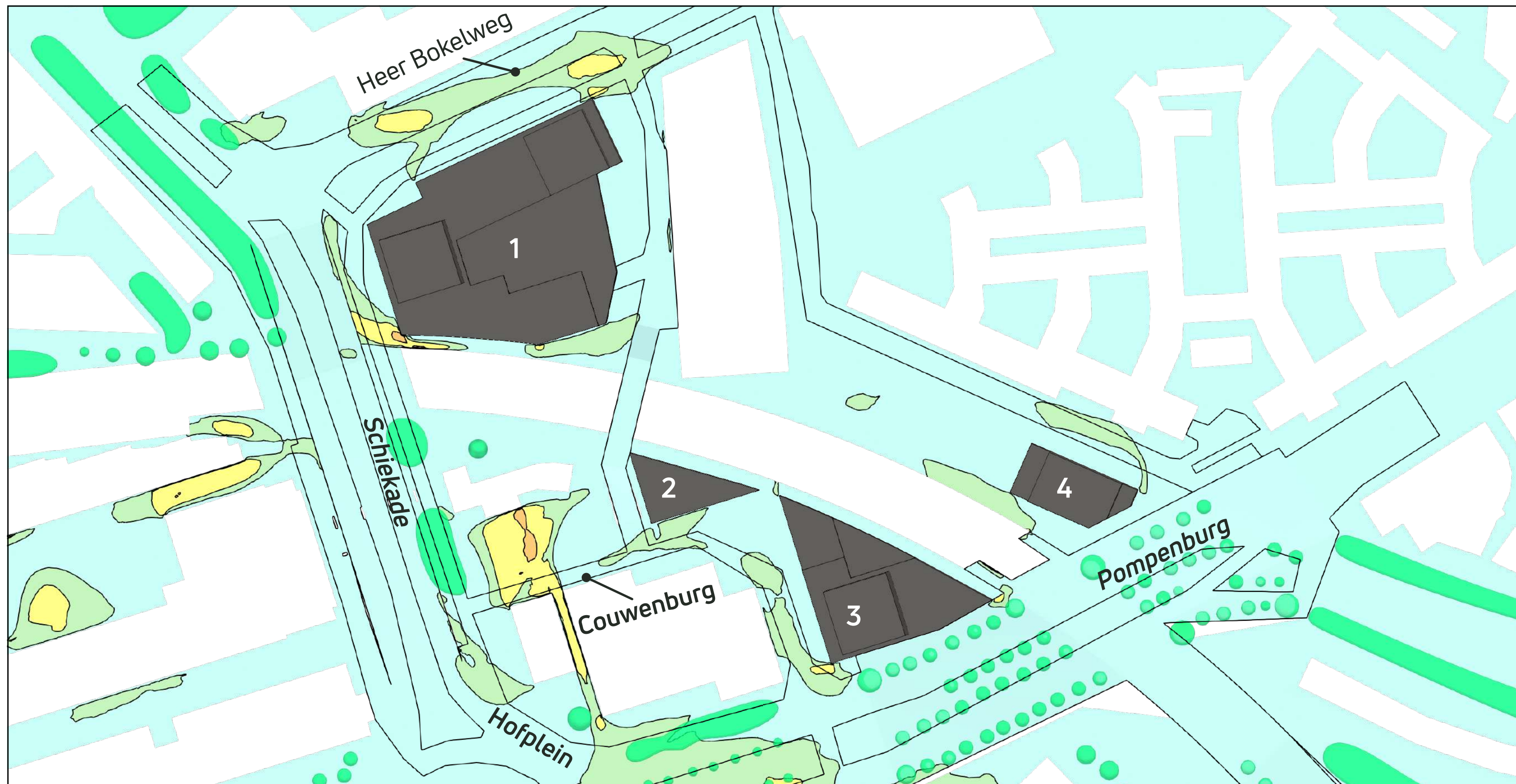
De resultaten geven weer dat in het plangebied windcondities optreden welke overwegend gekenmerkt worden door windhinderklassen A t/m C. Daarnaast treden er ter plaatse van de zuidwestelijke hoek van Blok 1 en nabij de Couwenburg windcondities op welke gekenmerkt worden door klasse D (zie figuur 4.1). In Bijlage C worden de resultaten voor de individuele windrichtingen getoond. Hierbij is te zien

dat het gebied met windhinderklasse D nabij de Couwenburg voornamelijk wordt veroorzaakt door wind uit de westzuidwestelijke richting. Gezien het optredende stromingspatroon bij deze windrichting wordt een zogenaamde tunneling onder de onderdoorgang van het bestaande gebouw aan de Schiekade verondersteld. De nieuwbouw heeft op deze stroming geen significante invloed.

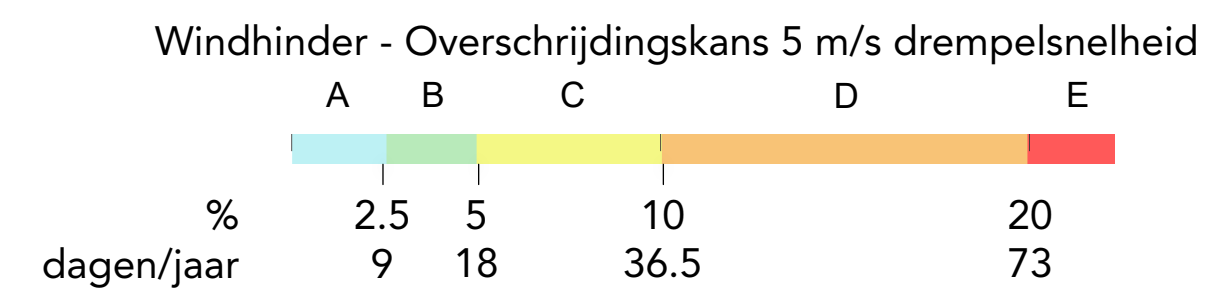
De windcondities rond Blok 1 kunnen als luw omschreven worden en worden overwegend gekenmerkt door windklassen A en B. De windcondities in deze klassen bieden een comfortabel klimaat voor alle voetgangersactiviteiten (zie figuur 4.2). Ten noorden van het blok, op de Heer Bokelweg, zijn zones zichtbaar met meer windrijke condities die gekenmerkt worden door klasse C, welke geschikt zijn om doorheen te lopen en te slenteren. Verder is er om de zuidwestelijke hoek van het volume een zone te zien waar windklasse D geldt, hier kan men enkel comfortabel doorheen lopen (fig. 4.2). Er kunnen mitigerende maatregelen worden toegepast om het lokale windklimaat te verbeteren in het geval er wordt voorzien dat men hier zal gaan slenteren of langdurig zal gaan zitten. Er kan bijvoorbeeld gekozen worden om de zuidwestelijke hoek in te snoeren of gebruik te maken van een setback. Bij de uitwerking hiervan kan [Actiflow](#) geraadpleegd worden.

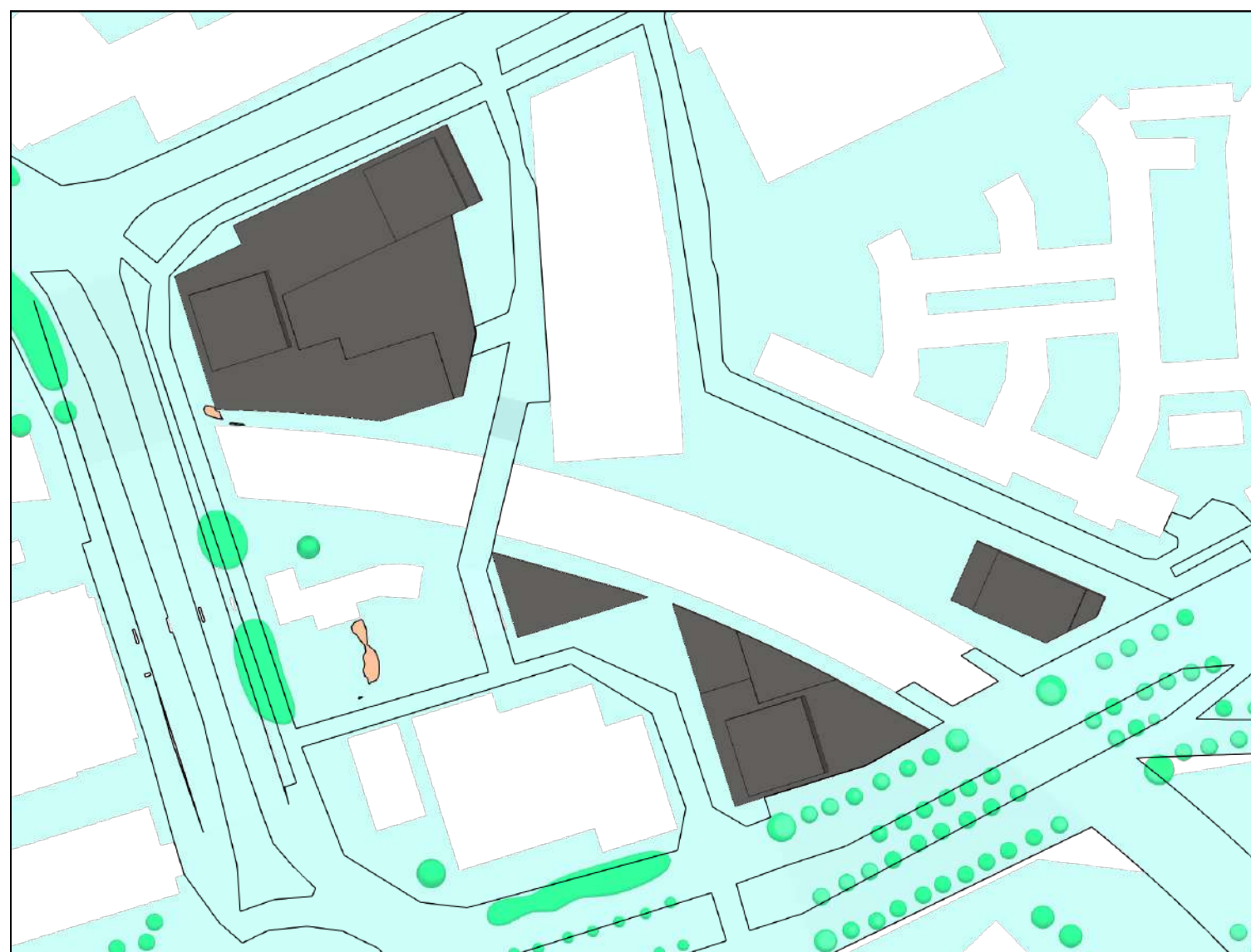
De windcondities rond Blok 2 kunnen als luw omschreven worden en worden gekenmerkt door windklassen A en B, welke geschikt zijn voor alle activiteiten (fig. 4.2). De windcondities rond Blok 3 kunnen eveneens als overwegend luw omschreven worden en worden gekenmerkt door windklassen A en B. Nabij de zuidelijke en oostelijke hoeken van dit blok zijn twee zones zichtbaar waar relatief windrijkere condities gelden die zich kenmerken door windklasse C. Deze klasse is geschikt om doorheen te lopen en te slenteren (fig. 4.2). De windcondities rond Blok 4 kunnen als luw omschreven worden en worden gekenmerkt door windklassen A en B, welke geschikt zijn voor alle activiteiten.

In het plangebied geldt geen risico op windgevaar in de openbare buitenruimte (zie figuur 4.3).

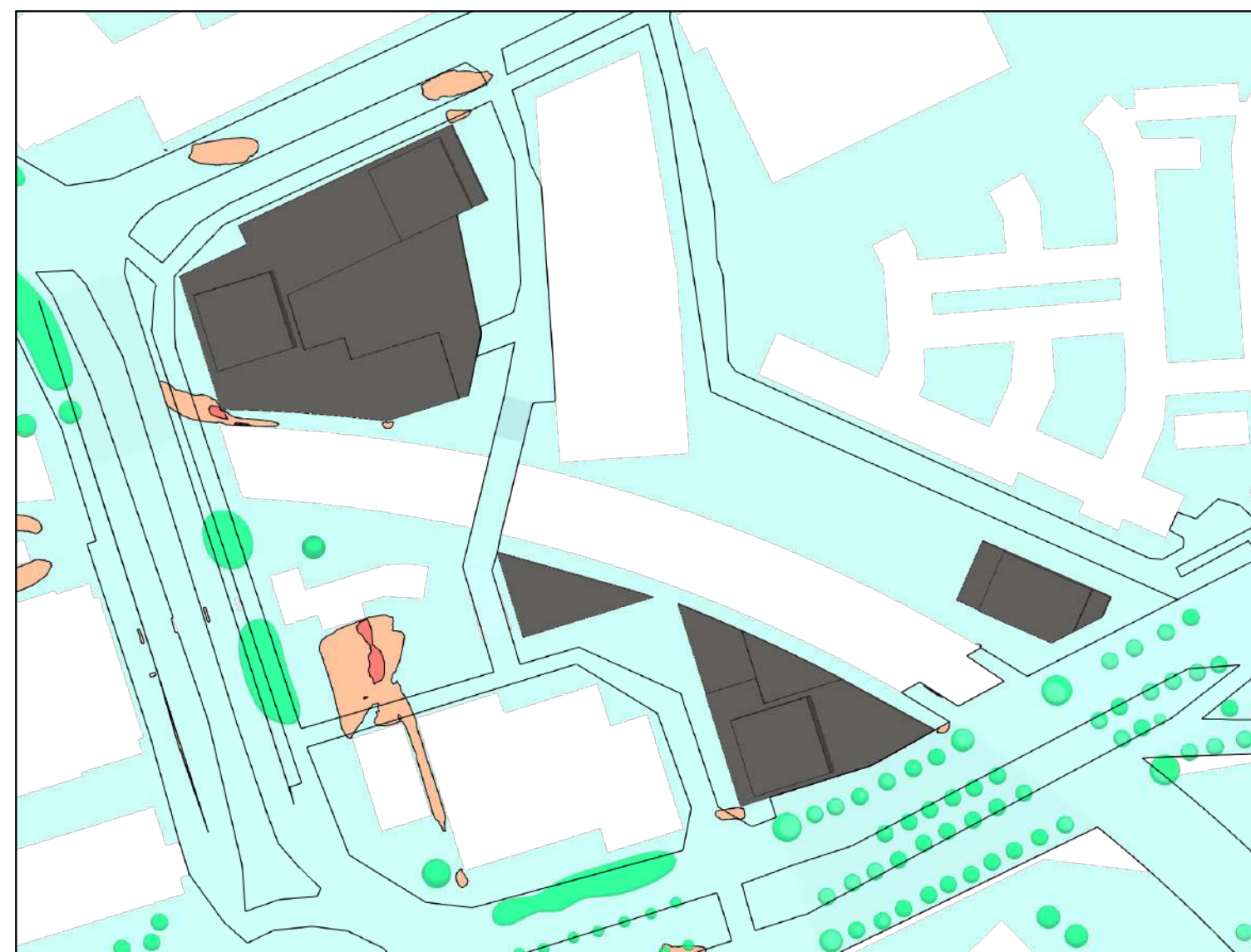


Figuur 4.1:
Windhinder op
voetgangsniveau

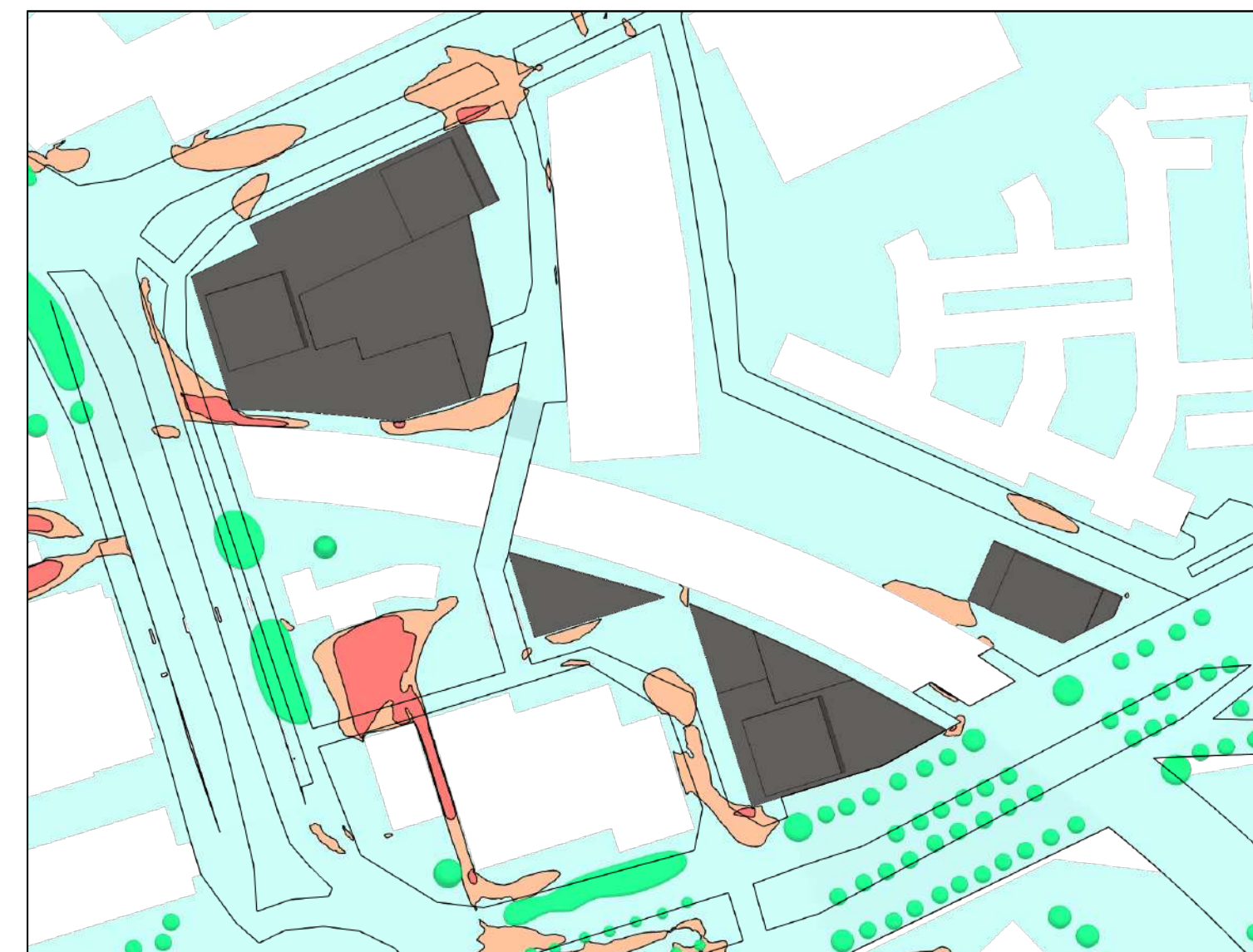




(a)
Beoordeling jaargemiddelde resultaat voor activiteit doorlopen



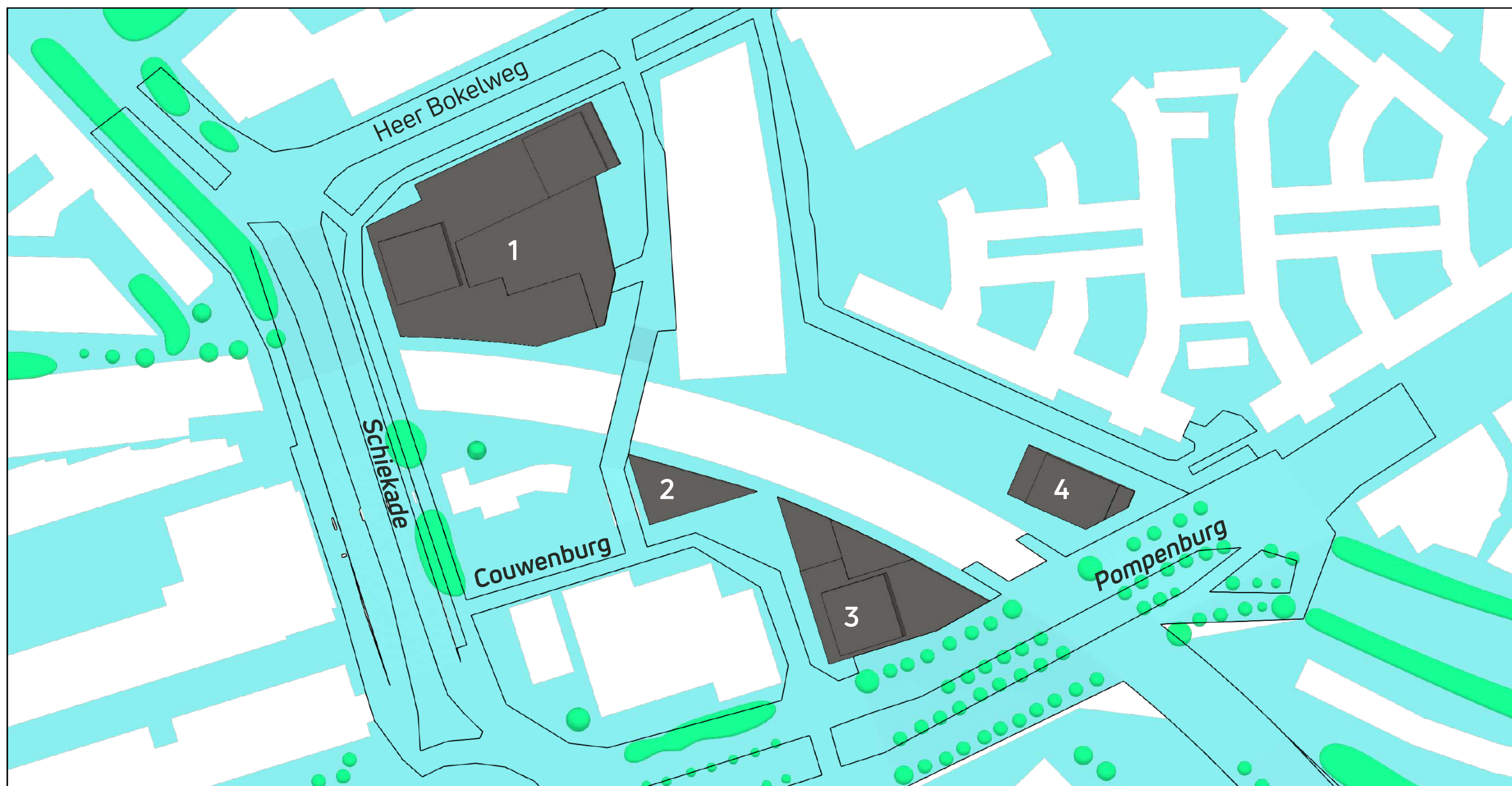
(b)
Beoordeling jaargemiddelde resultaat voor activiteit slenteren



(c)
Beoordeling situatie met bladdragende vegetatie voor activiteit langdurig zitten

Figuur 4.2:
Windcomfort beoordeling per activiteit





Figuur 4.3:
Windgevaar op
voetgangsniveau



5 Conclusie

Onderhavige rapportage omschrijft een windstudie uitgevoerd door [Actiflow B.V.](#) waarin het effect van de nieuwbouw van het project *Pompenburg* te Rotterdam inzichtelijk is gemaakt met betrekking tot het windklimaat op de openbare buitenruimten. Deze studie is uitgevoerd conform NEN 8100:2006.

De resultaten hebben het volgende laten zien:

- De windcondities rond de nieuwbouw kunnen als overwegend luw omschreven worden en kenmerken zich door windklassen A en B en enkele zones waar klasse C en D heersen.
- Rondom Blok 1 heersen voornamelijke luwe windcondities die zich kenmerken door klassen A en B. Op de Heer Bokelweg zijn twee zones te zien waar klasse C heerst. Verder is er nabij de zuidwestelijke hoek van het blok een zone te zien waar klasse C heerst en tevens een kleine zone met windcondities die zich kenmerken door klasse D. De condities in het D-klasse gebied zijn enkel geschikt om doorheen te lopen. Maatregelen zoals een setback of de insnoering van de hoek worden voorgesteld om de windcondities te verbeteren in het geval er wordt voorzien dat men hier zal gaan slenteren en/of langdurig zal gaan zitten;
- Rond Blok 2 heersen windluwe condities die zich enkel kenmerken door windklasse A en B. Deze condities zijn geschikt voor alle voetgangersactiviteiten;
- Blok 3 kent overwegend luwe windcondities die zich karakteriseren door windklasse A en B. Om de zuidelijke en westelijke hoeken zijn zones te zien waar windrijkere condities gelden die zich kenmerken door klasse C. Men kan hier comfortabel doorheen lopen en slenteren;

- In de omgeving van Blok 4 heersen enkel windluwe condities die zich kenmerken door windklasse A en B en daarmee geschikt zijn voor alle activiteiten.
- In het plangebied geldt geen risico op windgevaar in de openbare buitenruimte.

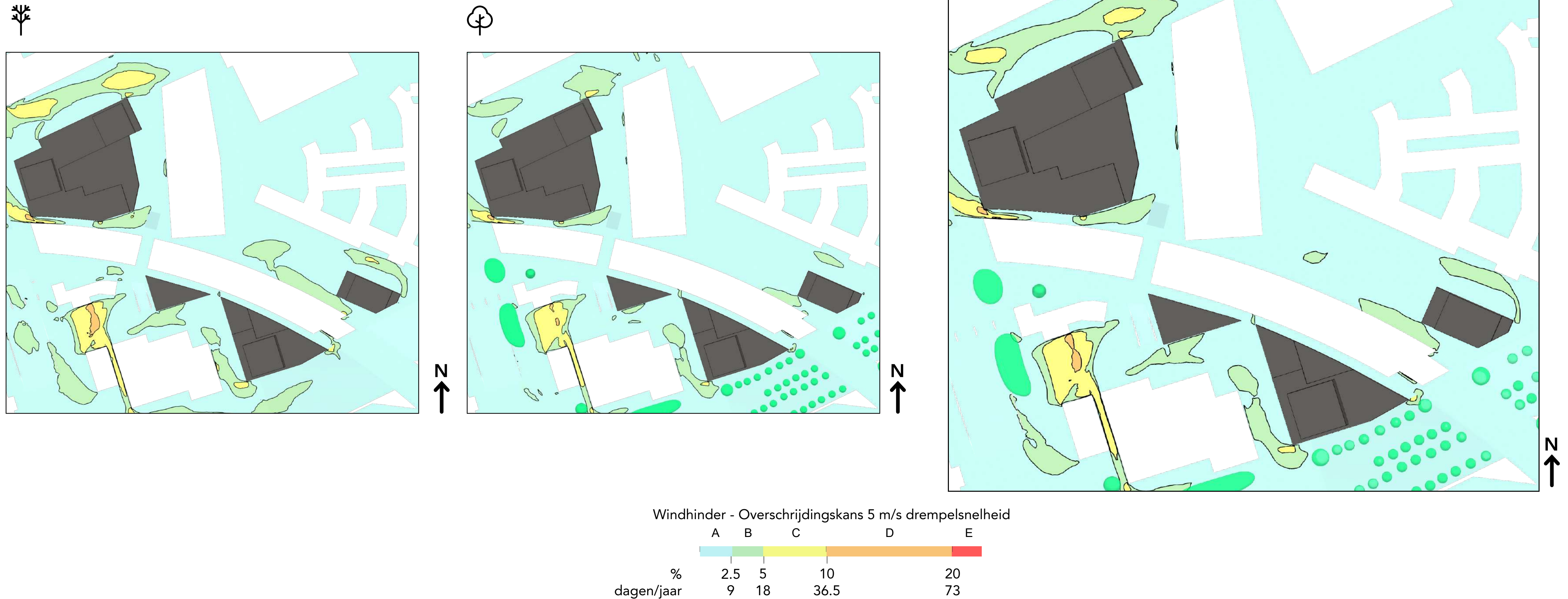
De windcondities in het plangebied zijn overwegend luw en daarmee geschikt voor de meeste voetgangersactiviteiten. Enkel indien men voorziet dat voetgangers zullen gaan slenteren en/of langdurig zullen gaan zitten in het eerdergenoemde D-klasse gebied worden maatregelen aangeraden.

Bij de keuze voor verdere maatregelen die genomen dienen te worden en het beoordelen van hun effectiviteit kan [Actiflow B.V.](#) geraadpleegd worden.

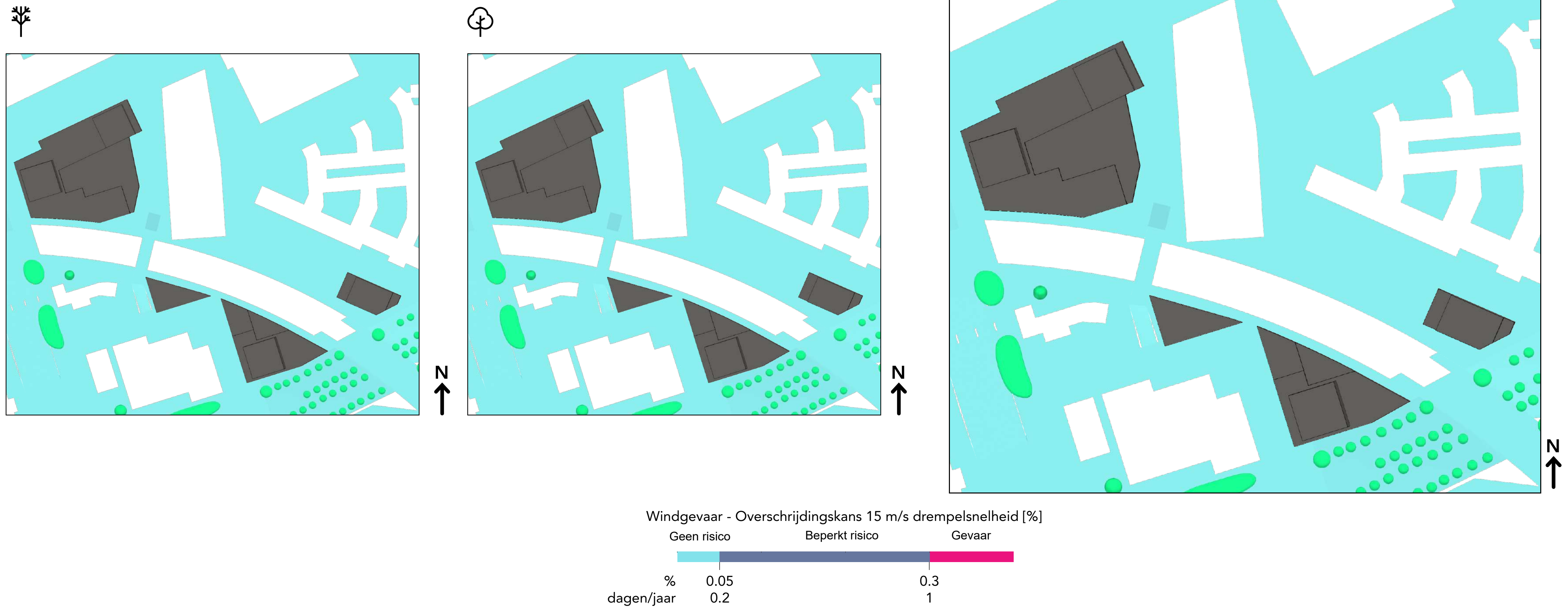
Project	Projectgegevens
Projectnaam	Pompenburg te Rotterdam
Opdrachtgever	jp van eesteren
Projectleider	ing. Marc Koops
Datum	06/04/2022
Model	Algemene gegevens van het model
Omvang gemodelleerd gebied	Bebouwing 500 m rondom nieuwbouw
Kerngebied	Nieuwbouw (pompenburg, Schiekade, Couwenburg, Heer Bokelweg)
Omgeving	Omgeving in massa's, gedetailleerd nabij kerngebied
Afmetingen model	straal kerngebied=500m straal, buitengebied=2000m, hoogte=1250m
Blokkeringsgraad	<3%
Gemodelleerd groen	bomen en struiken: gemodelleerd als poreuse zones
Onderzochte windrichtingen (minimaal 12 over de windroos)	2x 12 (vegetatie in blad & vegetatie bladloos)
Onderzochte configuraties	Windhinder en windgevaar, openbare buitenruimten
Computeropstelling	Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur
Programmatuur	☒ FVM (eindige volume methode) ☐ FEM (eindige elementen methode) ☐ anders Programmatuur: OpenFOAM Versie: v2112
Algemeen	☒ drie-dimensionaal ☒ tijd-onafhankelijk ☒ isothermisch ☐ passieve scalars ☐ twee-dimensionaal ☐ tijd-afhankelijk ☐ thermisch ☐ actieve scalars Overige:
Rekenrooster	Hybride ongestructureerd: tetraëders mesh met prismalaag 29.897.745 cellen
Turbulentiemodellering	k-omega SST
Convectieve differentieschema's	Snelheidscomponenten: linearUpwindV Turbulente grootheden: upwind Scalaire variabelen: n.v.t.

Randvoorwaarden	Gebruikte randvoorwaarden			
Instroomprofiel	Logaritmische atmosferische grenslaag, z0 = 1,6 m			
Uitlaat	Druk-uitlaat			
Boven-/Zijwanden	Slip-wanden			
Vloer/bodem	No-slip, ruwe wand			
Overige	No-slip, ruwe wand			
Gegevensverwerking en -beoordeling	informatie voor locatie en berekening windklimaat			
Amersfoortse coördinaten van de locatie	X:092590		Y:437720	
Toegepaste eisen	V _{DR} m/s	Gewenste kwaliteits-klasse	Overschrijdings-kans %	Beoordeling
Voor comfort			p (V _{LOK} > V _{DR,H})	
Doorlopen	5.0	A, B, C, D	< 20	Matig
Slenteren	5.0	A, B, C	< 10	Matig
Zitten	5.0	A, B	< 5	Matig
Regionale correctie	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Voor gevaar				
	15	n.v.t.	0,05 < p < 0,30	beperkt risico
	15	n.v.t.	p ≥ 0,3	gevaarlijk
Gepresenteerde resultaten	Windhindercontouren en klassenindeling, windgevaarcontouren			
Opmerkingen en eventuele conclusies van proefoverschrijdend belang				

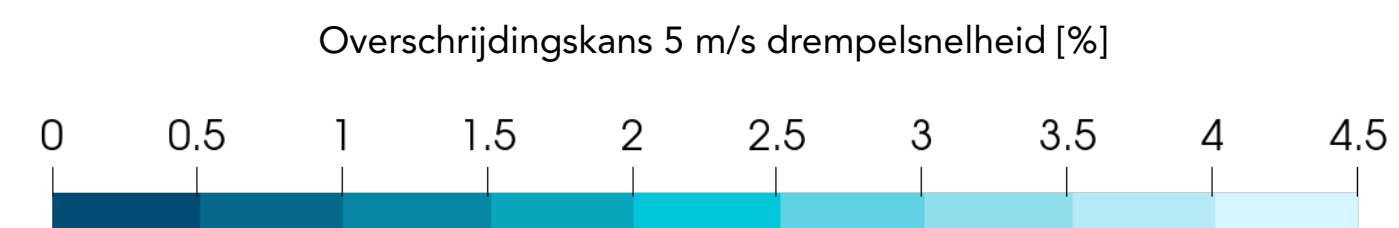
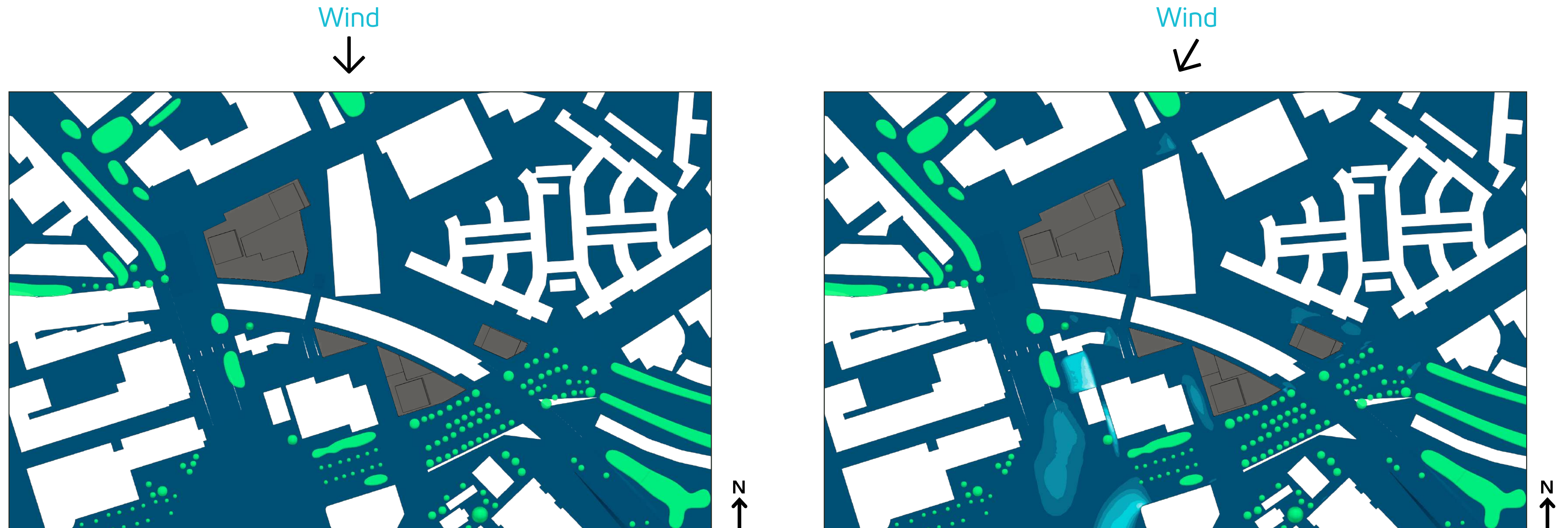
B Windhinder en windgevaar: situatie bladdragend en bladloze vegetatie, en jaargemiddeld



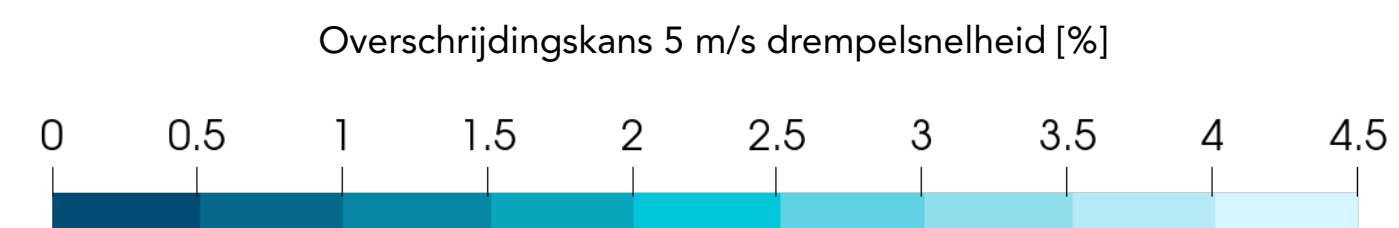
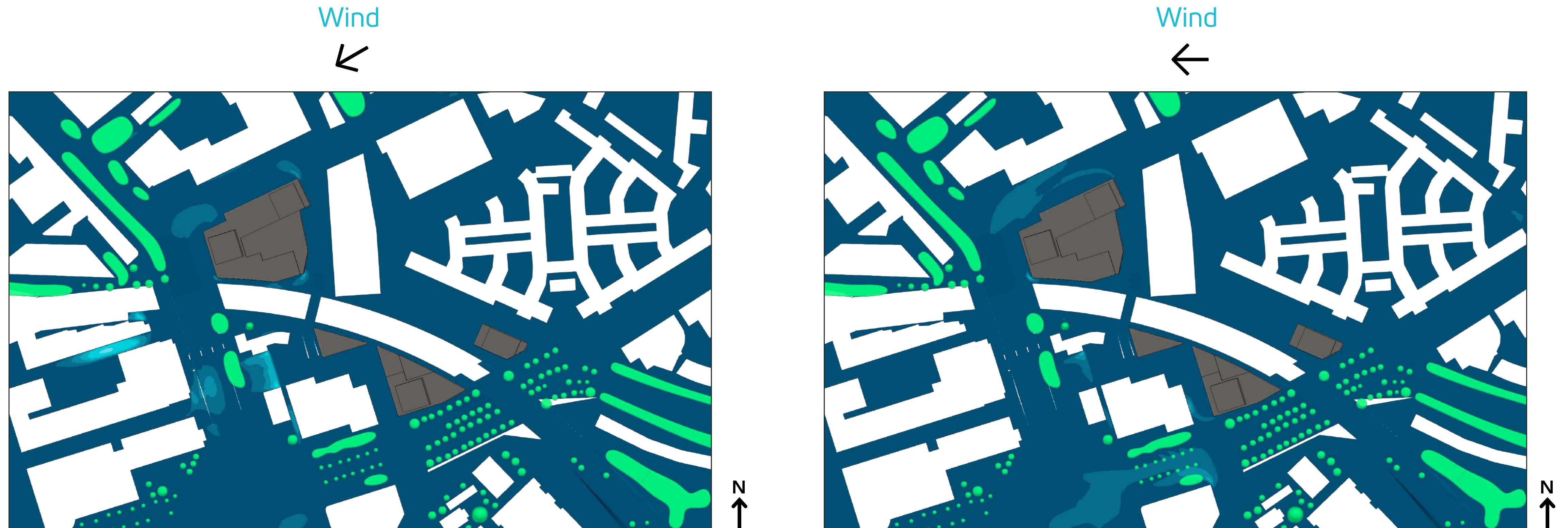
B Windhinder en windgevaar: situatie bladdragend en bladloze vegetatie, en jaargemiddeld



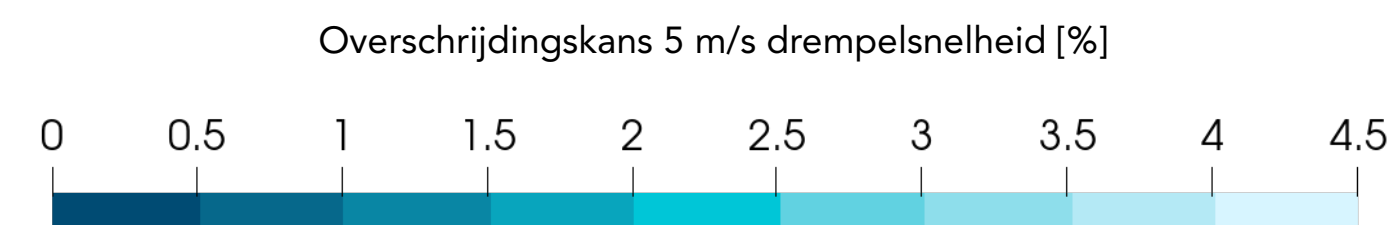
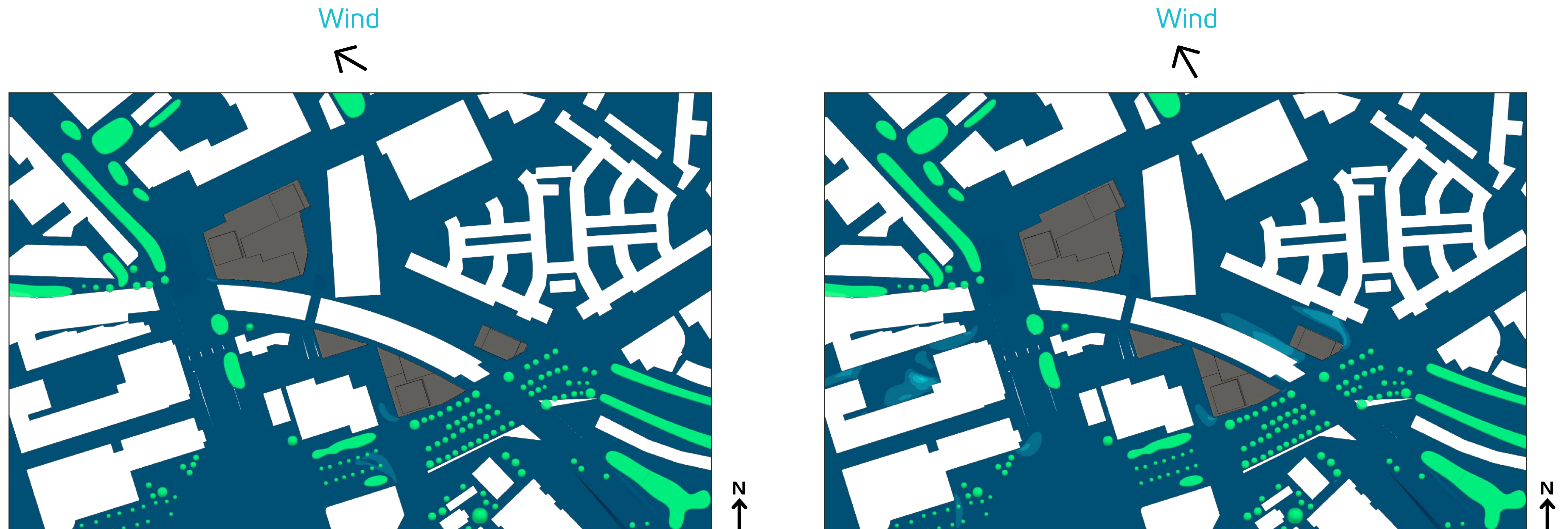
C Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



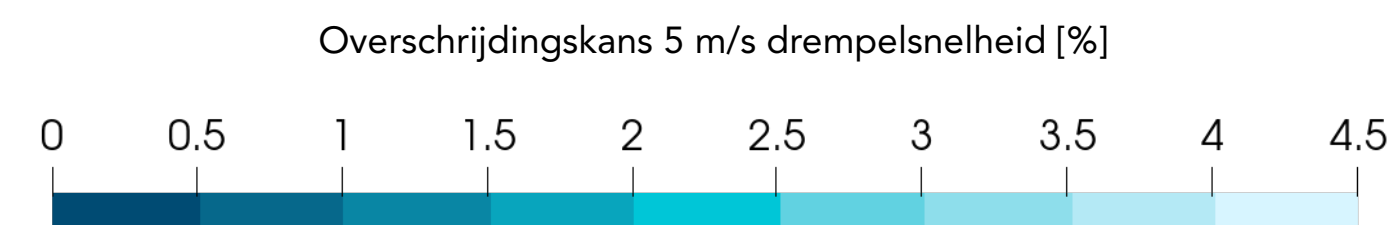
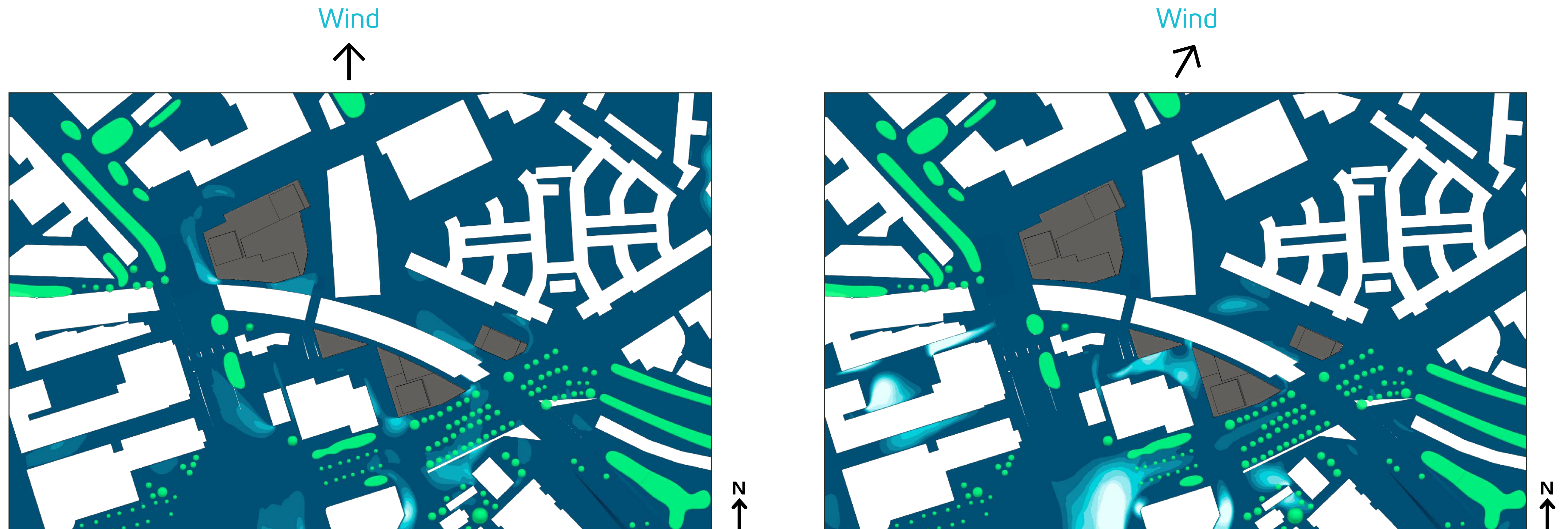
C Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



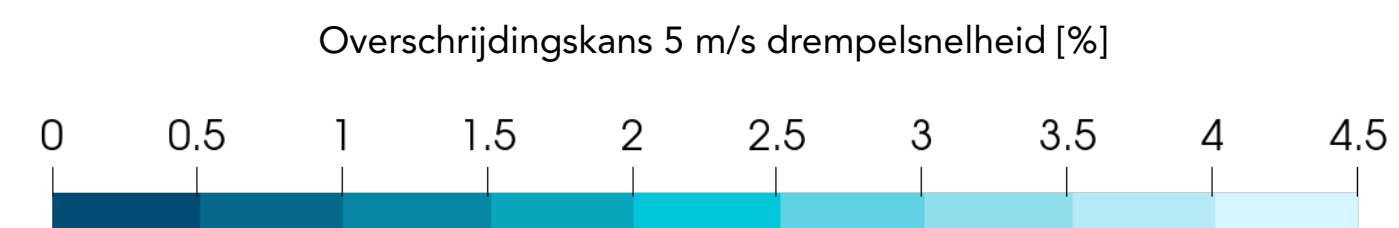
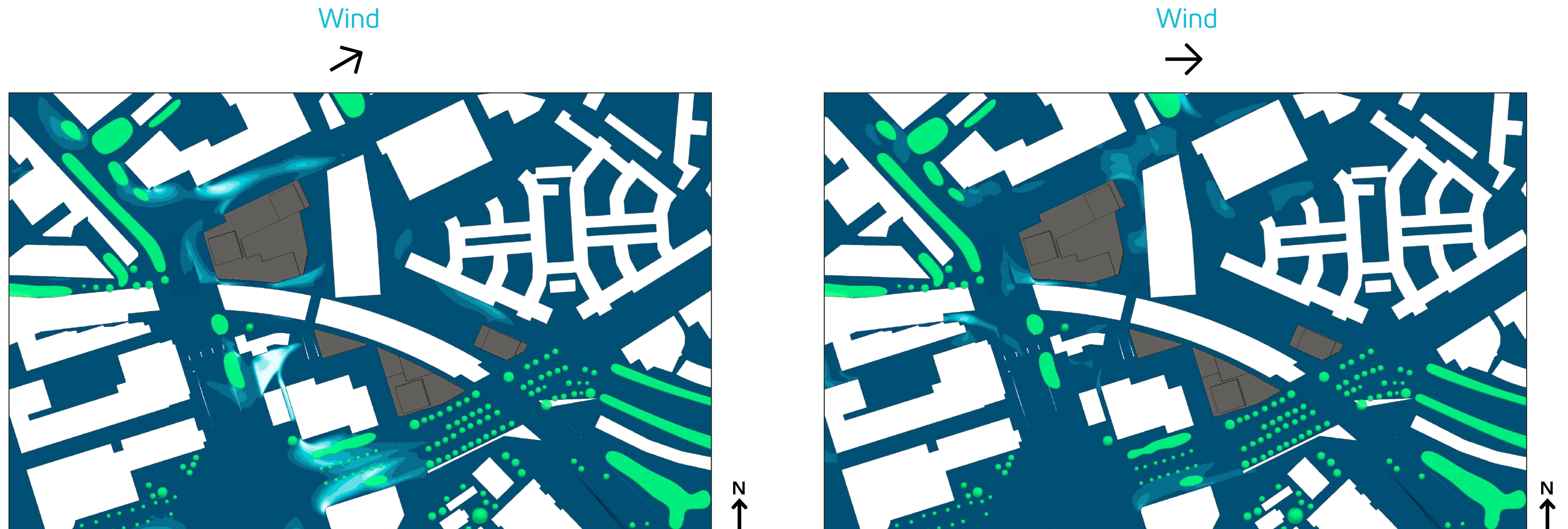
C Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



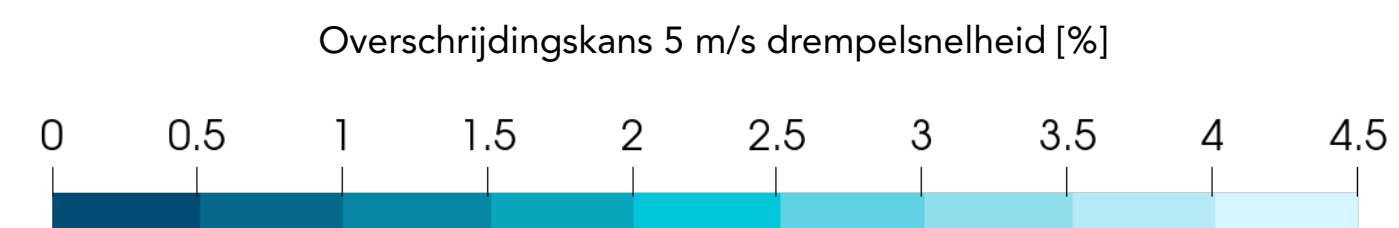
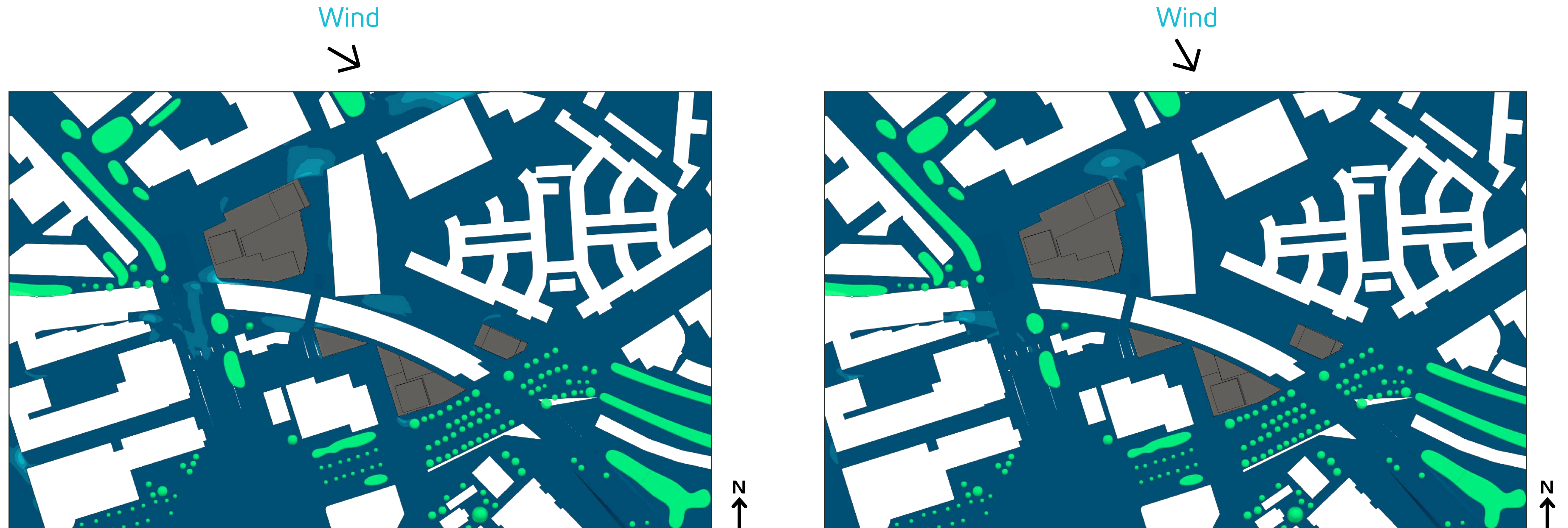
C Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



C Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen



C Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen





Actiflow BV
Tramsingel 1,
4814 AB Breda
+31 (0)76 5422 220
contact@actiflow.com
www.actiflow.nl