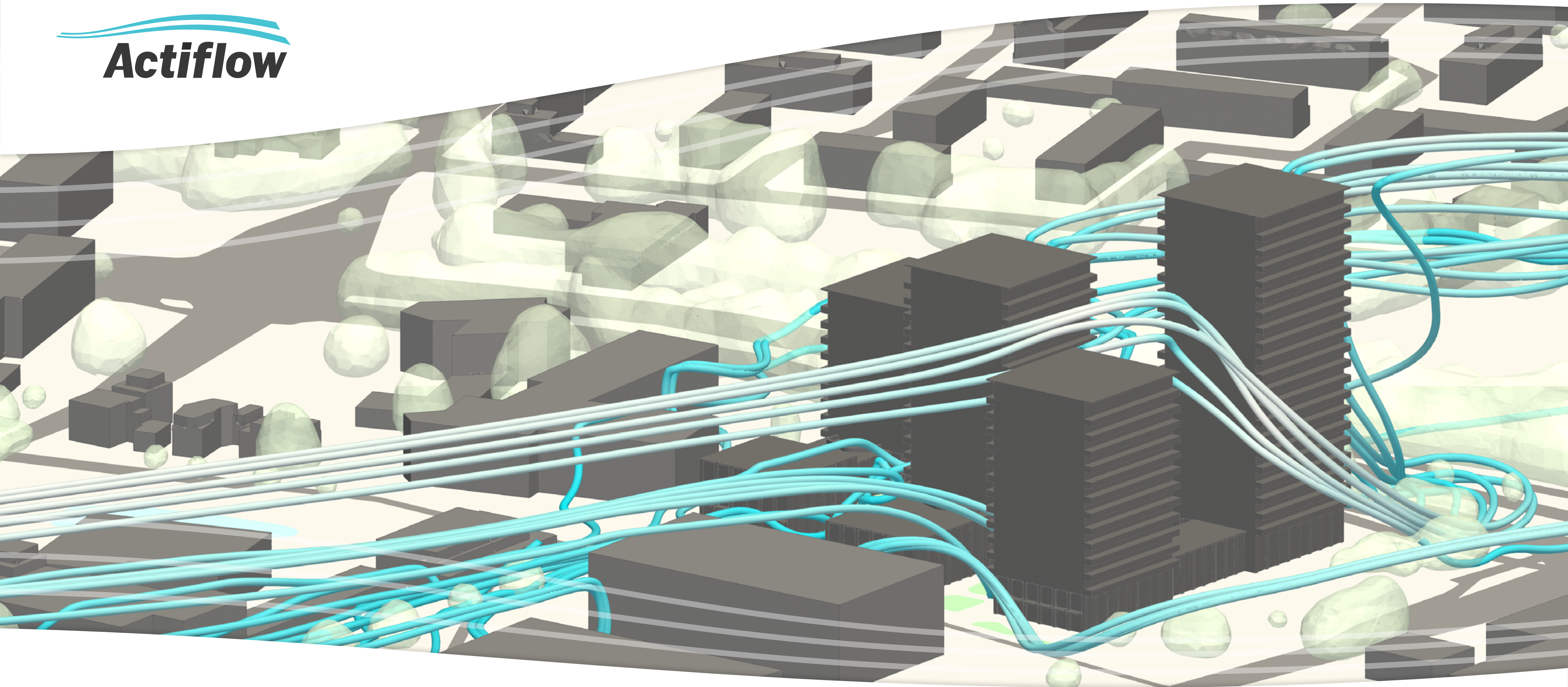




# Vlijtse Parktorens te Apeldoorn

CFD-onderzoek windhinder en windgevaar

Vlijtse Parktorens te Apeldoorn  
CFD-onderzoek windhinder en windgevaar

|                                                                                                                                                                |                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Opdrachtgever                                                                                                                                                  | VanWonen                                                                              |
| Contactpersoon opdrachtgever                                                                                                                                   | Arthur Gerritsen                                                                      |
| Projectnummer                                                                                                                                                  | 7605                                                                                  |
| Rapportversie                                                                                                                                                  | 1.0                                                                                   |
| Status                                                                                                                                                         | Definitief                                                                            |
| Datum                                                                                                                                                          | 23 december 2024                                                                      |
|                                                                                                                                                                | ©2024 <a href="#">Actiflow BV</a>                                                     |
| Auteur                                                                                                                                                         | ir. Reinier Maas                                                                      |
|                                                                                                                                                                |   |
| Controleur                                                                                                                                                     | ir. Dean Pelkmans                                                                     |
|                                                                                                                                                                |  |
| <div><a href="#">Actiflow BV</a><br/>Tramsingel 5<br/>4814 AB Breda<br/>+31 (0)76 5422 220<br/>contact@actiflow.com<br/><a href="#">www.actiflow.com</a></div> |                                                                                       |

# Inhoudsopgave

|    |                                                               |    |   |                                                                           |    |
|----|---------------------------------------------------------------|----|---|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. | Introductie                                                   | 4  | A | Inlegvel NEN 8100:2006                                                    | 19 |
| 2. | Normstelling                                                  | 6  | B | Frequentietabel uurgemiddelde windrichting en snelheid                    | 20 |
|    | 2.1 Windhinder en windgevaar                                  |    | C | Situatie bladdragend en bladloze vegetatie, en jaargemiddeld              | 21 |
|    | 2.2 Classificatie en beoordeling van windhinder en windgevaar |    | D | Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen | 23 |
| 3. | Opzet van de berekening                                       | 8  |   |                                                                           |    |
|    | 3.1 3D-Model en rekenrooster                                  |    |   |                                                                           |    |
|    | 3.2 Vegetatie                                                 |    |   |                                                                           |    |
|    | 3.3 Methodiek                                                 |    |   |                                                                           |    |
|    | 3.4 Software                                                  |    |   |                                                                           |    |
|    | 3.5 Aannames en randvoorwaarden                               |    |   |                                                                           |    |
| 4. | Resultaten                                                    | 11 |   |                                                                           |    |
| 5. | Analyse en discussie                                          | 16 |   |                                                                           |    |
| 6. | Conclusie                                                     | 18 |   |                                                                           |    |

# 1 Introductie

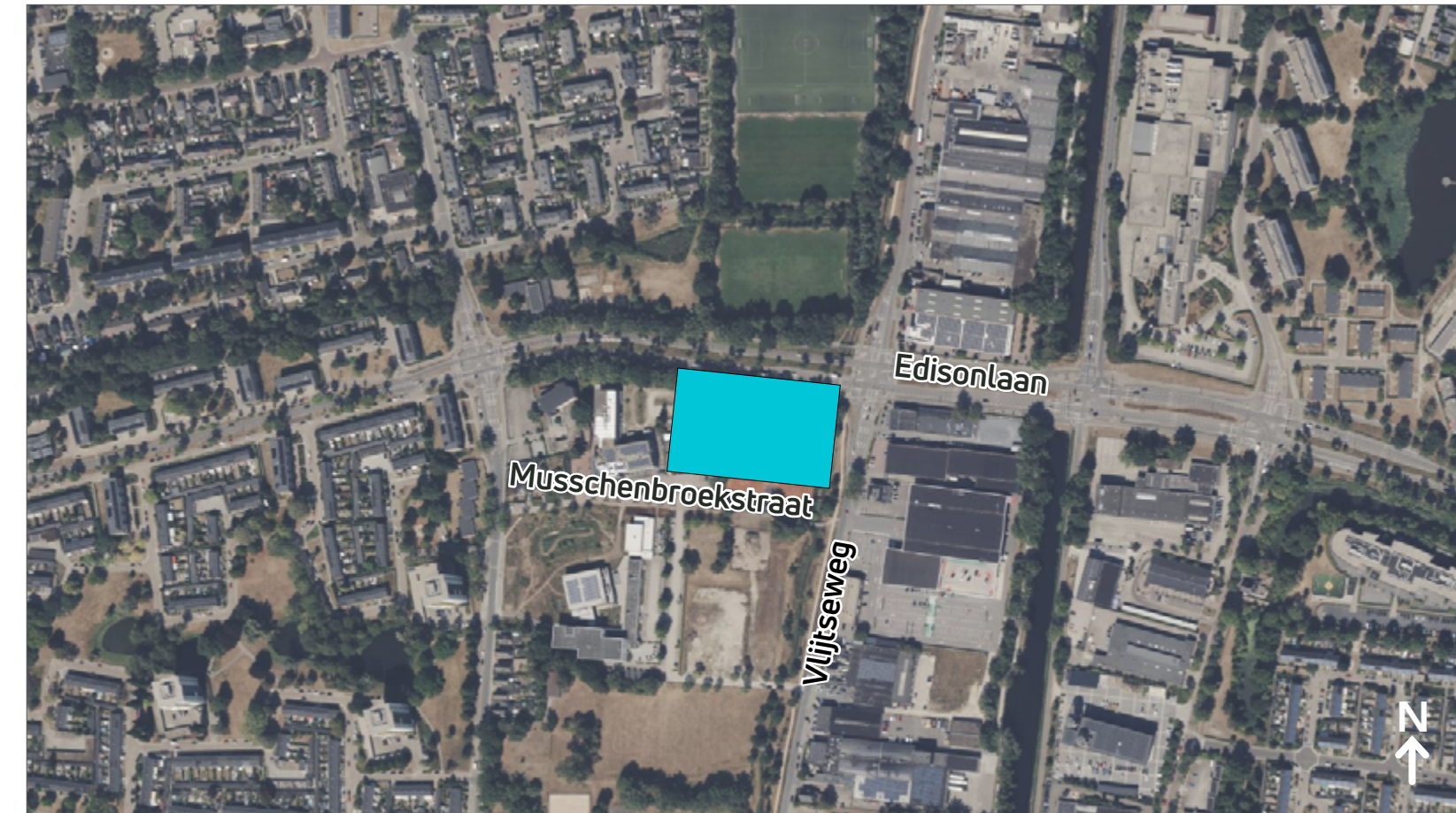
Voorliggende rapportage omschrijft een windonderzoek uitgevoerd door **Actiflow** in opdracht van VanWonen. Dit windonderzoek is uitgevoerd voor de ontwikkeling van het project Vlijtse Parktorens te Apeldoorn.

Het plangebied bevindt zich aan de noordzijde van Apeldoorn in de wijk De Vlijt, zie figuur 1.1. De nieuwbouw is gelegen aan de Edisonlaan ten noorden, de Musschenbroekstraat ten zuiden en de Vlijtseweg ten oosten. De omgeving kenmerkt zich door laagbouw woningen ten zuidwesten, westen en noordwesten, sportvelden ten noorden en zuiden, en lage industriële bebouwing ten noordoosten, oosten en zuidoosten.

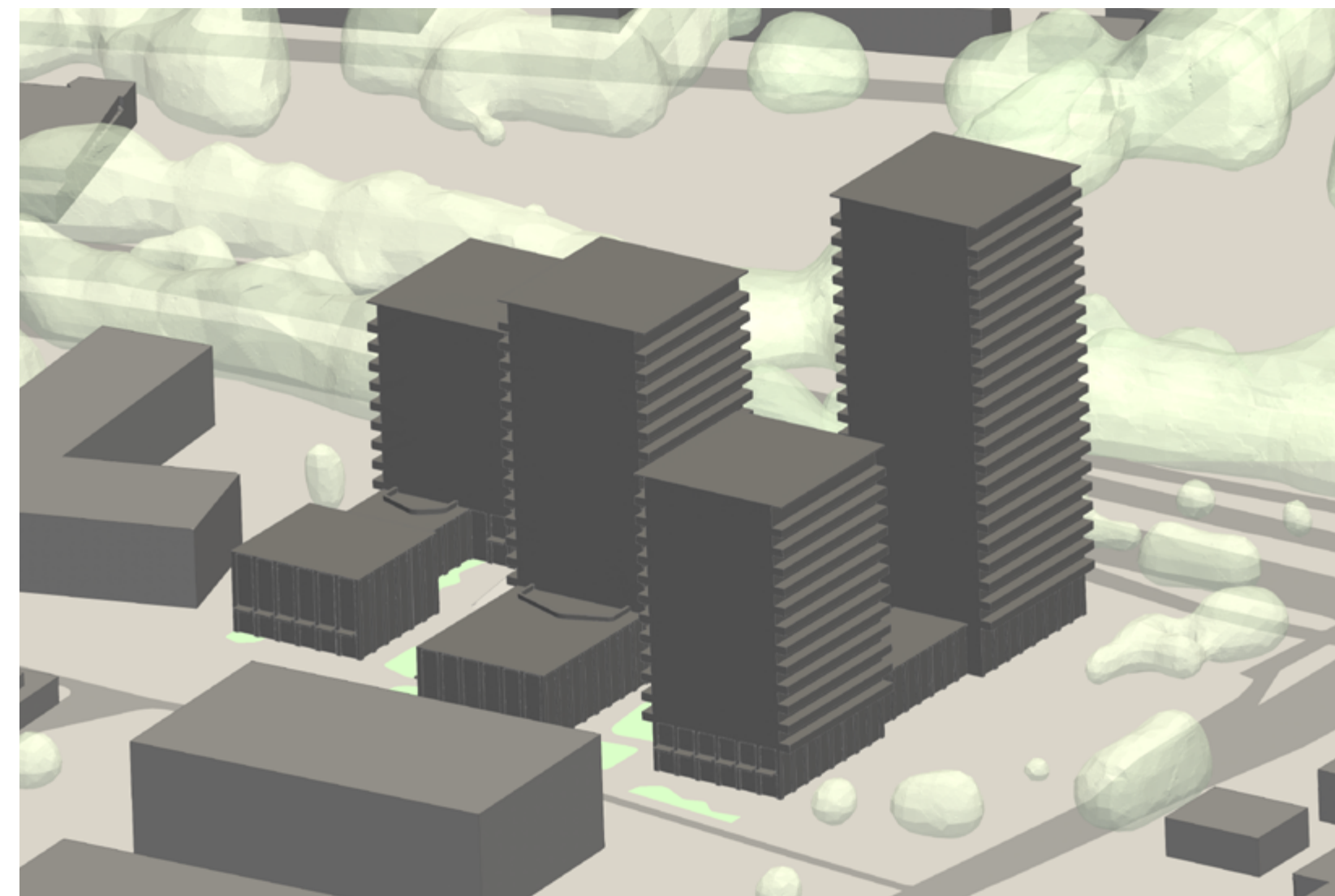
In de bestaande situatie is op de locatie een sportcentrum aanwezig met enkele tennisbanen. In de toekomstige situatie is men voornemens om nieuwbouw te realiseren, zie figuur 1.2. De nieuwbouw kent 4 hogere elementen, welke verbonden worden door enkele lagere elementen.

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. Daarnaast vragen de functies van de gebouwen en het verwachte gebruik van de openbare buitenruimte om een acceptabel comfortniveau ten aanzien van wind. Het is dan ook noodzakelijk het windklimaat inzichtelijk te maken, zodat mogelijke knelpunten kunnen worden aangepakt.

**Actiflow** is gevraagd om het windklimaat inzichtelijk te maken met behulp van berekeningen op basis van Computational Fluid Dynamics (CFD). In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de normstelling omtrent windhinder en windgevaar, de Nederlandse norm NEN8100:2006 'windhinder en windgevaar in de gebouwomgeving'.



**Figuur 1.1:**  
Impressie van de  
locatie van het  
nieuwbouwproject  
(BingMaps)



**Figuur 1.2:**  
Impressie van  
het model van de  
nieuwbouw

Zicht vanuit het  
zuidoosten

Een uitgebreide 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, waarna een aanvullende analyse van de stromingsfenomenen volgt in hoofdstuk 5. Ten slotte wordt een conclusie gevormd in hoofdstuk 6.

## 2 Normstelling

### 2.1 Windhinder en windgevaar

De normstelling betreffende het windklimaat in de openbare ruimte vindt haar oorsprong 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. In de norm wordt verondersteld dat dit bij een gemiddeld persoon zal optreden wanneer de lokale uurgemiddelde windsnelheid meer dan 5 m/s bedraagt. Aan de hand van de activiteit die op een bepaalde locatie wordt uitgevoerd kan deze periode van hinder beoordeeld worden. Zo zal in een gebied waar voetgangers enkel doorheen lopen een relatief lange periode van hinder geaccepteerd kunnen worden. Daarentegen zal het windklimaat in bijvoorbeeld een winkelstraat, bushalte of speeltuin pas acceptabel zijn wanneer de tijdsduur van windhinder beperkt is.

Aangenomen wordt dat windgevaar optreedt wanneer de uurgemiddelde lokale windsnelheid meer dan 15 m/s bedraagt. Windgevaar is het optreden van een zeer hoge windsnelheid, waardoor problemen optreden bij het lopen, zoals evenwichtsverlies. Ook hier kan een klein risico op windgevaar geaccepteerd worden bij minder kritische activiteiten, echter een groot risico op windgevaar is in alle voetgangersgebieden onacceptabel.

Figuren 2.1 en 2.2 tonen voorbeelden van windhinder en windgevaar voor voetgangers.



**Figuur 2.1:**  
Verbeelding situatie  
van windhinder



**Figuur 2.2:**  
Verbeelding situatie  
van windgevaar

## 2.2 Classificatie en beoordeling van windhinder en windgevaar

NEN 8100:2006 geeft de indeling voor windhinder in kwaliteitsklassen. Zowel windhinder als windgevaar worden hierbij op hoofdhoogte van een staande persoon, te weten 1,75 m boven het grondoppervlak, beoordeeld. De indeling in windhinderklassen is weergegeven in tabel 2.1. Aan de hand van de kans op overschrijdingsduur van de grenswaarde voor windhinder wordt bepaald in welke klasse een locatie valt. Afhankelijk van het gebruiksdoel van of activiteit op een specifieke locatie wordt een bepaalde klasse vervolgens beoordeeld als goed, matig of slecht:

- “Goed” betekent dat mensen zich comfortabel voelen en dat de wind nauwelijks voelbaar is.
- “Matig” betekent dat mensen de wind regelmatig zullen opmerken, maar niet vaak genoeg om storend te zijn voor de voorziene activiteit.
- “Slecht” betekent dat de wind vaak voelbaar is en hinderlijk is voor de voorziene activiteit. “Slecht” betekent niet dat de situatie onveilig is.

**Tabel 2.1:** Classificatie en beoordeling van het lokale windklimaat voor windhinder

| Overschrijdingskans<br>(Lokaal windsnelheid > 5 m/s)<br>(% van het aantal uren per jaar) | Windhinderklasse | Beoordeling per activiteit |               |                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------|---------------|-------------------------------|
|                                                                                          |                  | Doorlopen                  | Slenteren     | Langdurig zitten <sup>a</sup> |
| < 2,5 % (< 219 uren)                                                                     | <b>A</b>         | <i>Goed</i>                | <i>Goed</i>   | <i>Goed</i>                   |
| 2,5 - 5 % (219-438 uren)                                                                 | <b>B</b>         | <i>Goed</i>                | <i>Goed</i>   | <i>Matig</i>                  |
| > 5 - 10 % (> 438-876 uren)                                                              | <b>C</b>         | <i>Goed</i>                | <i>Matig</i>  | <i>Slecht</i>                 |
| > 10 - 20 % (> 876-1752 uren)                                                            | <b>D</b>         | <i>Matig</i>               | <i>Slecht</i> | <i>Slecht</i>                 |
| > 20 % (1752 uren)                                                                       | <b>E</b>         | <i>Slecht</i>              | <i>Slecht</i> | <i>Slecht</i>                 |

<sup>a</sup> Dit geldt conform de norm voor een bankje in het park, voor horeca terrassen of private buitenruimten is zwaardere normstelling nodig om het gewenste comfort te behalen.

Tabel 2.2 toont de indeling en beoordeling van de kans op windgevaar. Bij de beoordeling wordt niet direct onderscheid gemaakt in activiteiten, echter wordt in NEN 8100:2006 opgemerkt dat voor activiteitenklassen ‘Slenteren’ en ‘Langdurig zitten’ zelfs een beperkt risico al onacceptabel is. Dit betekent dat voor deze activiteitenklassen geldt dat enkel  $p \leq 0,05$  acceptabel is. Een gevaarlijk windklimaat moet in elk voetgangersgebied worden vermeden.

**Tabel 2.2:** Classificatie en beoordeling van het lokale windklimaat voor windgevaar

| Overschrijdingskans<br>(Lokaal windsnelheid > 15 m/s)<br>(% van het aantal uren per jaar) | Beoordeling    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| < 0,05 % (< 4,5 uren)                                                                     | Geen risico    |
| 0,05 - 0,30 % (4,5-26 uren)                                                               | Beperkt risico |
| > 0,30 % (> 26 uren)                                                                      | Gevaarlijk     |

# 3 Opzet van de berekening

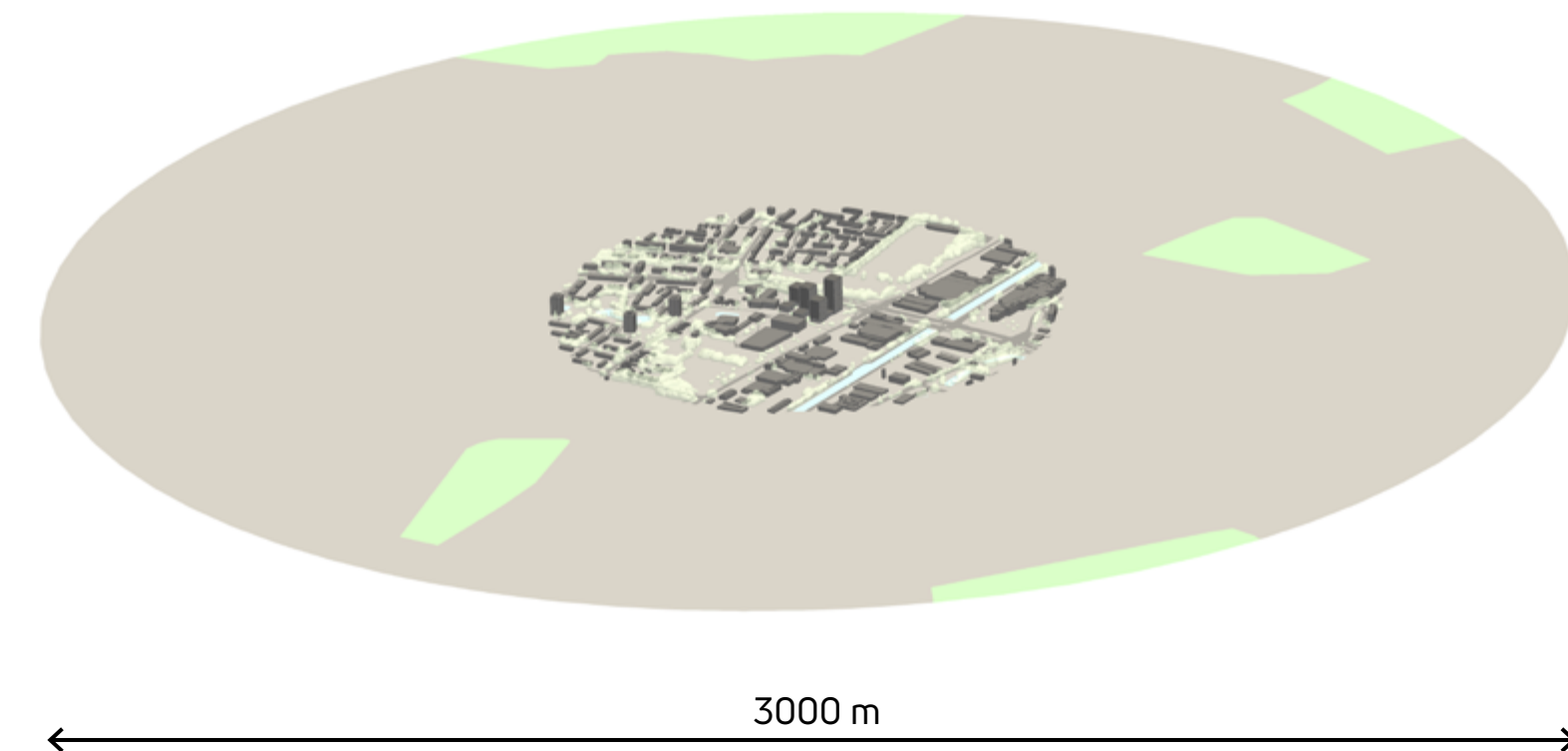
Het windonderzoek is uitgevoerd aan de hand van de richtlijnen in NEN 8100:2006. Hierbij hanteert **Actiflow** een 'Kwaliteitsrapport', zoals dit ook benoemd wordt in NEN 8100:2006. Hiermee wordt de kwaliteit van ons onderzoek en de betrouwbaarheid van de resultaten gewaarborgd. In dit hoofdstuk worden de belangrijkste elementen voor de opzet van de berekeningen weergegeven.

## 3.1 3D-Model en rekenrooster

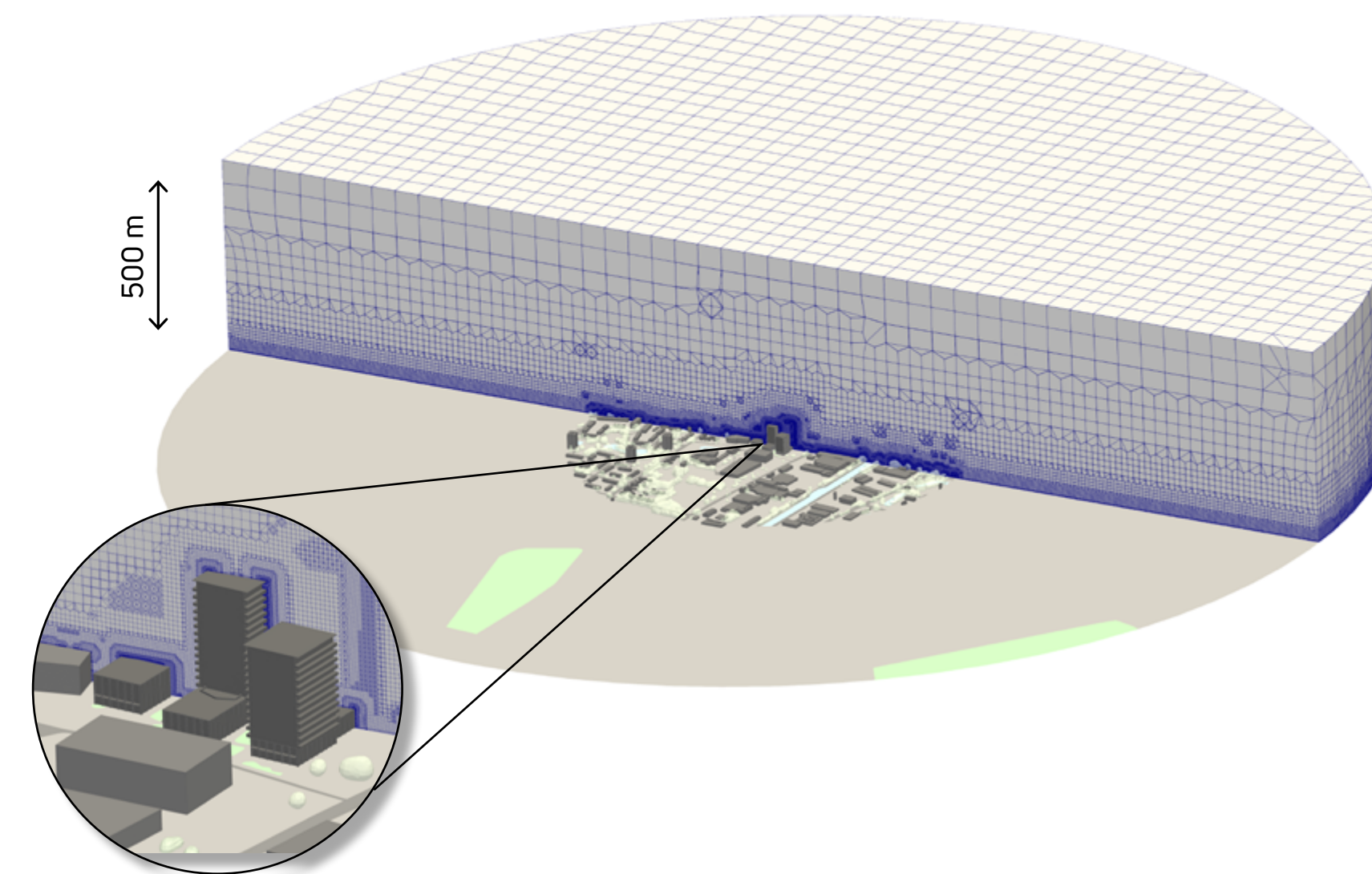
De geometrie van het model is gebaseerd op de verkregen tekeningen van de opdrachtgever. Het model omvat alle gebouwen binnen een straal van minimaal 300 m. Dit betreft de toekomstige situatie na toevoeging van de nieuwbouw in figuur 1.2 en 3.1.

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.

Het luchtvolume in de hierboven omschreven geometrie is vervolgens opgedeeld in een groot aantal kleine volumecellen. Deze cellen tezamen vormen het rekenrooster voor deze situatie (figuur 3.2). Dit rooster bestaat uit 57.393.446 cellen. 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.



**Figuur 3.1:**  
Impressie van het model  
  
Zicht vanuit het zuidoosten



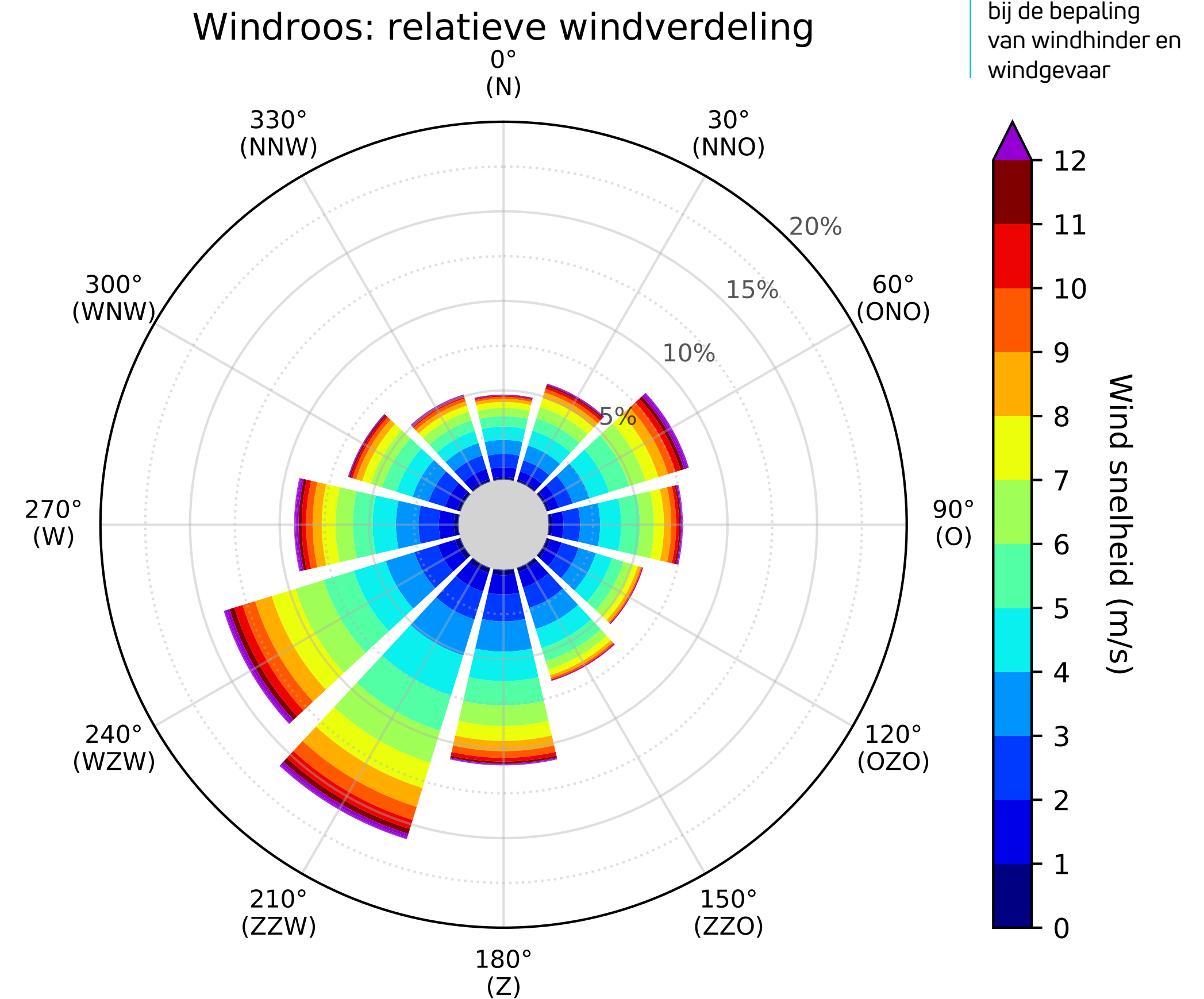
**Figuur 3.2:**  
Doorsnede van het rekenrooster  
  
Zicht vanuit het zuidoosten

### 3.2 Vegetatie

Vegetatie heeft een relevante invloed op het windklimaat en is daarom rondom het plangebied en op het eigen perceel opgenomen. Deze invloed verandert echter in de loop van het jaar, afhankelijk van het seizoen en het type vegetatie. Tegelijkertijd verschillen ook de windomstandigheden in de loop van het jaar. Op dit moment zijn windstatistieken niet voor elke maand of seizoen apart beschikbaar. Om een zo realistisch mogelijk beeld van het windklimaat te krijgen is daarom een vereenvoudiging nodig. In het bijzonder worden twee verschillende simulatiesets uitgevoerd voor het hele jaar: één met bladdragende vegetatie (vegetatietoestand in de zomer) en één met bladloze vegetatie (vegetatietoestand in de winter). Het gemiddelde tussen de twee resultaten wordt vervolgens berekend om een overzicht te krijgen van het windklimaat over het hele jaar. De jaargemiddelde resultaten worden gerapporteerd en besproken in hoofdstuk 4 conform NEN 8100:2006, terwijl de afzonderlijke resultaten voor het geval met bladdragende vegetatie en bladloze vegetatie worden gerapporteerd in bijlage C.

### 3.3 Methodiek

Om inzicht te krijgen in het windklimaat is de gehele windroos doorgerekend, te weten 12 windrichtingen. Voor elke windrichting die in beschouwing is 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 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 is weergegeven in figuur 3.3. Een frequentieverdeling van de windsnelheid op 60 m hoogte wordt gerapporteerd in bijlage B.



### 3.4 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 Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) vergelijkingen voor incompressibele vloeistoffen en houdt rekening met turbulentie. Voor de modellering van turbulentie is gebruik gemaakt van het SST k- $\omega$  model.

### 3.5 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 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 is  $\kappa$  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  $\omega$  verlopen volgens een voorgeschreven profiel, zoals aangegeven in vergelijking 3.3 en vergelijking 3.4. Hierin heeft  $C_\mu$  de waarde 0,09. Deze empirische constante komt voort uit het gebruikte turbulentiemodel (SST k- $\omega$ ).

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

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

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

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

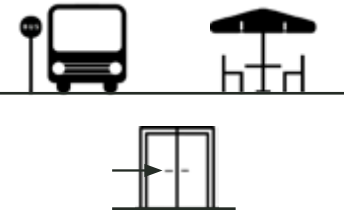
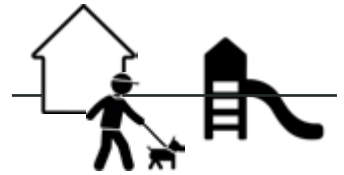
# 4 Resultaten

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, 4.2 en 4.3 tonen de resultaten van de openbare buitenruimte. In figuur 4.2 worden de resultaten getoond voor de diverse activiteiten die benoemd worden in NEN 8100:2006. Figuur 4.2a en b tonen de jaargemiddelde resultaten voor de activiteiten doorlopen en slenteren. Figuur 4.2c toont het resultaat voor de activiteit langdurig zitten. Deze activiteit vindt, in tegenstelling tot de andere activiteiten, typisch plaats tijdens dagen die een aangener klimaat kennen. Deze dagen zijn veelal gelegen in de lente- en zomermaanden, wanneer de aanwezige vegetatie volledig in het blad staat. Het hier getoonde resultaat is dan ook die van de berekeningen met al de vegetatie bladdragend.

Als richtwaarden voor de gewenste windhinderklassen wordt tabel 4.1 aangehouden.

Tabel 4.1: Richtwaarden van de windhinderklassen per activiteit

|                                                                                                                                                                      |                                                                                                | Goed      | Matig | Slecht    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|-----------|
|                                                                                   | Langdurig zitten en voetgangersactiviteiten ter plaatse van gebouw-entrees, etc.               | A         | B     | C, D en E |
|                                                                                   | Slenteren en op locaties die gezien kunnen worden als verblijfsgebied voor voetgangers         | A en B    | C     | D en E    |
|                                                                                 | Doorlopen op locaties met voor voetgangers louter een verkeersfunctie en geen verblijfsfunctie | A, B en C | D     | E         |
| Windgevaar dient bij voorkeur voorkomen te worden. Een beperkt risico kan lokaal geaccepteerd worden wanneer deze valt binnen in een zone met activiteit "doorlopen" |                                                                                                |           |       |           |

Het windklimaat, zoals zichtbaar in figuur 4.1 laat zien dat er rondom de planlocatie een relatief windluw klimaat aanwezig is. De ruime omgeving kent overwegend de meest gunstige windhinderklasse A. Nabij de nieuwbouw ontstaan zones met een meer gematigd windklimaat met windhinderklassen B en C. Op de planlocatie zelf ontstaan ook enkele kleine ('A' in figuur 4.1) tot grotere ('B' in figuur 4.1) zones met windhinderklasse D. De meest ongunstige windhinderklasse E komt op en nabij het plangebied niet voor. Figuur 4.3 laat zien dat er eveneens geen risico is op windgevaar op en nabij het plangebied.

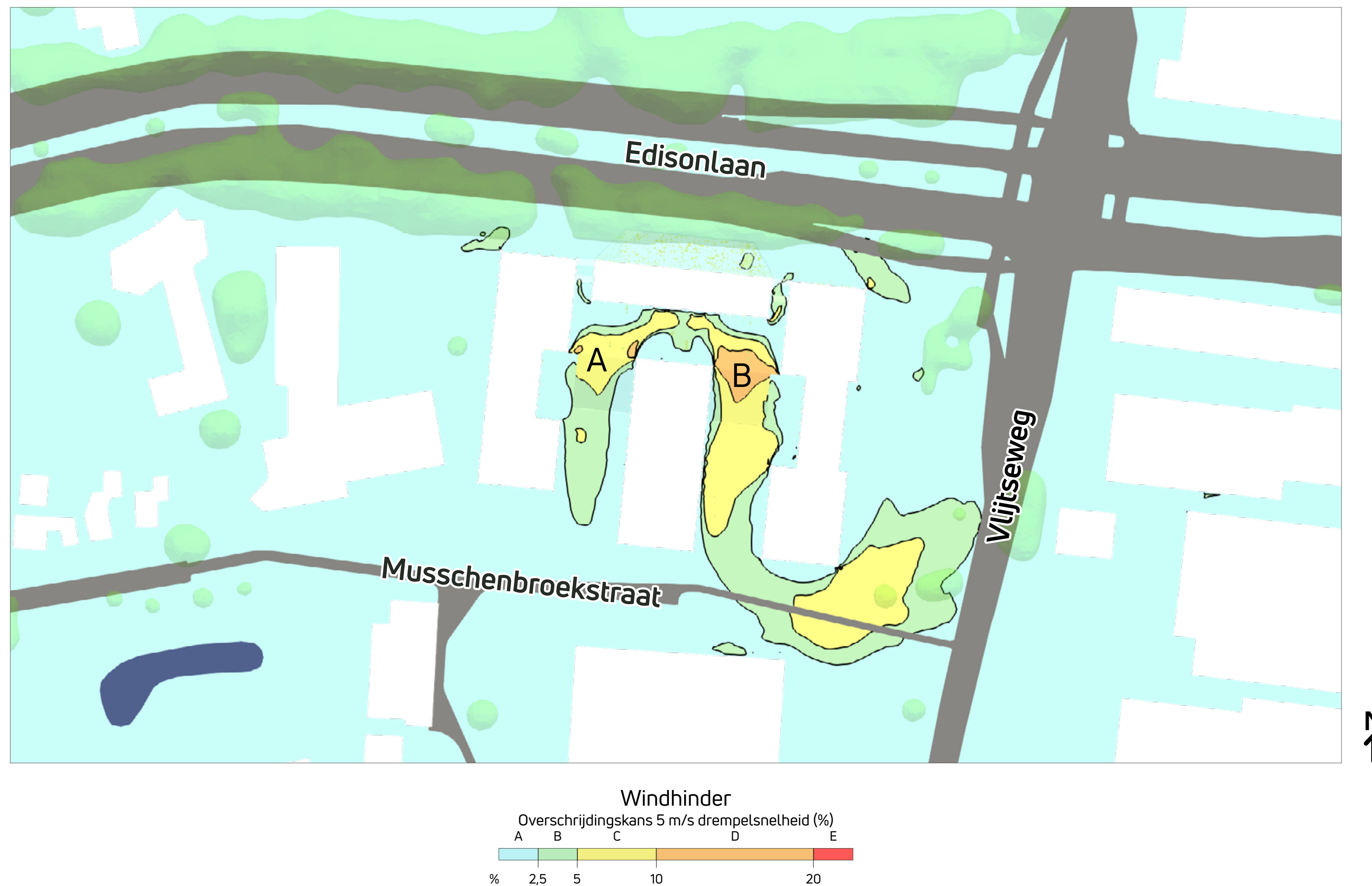
Wanneer het openbaar gebied rondom het plangebied wordt beschouwd dan wordt duidelijk dat er in lijn met de verwachte functie van dit gebied een goed windklimaat heerst. Het voetgangersgebied aan de Edisonlaan ten noorden van het plangebied kent veelal windhinderklasse A en slechts beperkt B en C. In alle gevallen is dit acceptabel voor de verwachte functie als 'doorloopgebied'. Eveneens biedt dit voldoende ruimte voor het plaatsen van entreegebieden, welke windhinderklasse A of ten hoogste B vereisen. Het voetgangersgebied aan de Vlijtseweg kent eveneens veelal windhinderklasse A. Nabij de kruising met de Musschenbroekstraat is een grote zone met windhinderklasse C aanwezig. Ook hier wordt de functie van doorloopgebied verwacht, waardoor er een acceptabel windklimaat heerst. De gevels van de nieuwbouw en de omliggende bestaande gebouwen kennen hier allen windhinderklasse A tot B, waardoor entreegebieden vrij geplaatst kunnen worden, respectievelijk comfortabel gebruikt kunnen worden. Het voetgangersgebied aan de Musschenbroekstraat kent ook vrijwel uitsluitend de meest gunstige windhinderklasse A. Uitzondering hierop is de eerder genoemde kruising met de Vlijtseweg. Het windklimaat ter plaatse van het voetgangersgebied in de omgeving van de nieuwbouw is dan ook acceptabel.

Door inpassing van de hogere elementen van de nieuwbouw en de oriëntatie van de doorgangen in noord-zuid-richting ontstaan er binnen het plangebied op enkele locaties hogere windhinderklassen, tot maximaal windhinderklasse D. Afhankelijk van het toekomstig gebruik van deze zones zijn maatregelen wenselijk.

Figuur 4.2 laat zien welke activiteiten er kunnen worden toegekend met behoud van een acceptabel comfortniveau ten aanzien van wind. Wanneer het 'binnengebied' tussen de bouwblokken niet toegankelijk is, slechts toegankelijk is voor onderhoud, of enkel een functie kent als doorloopgebied, dan kan het hier getoonde windklimaat worden geaccepteerd.

In geval men voornemens is functies toe te kennen aan het binnengebied die een hoog comfort vragen, bijvoorbeeld 'langdurig zitten' dan kan dit slechts in een beperkte zone worden toegepast of men moet maatregelen nemen. Figuur 4.2 laat hierbij zien dat het mogelijk is om alle mogelijke functies toe te kennen met behoud van comfort indien men deze op de juiste locatie plaatst.

In hoofdstuk 5 is de stroming van wind richting de zones met hogere windhinderklassen (zones 'A' en 'B' in figuur 4.1) nader onderzocht en is een aanzet gegeven voor mogelijke mitigerende maatregelen.



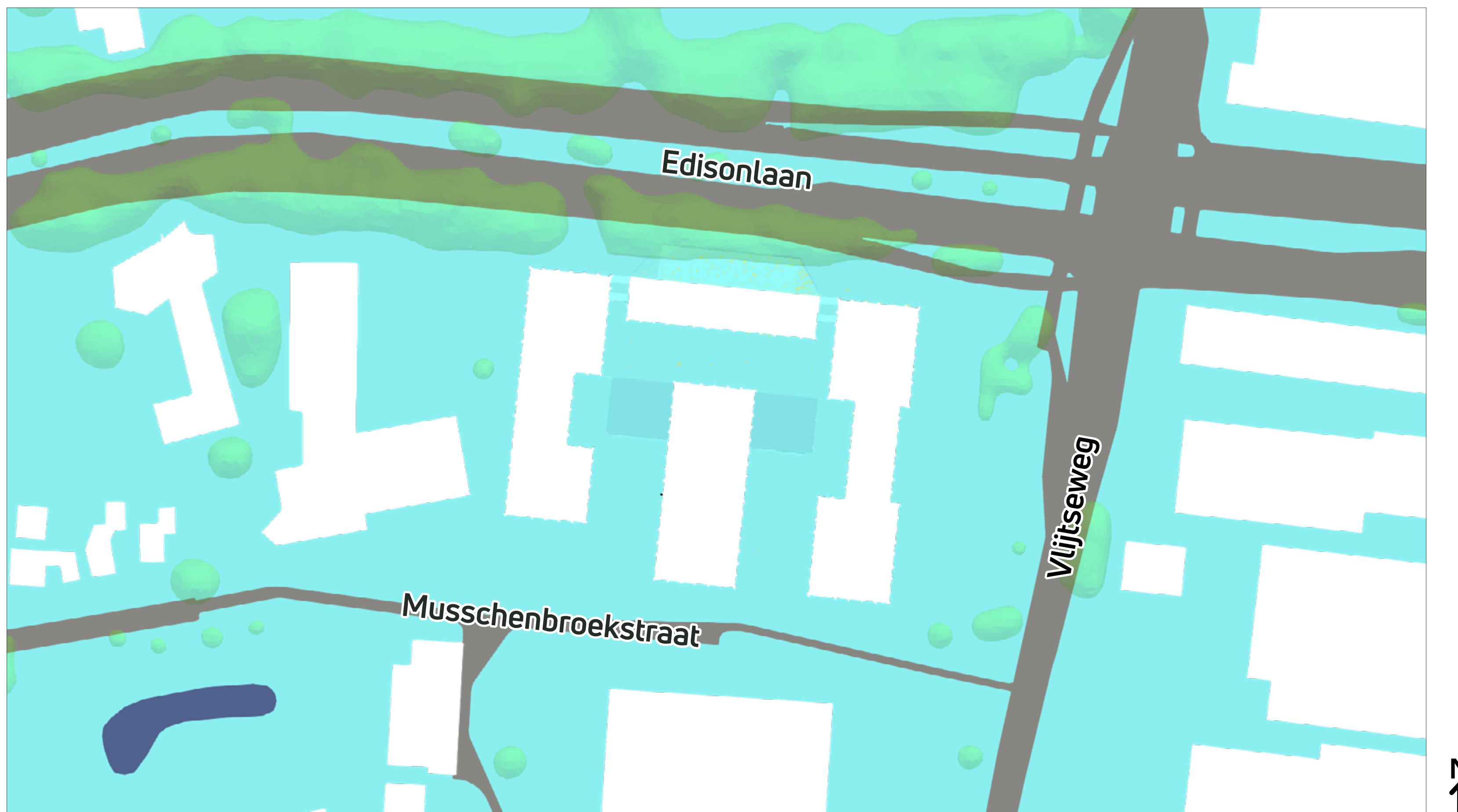
**Figuur 4.1:**  
Windhinder op  
voetgangsniveau

**Figuur 4.2:**  
Windhinder op  
voetgangersniveau  
voor drie  
verschillende  
activiteiten



Windhinder

|      |       |        |
|------|-------|--------|
| Goed | Matig | Slecht |
| Goed | Matig | Slecht |



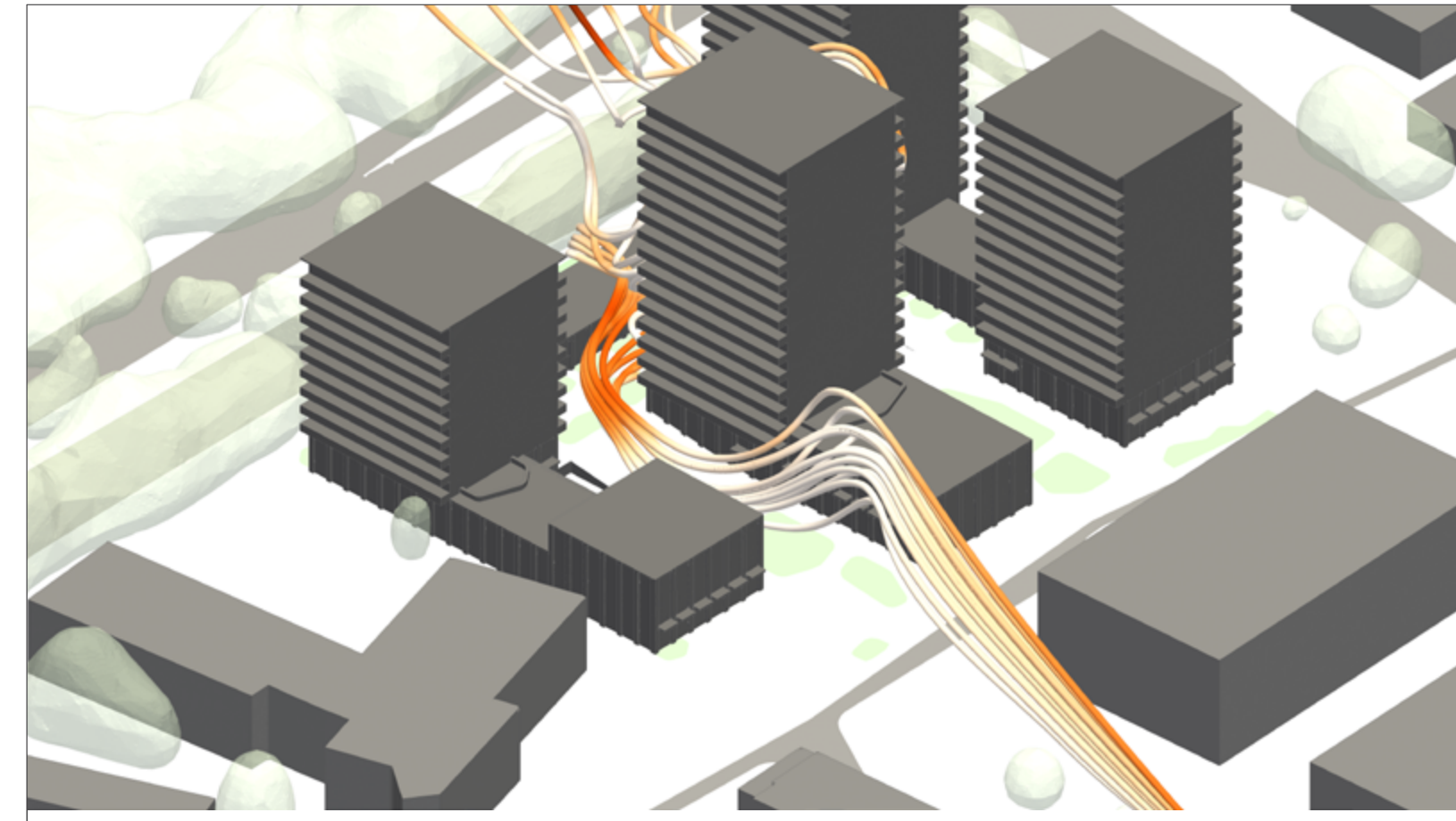
**Figuur 4.3:**  
Windgevaar op  
voetgangsniveau

# 5 Analyse en discussie

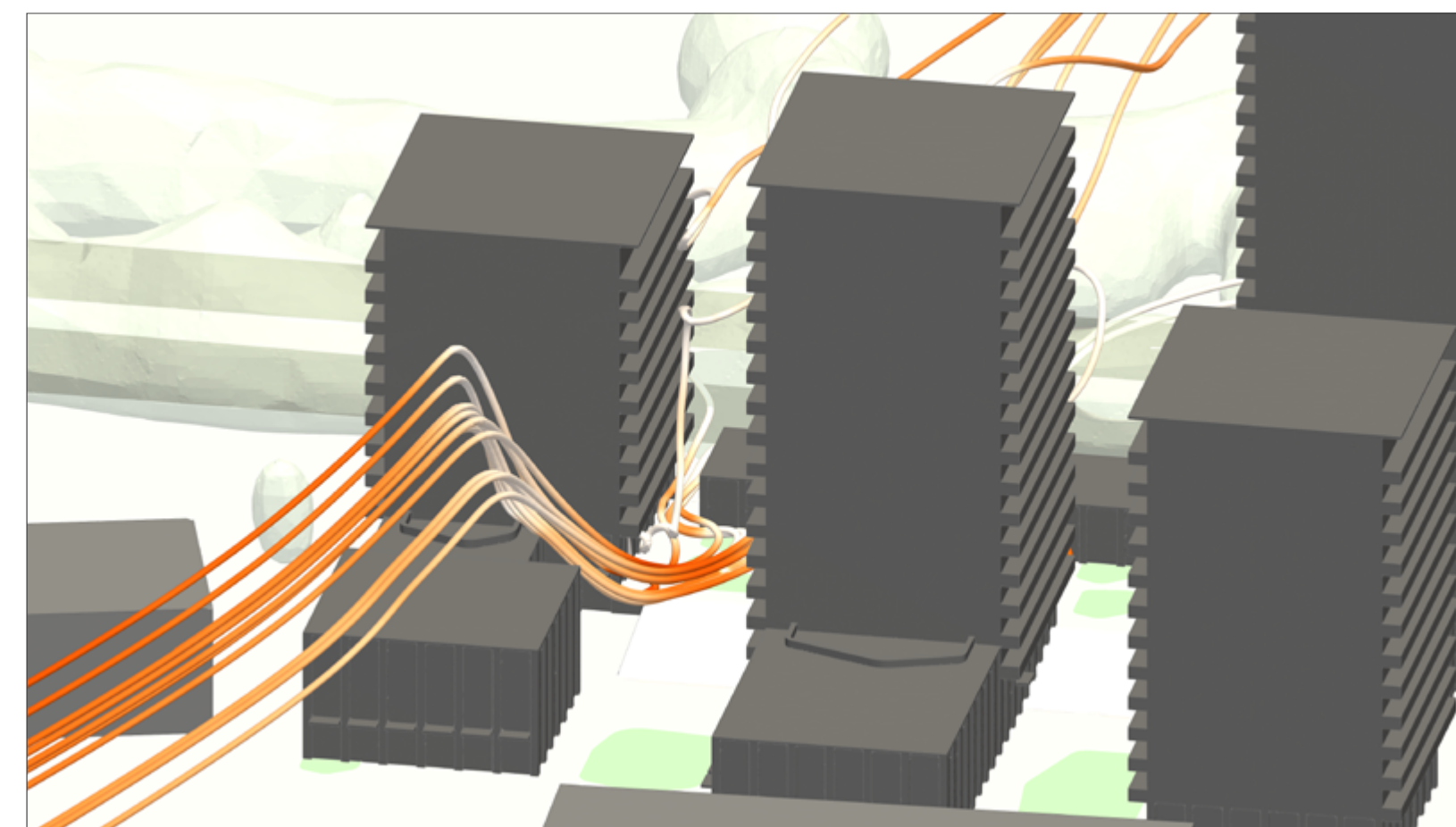
In dit hoofdstuk wordt besproken hoe het in hoofdstuk 4 getoonde windklimaat ontstaat en hoe dit eventueel gemitigeerd kan worden. In bijlage D zijn de overschrijdingskansen per windrichting te zien die ook gebruikt zijn in deze analyse. Hieruit komt naar voren dat wind uit de zuidwestelijke richtingen de grootste invloed hebben op het windklimaat in de beoogde toekomstige situatie. Door de stromingen uit deze richtingen te analyseren middels stroomlijnen wordt duidelijk hoe de wind langs de bebouwing stroomt en hoe dit lokaal het windklimaat beïnvloedt.

In figuur 4.1 zijn twee zones aangegeven, welke als windrijk kunnen worden omschreven en beide maximaal windhinderklasse D kennen. Zone A is gelegen aan de westzijde van het binnengebied en kent in feite twee kleinere zones met windhinderklasse D. In figuur 5.1 en 5.2 zijn voor de maatgevende windrichting de stroomlijnen door deze zones weergegeven. In figuur 5.3 is hetzelfde gedaan voor zone B, welke gelegen is aan de oostzijde van het binnengebied en bestaat uit één grote zone met windhinderklasse D.

Al deze stroomlijnen laten een gelijkaardig beeld zien. Wind stroomt aan over relatief lage bebouwing ten zuiden en zuidwesten van het plangebied. Het stroomt vervolgens over de lagere zuidelijk gelegen bouwdelen van de nieuwbouw en botst vervolgens tegen de hogere bouwvolumes aan. Hier ontstaat een drukopbouw. De wind wordt vervolgens samengeperst tussen de hogere volumes, welke hier een smalle doorgang vormen. Hier valt de wind naar beneden, omdat daar enerzijds meer ruimte ontstaat, maar ook omdat daar de drukken lager zijn. De wind versnelt vervolgens van de zone met hoge druk naar de zone met lage druk, wat op maaiveld resulteert in de hier getoonde hogere windsnelheden en windhinderklassen.



**Figuur 5.1:**  
Stroomlijnen naar  
zone A conform figuur  
4.1



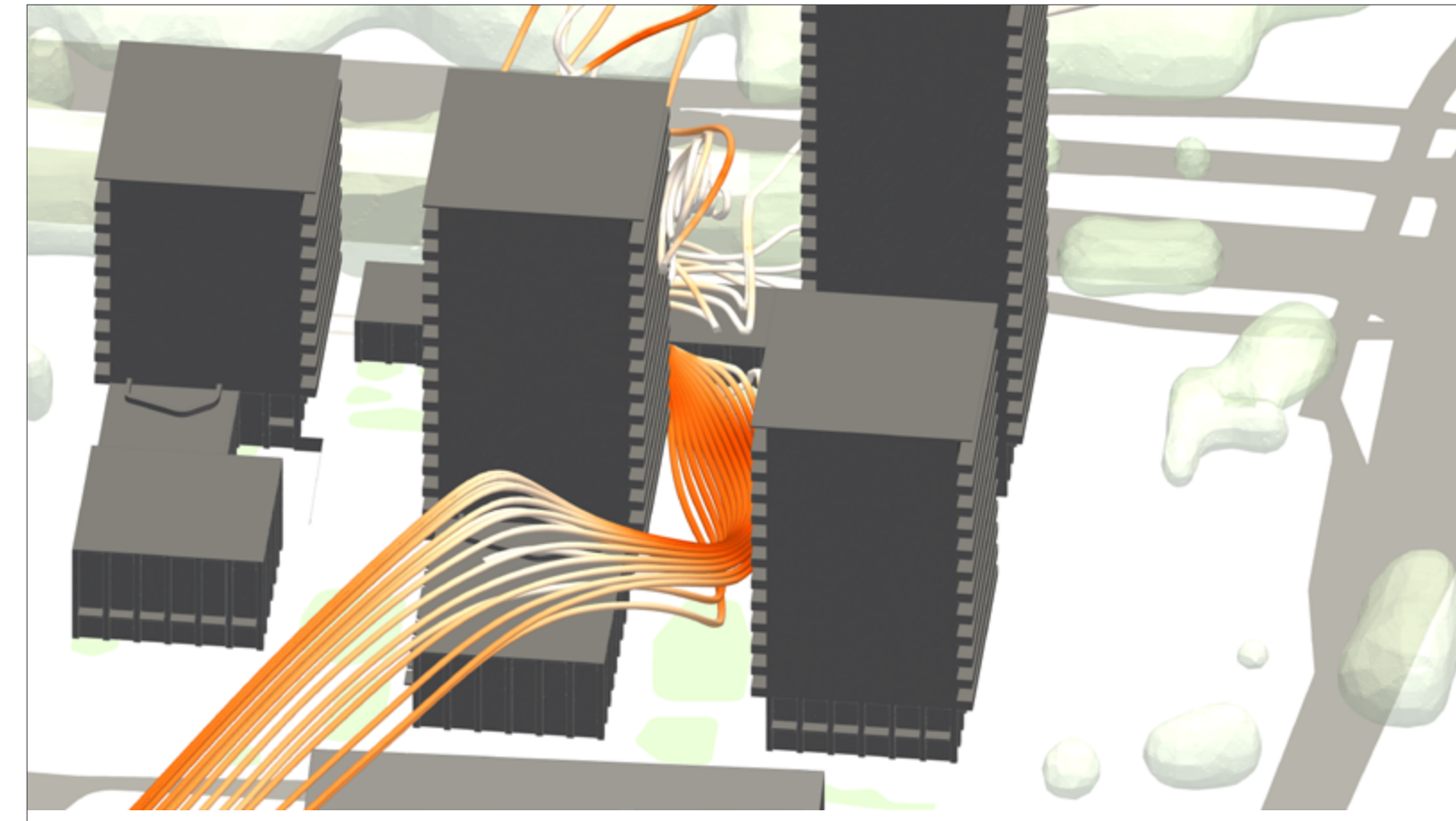
**Figuur 5.2:**  
Stroomlijnen naar  
zone A conform figuur  
4.1



Mocht de functie van het binnengebied vragen om lagere windhinderklassen dan hier getoond, dan kunnen maatregelen ervoor zorgen dat het windklimaat gunstiger wordt. In basis wordt hierbij het volgende stappenplan aangehouden:

1. Aanpassingen aan de stedenbouwkundige opzet;
2. Aanpassingen aan de plaatsing van bouwvolumes binnen het plangebied;
3. Toepassen van setbacks of het voorzien van een plint;
4. Toepassen van schermen of luifels als bouwkundige voorziening;
5. Toepassen van vaste elementen op maaiveld, zoals schermen, overkappingen, pergola's of kunstwerken;
6. Het veranderen van de indeling van het (openbaar) gebied, zoals het verleggen van de looproute, of het ontoegankelijk maken van specifieke gebieden;
7. Toepassen van wintergroene vegetatie op maaiveld. Deze maatregel wordt bij voorkeur enkel ingezet om van een matig naar een goed comfortniveau te gaan. Het acceptabel maken van een onacceptabel windklimaat vraagt meer permanente elementen.

Mochten maatregelen benodigd zijn dan is het mogelijk om de wind op te vangen op een horizontale structuur die geplaatst wordt tussen de bouwdelen. Denk hierbij aan een deels open, deels gesloten overkapping afgewisseld met een wintergroen bladerdak. Op de locatie waar de windstroming vanaf hoogte naar beneden valt in figuren 5.1, 5.2 en 5.3 dient deze overkapping gesloten te worden uitgevoerd. De overkapping dient in noordelijke richting door te lopen, maar kan langzaam poreuzer worden. Ter hoogte van de noordelijke punt van het middelste bouwdeel kan de overkapping naar verwachting stoppen. De porositeit kan voor de westelijke doorgang groter zijn dan voor de oostelijke doorgang. De exacte dimensionering en materialisering dient nader bepaald te worden en dient in aanvullend onderzoek door [Actiflow](#) te worden getest.



**Figuur 5.3:**  
Stroomlijnen naar  
zone B conform figuur  
4.1.



# 6 Conclusie

---

Dit rapport beschrijft een windonderzoek uitgevoerd door [Actiflow](#) voor het project Vlijtse Parktores te Apeldoorn. Door de plaatsing van de nieuwbouw zal het lokale windklimaat beïnvloed worden.

[Actiflow](#) is gevraagd een onderzoek uit te voeren op basis van de Nederlandse norm "NEN 8100:2006: Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving". Hierbij is een geometrisch model van het gebouw en zijn omgeving opgesteld. Een rekenrooster met hoge resolutie is rond deze geometrie opgetrokken als basis voor Computational Fluid Dynamics (CFD)-simulaties van de windstroming.

Het windonderzoek laat het volgende zien:

- Het windklimaat in het openbaar voetgangersgebied rondom het plangebied is acceptabel;
- Het windklimaat nabij bestaande entreegebieden in de nabijheid van het plangebied is acceptabel;
- Er is geen risico of beperkt risico op windgevaar gevonden op en om het plangebied;
- Binnen het plangebied is het windklimaat gevarieerd. Hier komt maximaal windhinderklasse D voor;
- Afhankelijk van de indeling van het plangebied en hiermee de toekenning van functies kan het hier getoonde windklimaat geaccepteerd worden, of zijn maatregelen gewenst. Voorliggend rapport geeft de benodigde informatie voor deze beoordeling;

Bij de keuze van eventuele maatregelen en het beoordelen van hun effectiviteit kan [Actiflow](#) geraadpleegd worden.

| Project                                                   | Project gegevens                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Project naam                                              | Vlijtse Parktorens te Apeldoorn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Opdrachtgever                                             | VanWonen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Projectleider Actiflow                                    | Marc Koops                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Datum                                                     | 20 december 2024                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Model                                                     | Algemene gegevens van het model                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Omvang gemodelleerd gebied                                | Bebouwing binnen 300 m rondom project gebouw                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Kerngebied                                                | Nieuwbouw en de directe omgeving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Omgeving                                                  | Omgeving in versimpelde bouwvolumes, gedetailleerd nabij het kerngebied                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Afmetingen model                                          | Rond met straal 1.500 m en hoogte 500 m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Blokkeringsgraad                                          | Maximaal 3 %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Gemodelleerd groen                                        | Bomen en struiken: poreuze zone                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Onderzochte windrichtingen (minimaal 12 over de windroos) | 2 x12 (rondom in stappen van 30 graden, met en zonder vegetatie)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Onderzochte configuraties                                 | 1 configuratie: nieuwbouw in bestaande omgeving                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Computeropstelling                                        | Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Programmatuur                                             | <input checked="" type="checkbox"/> FVM (eindige volume methode) <input type="checkbox"/> FEM (eindige elementen methode) <input type="checkbox"/> anders<br>Programmatuur: OpenFOAM<br>Versie: of2406                                                                                                                                                                                        |
| Algemeen                                                  | <input checked="" type="checkbox"/> drie-dimensionaal <input checked="" type="checkbox"/> tijd-onafhankelijk <input checked="" type="checkbox"/> isothermisch<br><input type="checkbox"/> passieve scalars<br><input type="checkbox"/> twee-dimensionaal <input type="checkbox"/> tijd-afhankelijk <input type="checkbox"/> thermisch<br><input type="checkbox"/> actieve scalars<br>Overige: |
| Rekenrooster                                              | Hybride ongestructureerd: tetraëders en hexaëders met prismalaag<br>Basis: 57.393.446 cellen                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Turbulentiemodellering                                    | SST k-ω                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Convectieve differentieschema's                           | Snelheidscomponenten: linearUpwindV cellLimited leastSquares 1<br>Turbulente grootheden: limitedLinear 1<br>Scalaire variabelen: n.v.t.                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Randvoorwaarden                                           | Gebruikte randvoorwaarden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Instroomprofiel                                           | Logaritmische atmosferische grenslaag, ruwheid afgestemd op omgeving (NPR6097:2006)                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Uitlaat                                                   | Druk-uitlaat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Boven-/Zijwanden                                          | Slipwanden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Vloer/bodem                                               | No-slip, ruwe wand                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Overige                                                   | No-slip, ruwe wand/gladde wand                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

| Gegevensverwerking en beoordeling                                  | Informatie voor locatie en berekening windklimaat           |                           |                                                  |                |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------|
| Amersfoortse coördinaten van de locatie                            | X: 194886                                                   |                           | Y: 471476                                        |                |
| Toegepaste eisen                                                   | $V_{DR}$<br>m/s                                             | Gewenste kwaliteitsklasse | Overschrijdingskans %<br>$p(V_{LOK} > V_{DR,H})$ | Beoordeling    |
| Voor comfort                                                       |                                                             |                           |                                                  |                |
| Doorlopen                                                          | 5,0                                                         | A,B,C                     | $p < 10$                                         | Goed           |
| Slenteren                                                          | 5,0                                                         | A,B                       | $p < 5$                                          | Goed           |
| Zitten                                                             | 5,0                                                         | A                         | $p < 2,5$                                        | Goed           |
| 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                     | $p \geq 0,3$                                     | gevaarlijk     |
| Gepresenteerde resultaten                                          | Windhinder contouren en klassenindeling, windgevaar contour |                           |                                                  |                |
| Opmerkingen en eventuele conclusies van proefoverschrijdend belang | Geen                                                        |                           |                                                  |                |

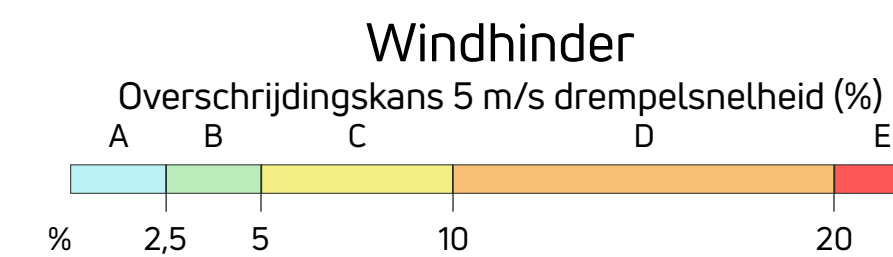
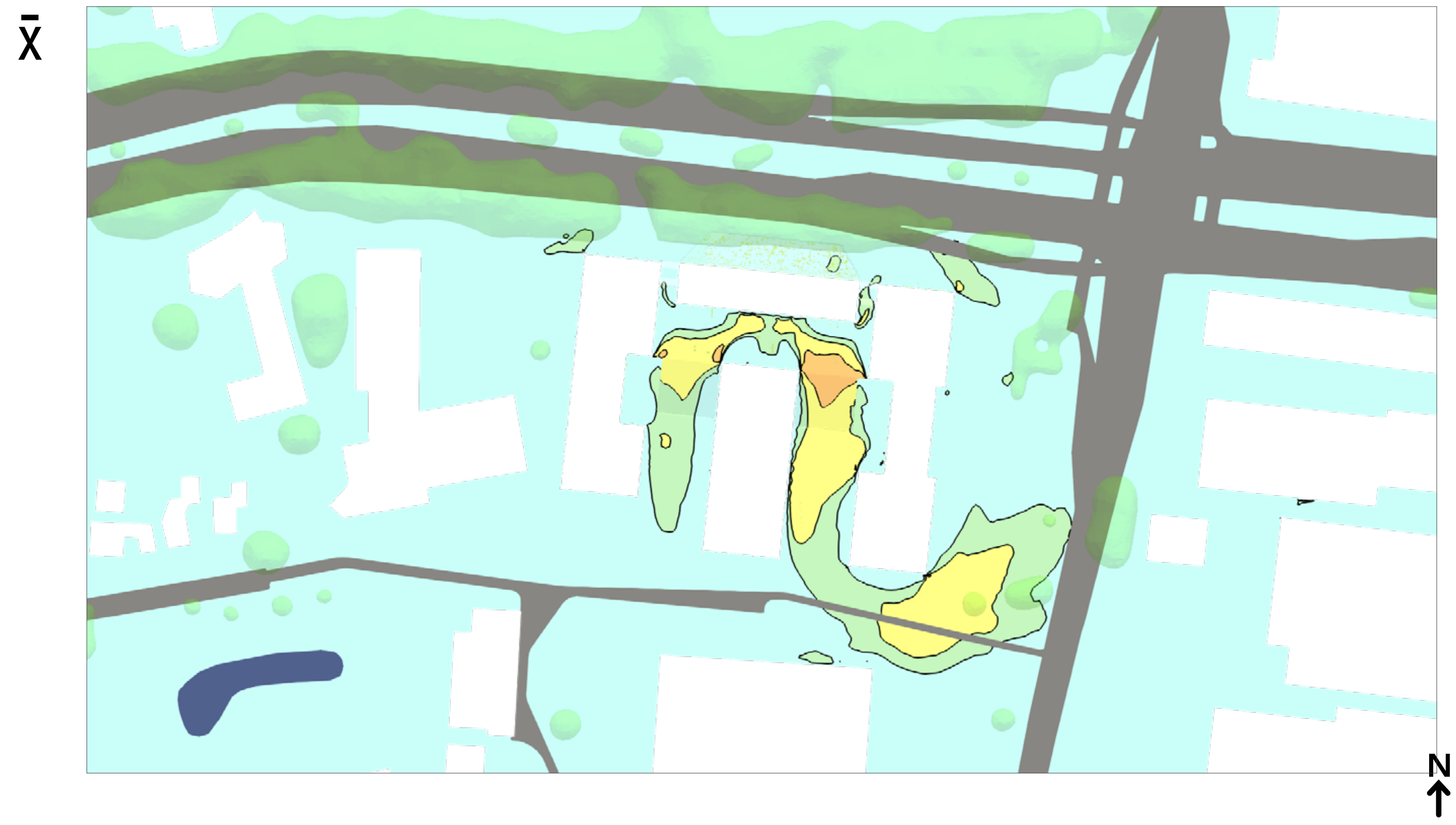
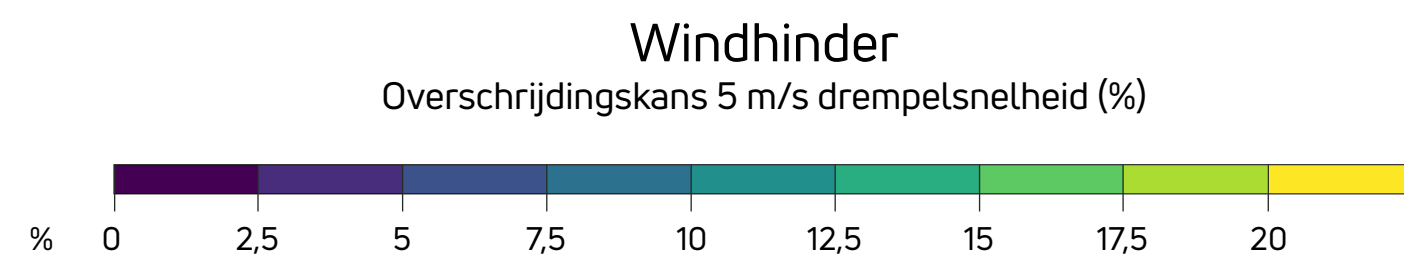
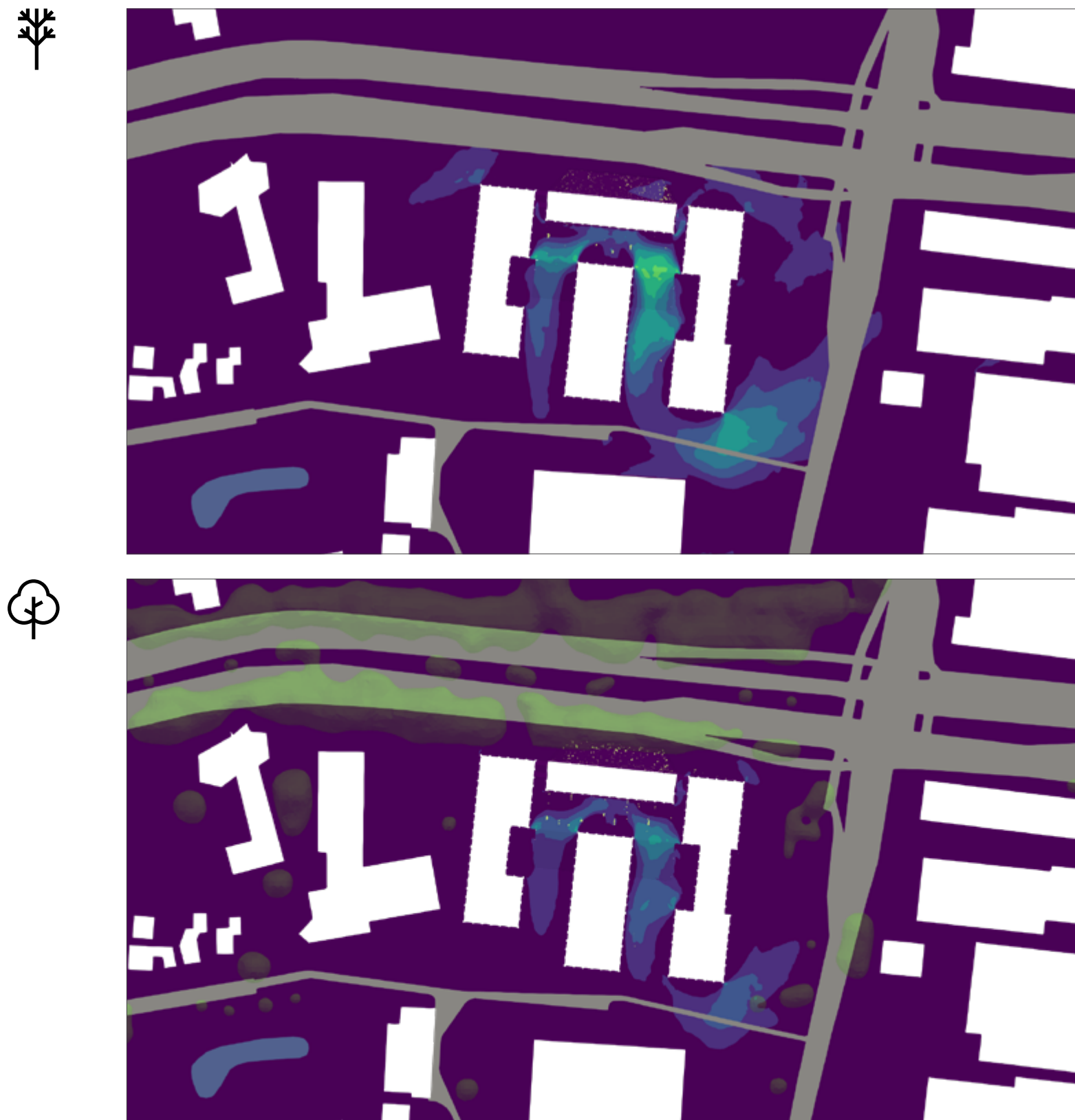
# B Frequentietabel uurgemiddelde windrichting en snelheid

FREQUENTIETABEL VAN DE 60 METER WINDSNELHEID DISTRIBUTIEF RELATIEF IN PERCENTAGES  
Amersfoortse Coördinaten: X: 194886 Y: 471476      Jaar 1963-2002

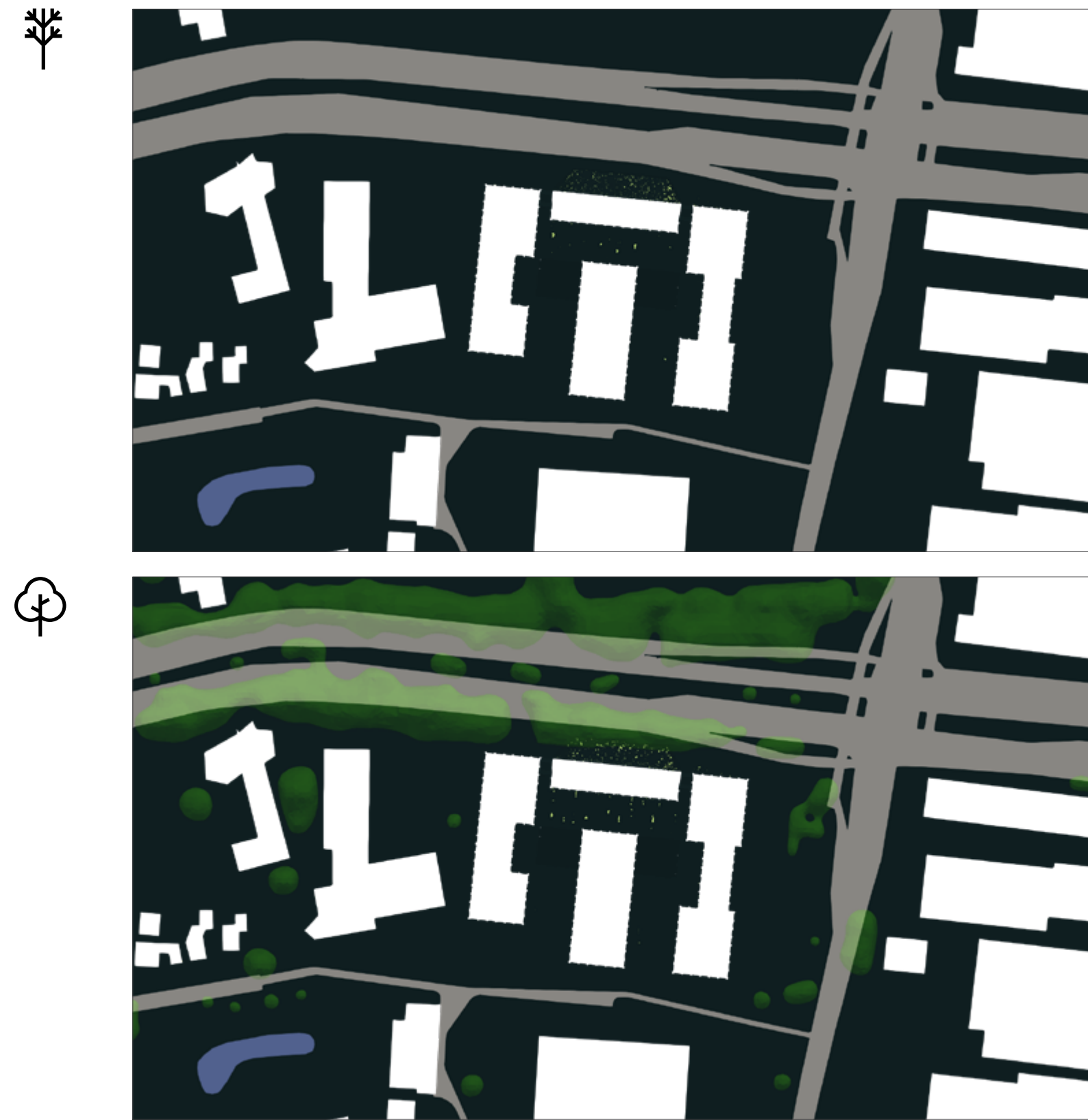
| Windsnelheid<br>[m/s] | N<br>345° - 15° | NNO<br>15° - 45° | ONO<br>45° - 75° | O<br>75° - 105° | OZO<br>105° - 135° | ZZO<br>135° - 165° | Z<br>165° - 195° | ZZW<br>195° - 225° | WZW<br>225° - 255° | W<br>255° - 285° | WNW<br>285° - 315° | NNW<br>315° - 345° | Cumulatief |
|-----------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------|
| 0,0 - 0,9             | 0.15            | 0.15             | 0.18             | 0.22            | 0.23               | 0.27               | 0.32 0.33        | 0.33               | 0.27               | 0.22             | 0.17               | 2.86               | 3.07       |
| 1,0 - 1,9             | 0.56            | 0.47             | 0.55             | 0.62            | 0.66               | 0.91               | 1.07 1.08        | 1.01               | 0.84               | 0.69             | 0.6                | 9.06               | 9.23       |
| 2,0 - 2,9             | 0.75            | 0.64             | 0.8              | 0.93            | 0.99               | 1.18               | 1.51 1.62        | 1.36               | 1.14               | 0.96             | 0.78               | 12.65              | 12.85      |
| 3,0 - 3,9             | 0.78            | 0.87             | 0.99             | 1.12            | 1.01               | 1.24               | 1.69 2.10        | 1.68               | 1.26               | 0.94             | 0.72               | 14.39              | 14.47      |
| 4,0 - 4,9             | 0.74            | 0.86             | 1.14             | 1.17            | 0.94               | 1.1                | 1.64 2.33        | 1.86               | 1.3                | 0.94             | 0.71               | 14.73              | 14.54      |
| 5,0 - 5,9             | 0.59            | 0.74             | 1.18             | 1.05            | 0.68               | 0.77               | 1.37 2.08        | 1.77               | 1.1                | 0.84             | 0.62               | 12.79              | 12.51      |
| 6,0 - 6,9             | 0.46            | 0.66             | 0.96             | 0.78            | 0.5                | 0.49               | 1.14 1.87        | 1.65               | 0.97               | 0.67             | 0.52               | 10.68              | 10.07      |
| 7,0 - 7,9             | 0.32            | 0.5              | 0.74             | 0.56            | 0.33               | 0.33               | 0.83 1.47        | 1.38               | 0.77               | 0.5              | 0.34               | 8.07               | 7.87       |
| 8,0 - 8,9             | 0.18            | 0.33             | 0.57             | 0.41            | 0.18               | 0.16               | 0.57 1.10        | 0.97               | 0.51               | 0.35             | 0.24               | 5.57               | 5.63       |
| 9,0 - 9,9             | 0.11            | 0.21             | 0.42             | 0.27            | 0.07               | 0.09               | 0.37 0.76        | 0.73               | 0.36               | 0.21             | 0.18               | 3.78               | 3.84       |
| 10,0 - 10,9           | 0.05            | 0.15             | 0.31             | 0.16            | 0.03               | 0.04               | 0.21 0.53        | 0.48               | 0.25               | 0.12             | 0.1                | 2.42               | 2.54       |
| 11,0 - 11,9           | 0.03            | 0.08             | 0.2              | 0.09            | 0.01               | 0.01               | 0.11 0.29        | 0.29               | 0.17               | 0.08             | 0.05               | 1.41               | 1.51       |
| 12,0 - 12,9           | 0.02            | 0.04             | 0.13             | 0.07            | -                  | 0.01               | 0.05 0.16        | 0.17               | 0.1                | 0.03             | 0.03               | 0.8                | 0.89       |
| 13,0 - 13,9           | 0.01            | 0.02             | 0.08             | 0.02            | -                  | -                  | 0.02 0.07        | 0.08               | 0.06               | 0.01             | 0.02               | 0.41               | 0.47       |
| 14,0 - 14,9           | -               | 0.01             | 0.04             | 0.01            | -                  | -                  | 0.01 0.04        | 0.04               | 0.04               | 0.01             | 0.01               | 0.21               | 0.25       |
| 15,0 - 15,9           | -               | -                | 0.01             | 0.01            | -                  | -                  | 0.01 0.02        | 0.02               | 0.02               | -                | -                  | 0.1                | 0.12       |
| 16,0 - 16,9           | -               | -                | 0.01             | -               | -                  | -                  | 0.00 0.01        | 0.01               | 0.01               | -                | -                  | 0.05               | 0.07       |
| 17,0 - 17,9           | -               | -                | -                | -               | -                  | -                  | -                | -                  | 0.01               | -                | -                  | 0.02               | 0.04       |
| 18,0 - 18,9           | -               | -                | -                | -               | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -                | -                  | 0.01               | 0.02       |
| 19,0 - 19,9           | -               | -                | -                | -               | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -          |
| 20,0 - 20,9           | -               | -                | -                | -               | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -          |
| 21,0 - 21,9           | -               | -                | -                | -               | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -          |
| 22,0 - 22,9           | -               | -                | -                | -               | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -          |
| 23,0 - 23,9           | -               | -                | -                | -               | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -          |
| 24,0 - 24,9           | -               | -                | -                | -               | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -          |
| 25,0 en hoger         | -               | -                | -                | -               | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -                | -                  | -                  | -          |

# C Situatie bladdragend en bladloze vegetatie, en jaargemiddeld

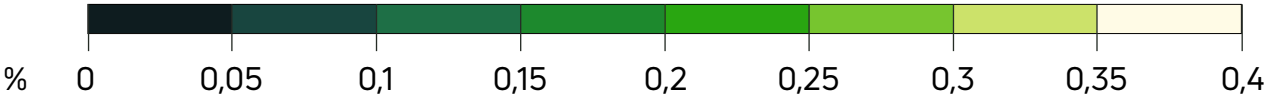
Windhinder in de toekomstige situatie



Windgevaar in de toekomstige situatie



Windgevaar  
Overschrijdingskans 15 m/s drempelsnelheid (%)

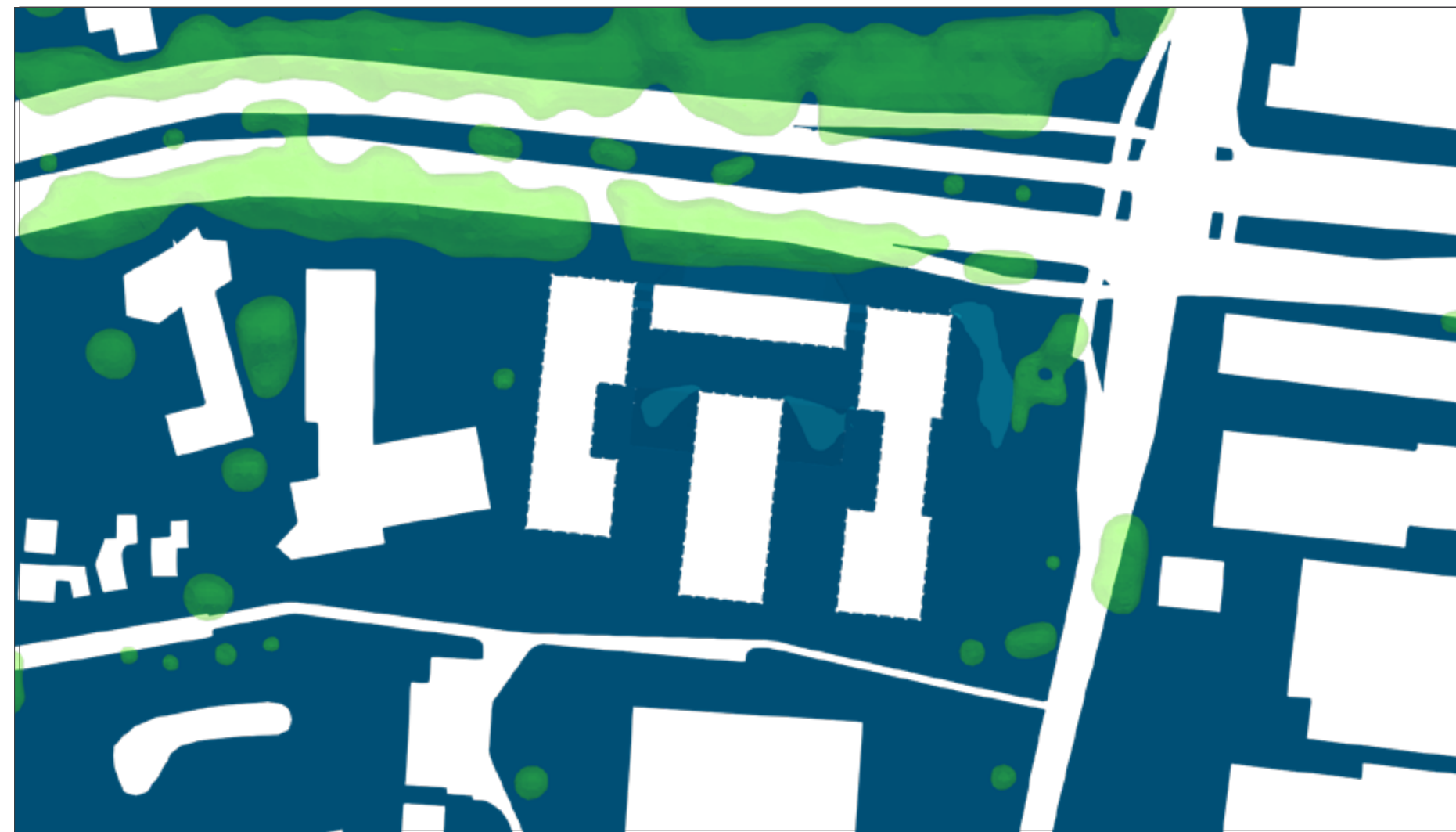
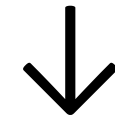


Windgevaar  
Overschrijdingskans 15 m/s drempelsnelheid (%)

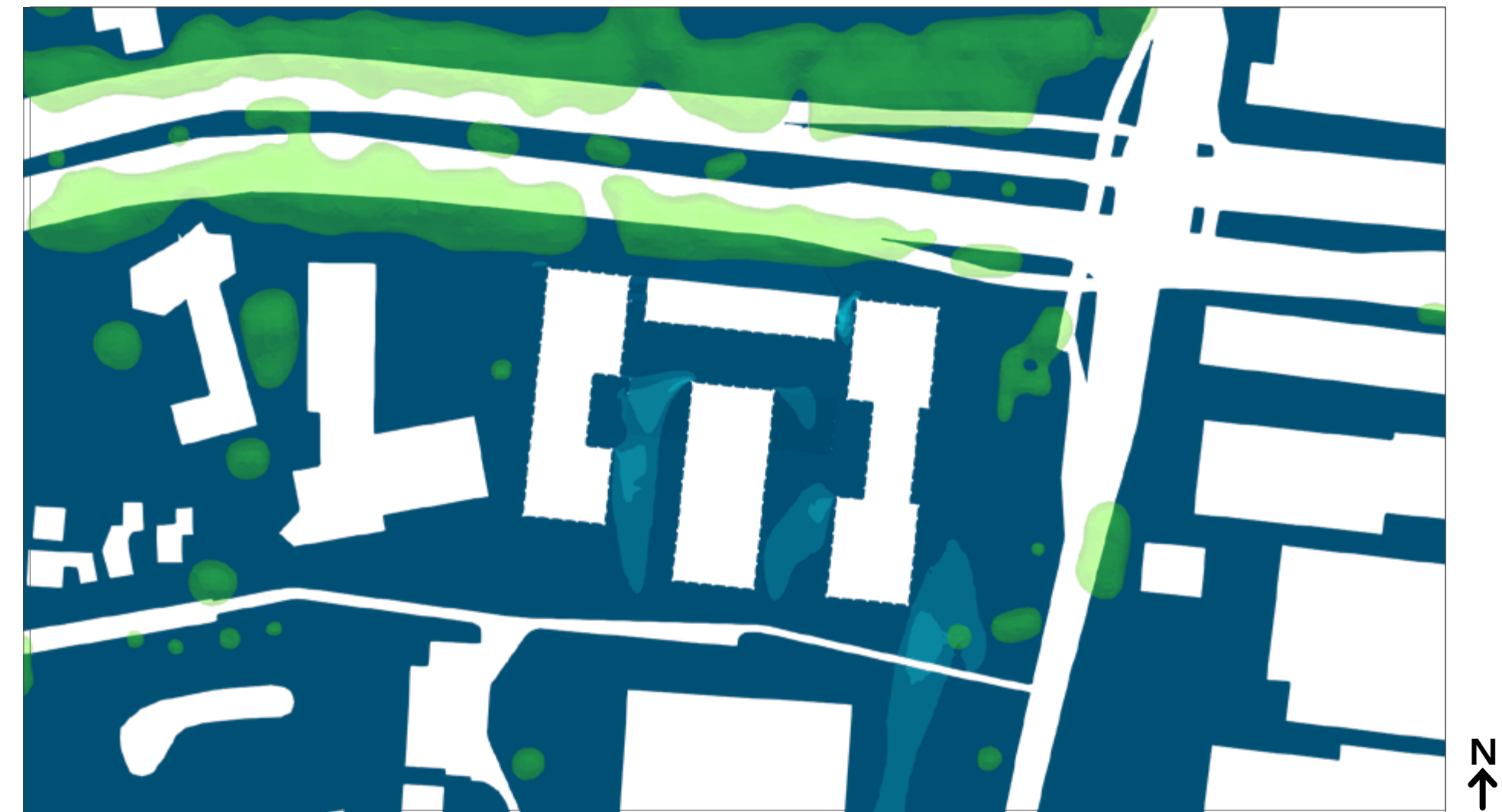


# D Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid voor individuele windrichtingen

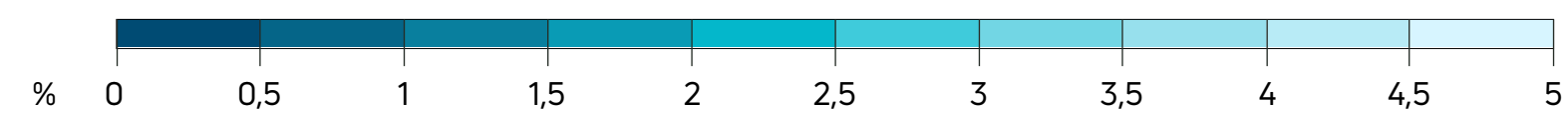
Windrichting:  
0° Noord



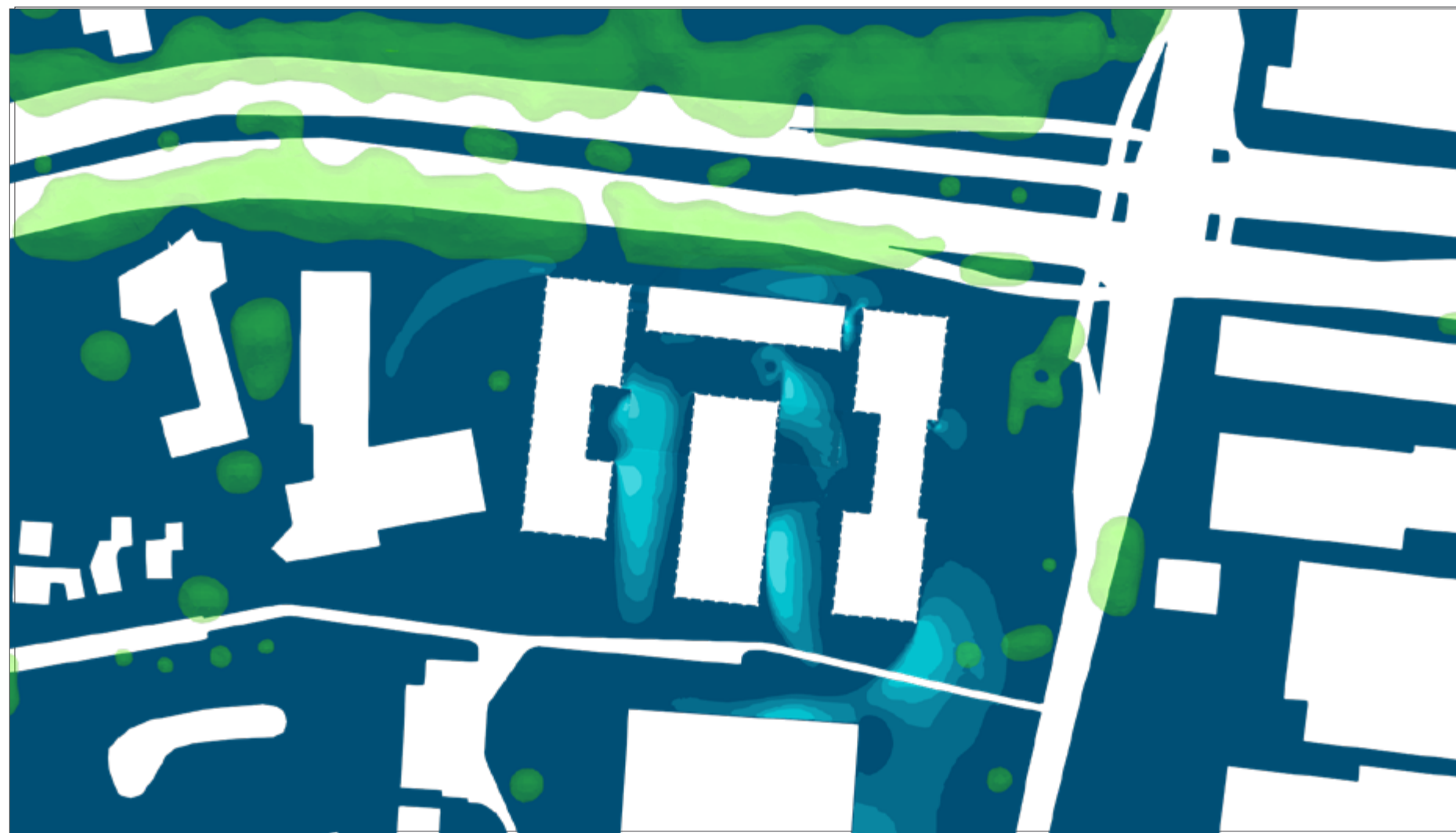
Windrichting:  
30° Noordnoordoost



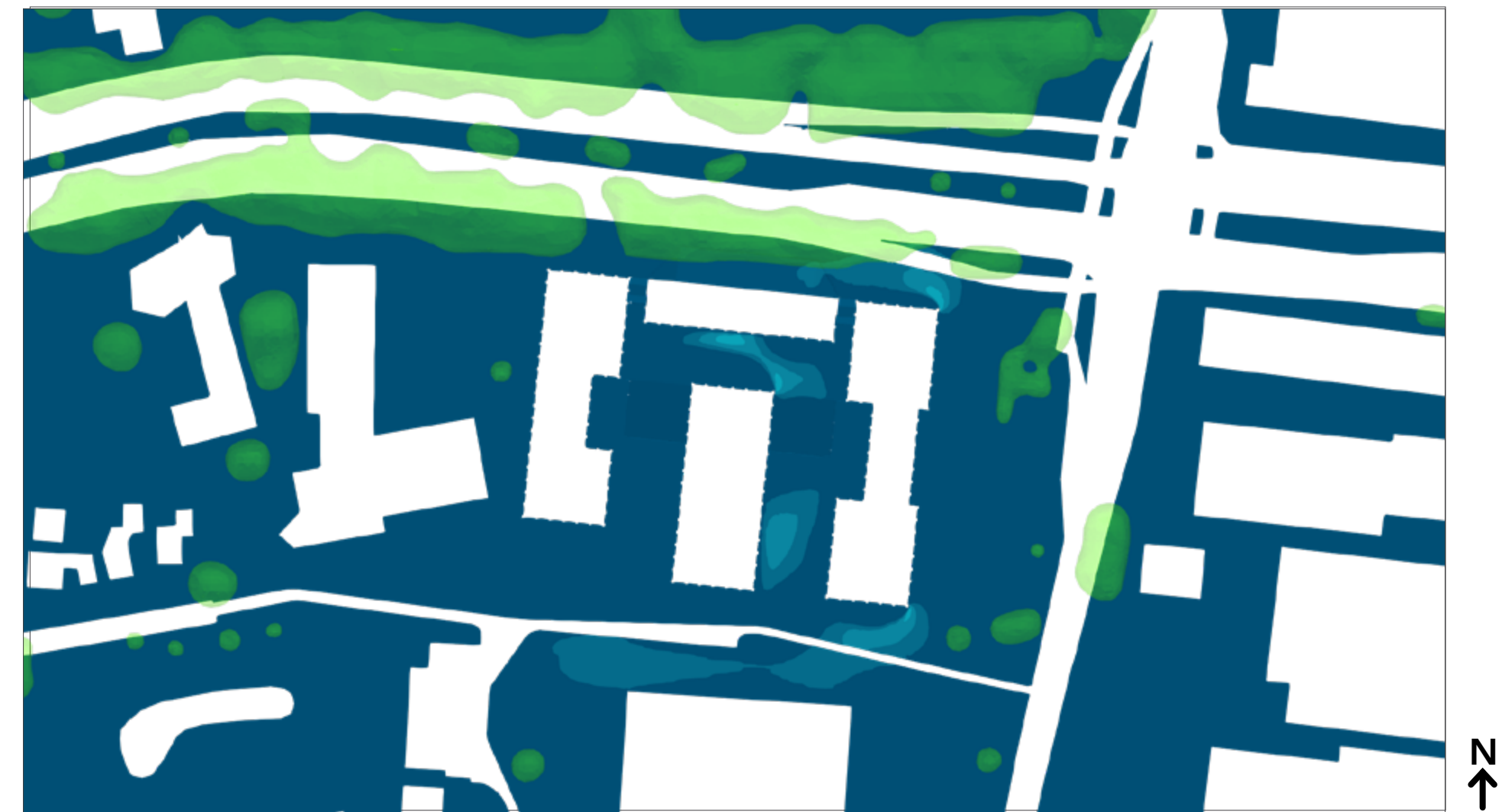
Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid (%)



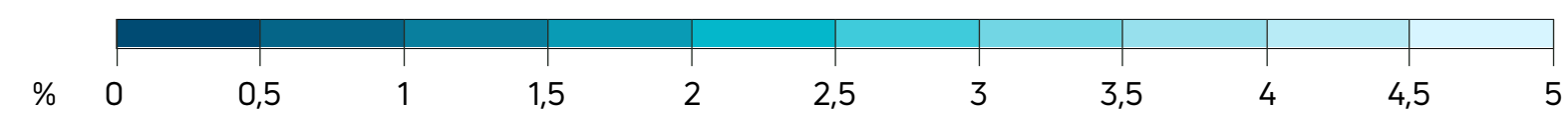
Windrichting:  
60° Oostnoordoost



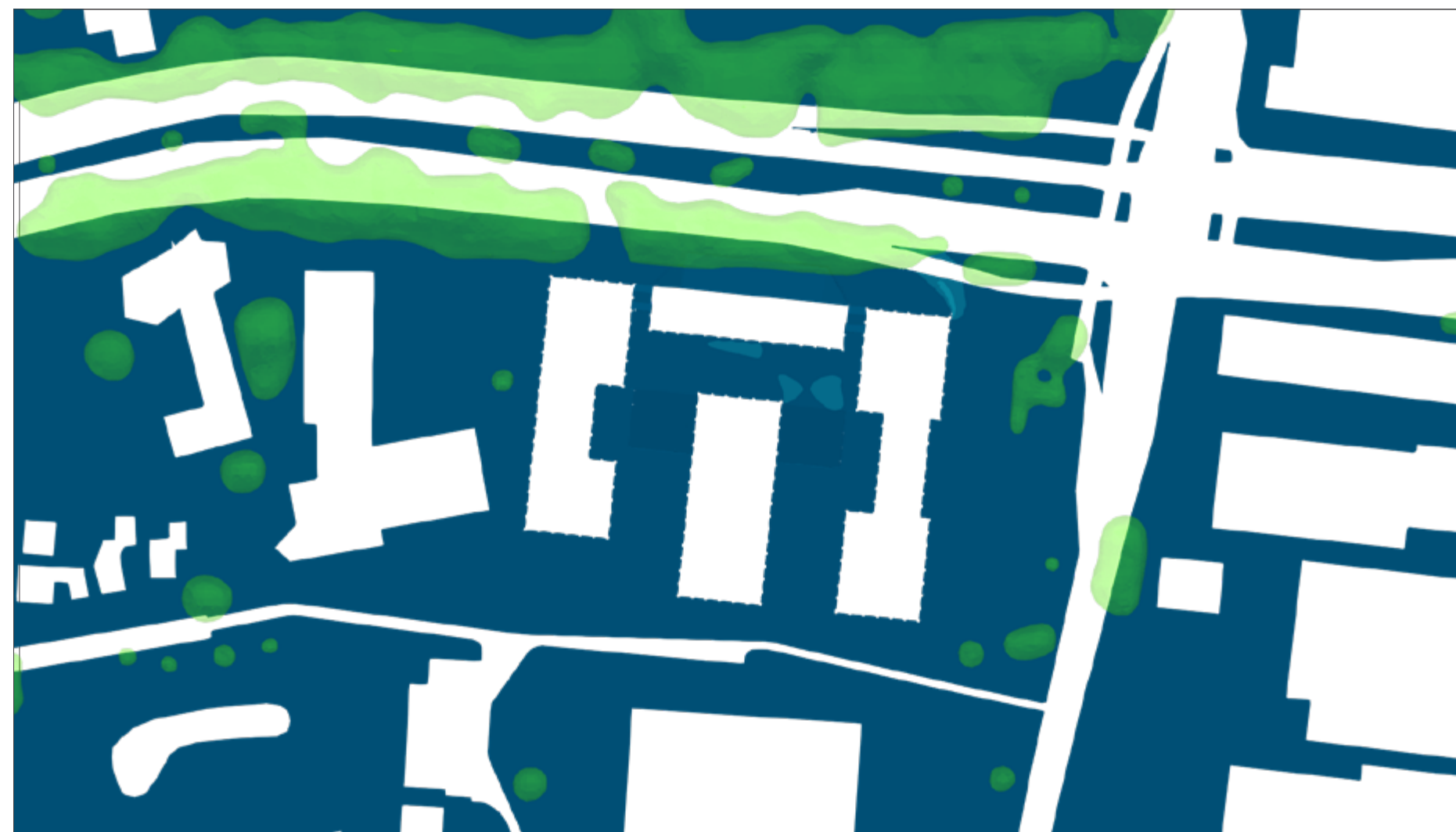
Windrichting:  
90° Oost



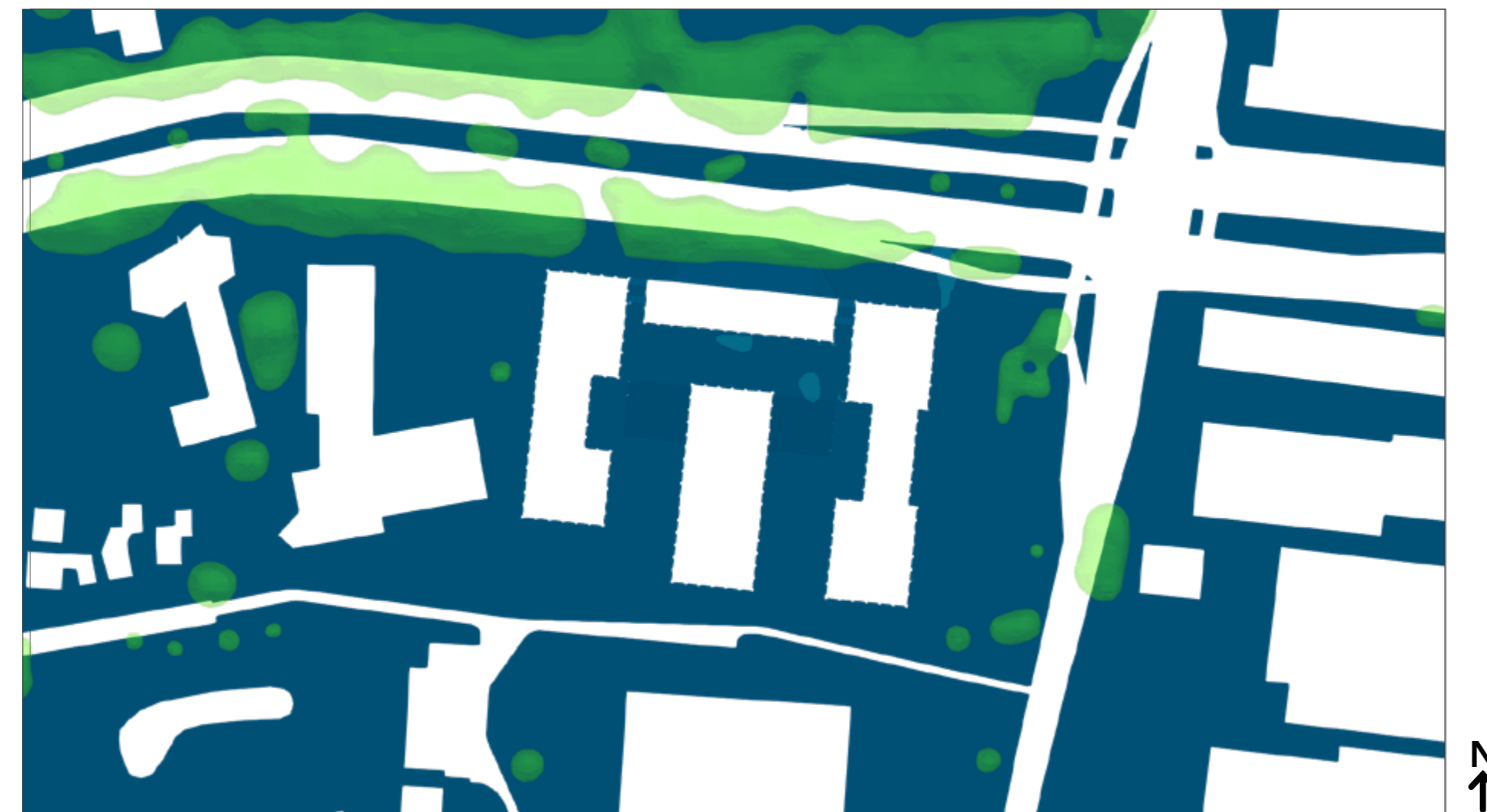
Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid (%)



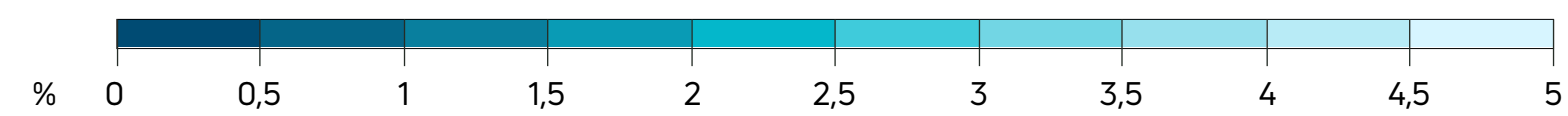
Windrichting:  
120° Oostzuidoost



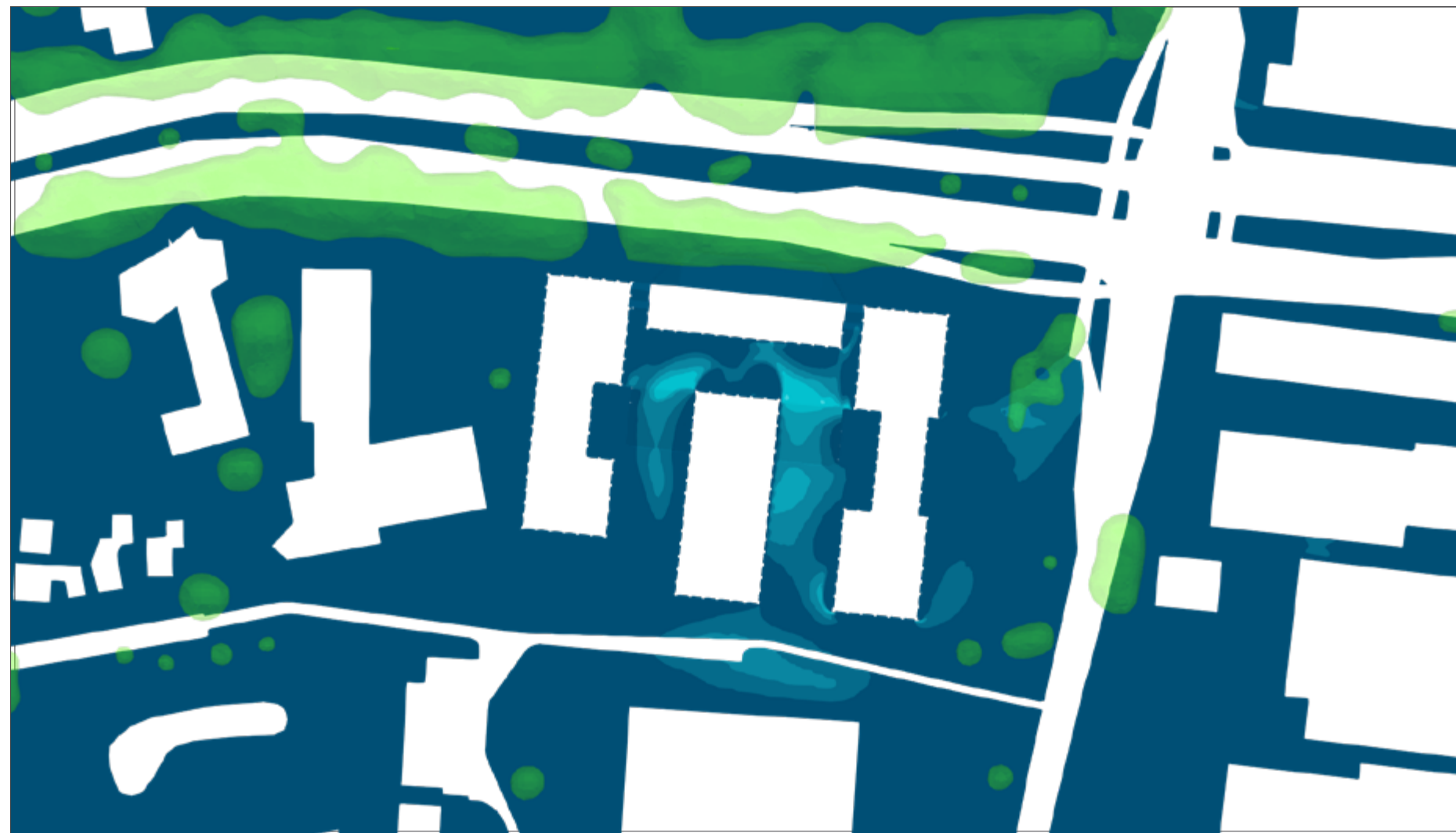
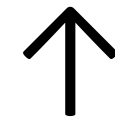
Windrichting:  
150° Zuidzuidoost



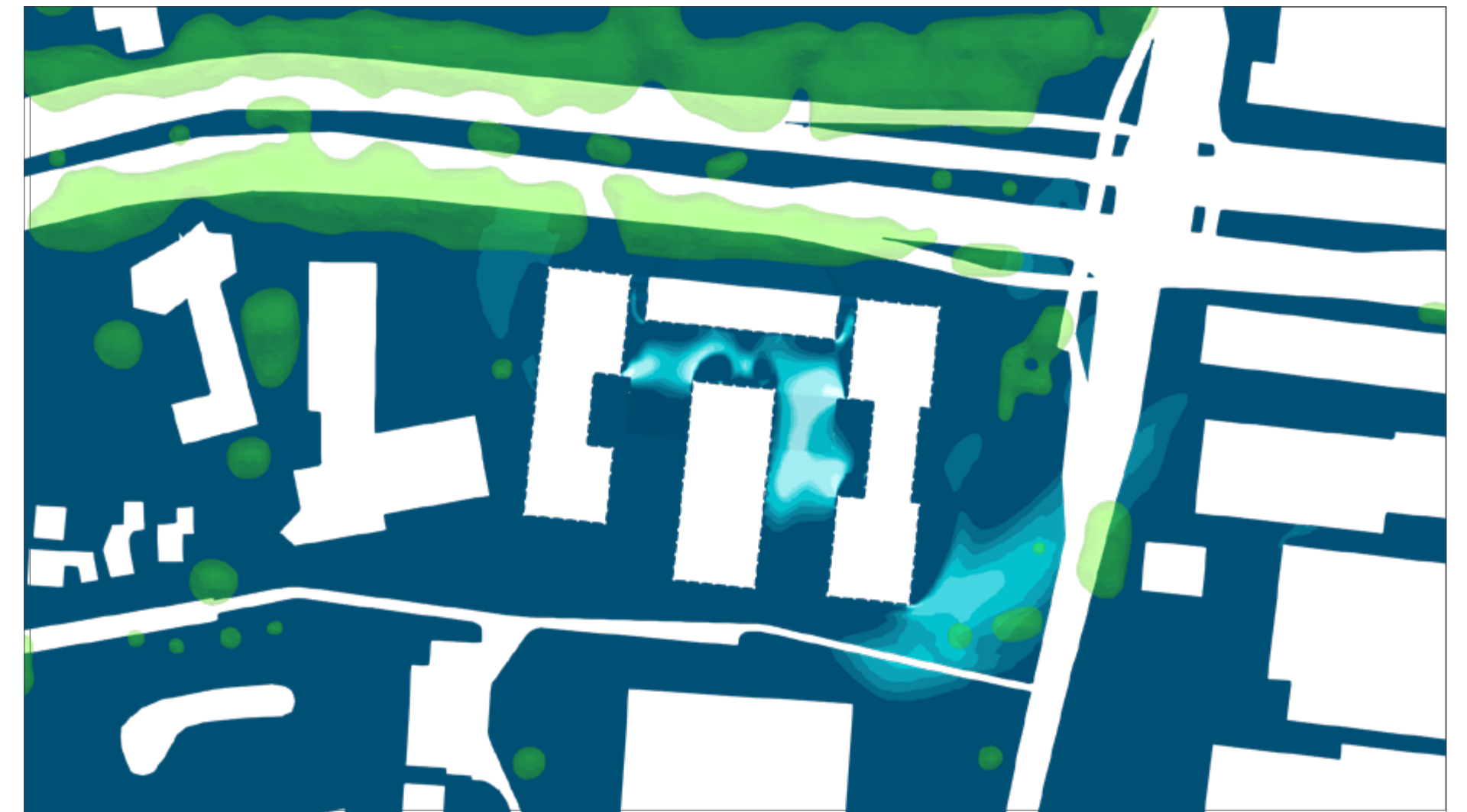
Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid (%)



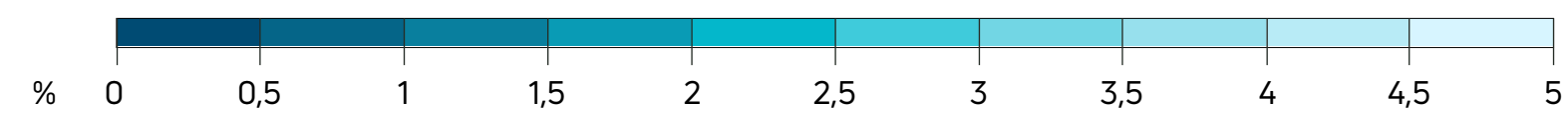
Windrichting:  
180° Zuid



Windrichting:  
210° Zuidzuidwest



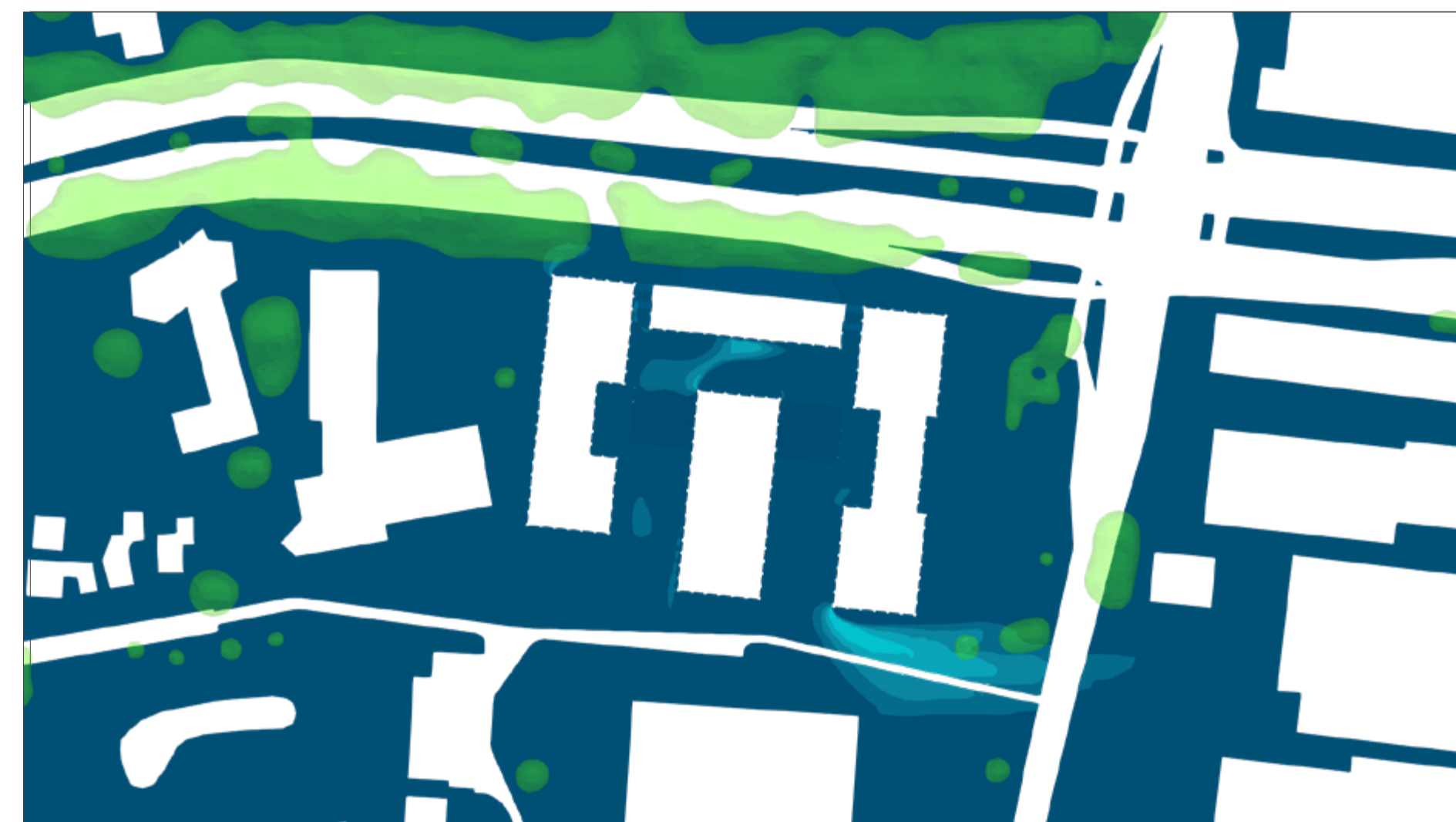
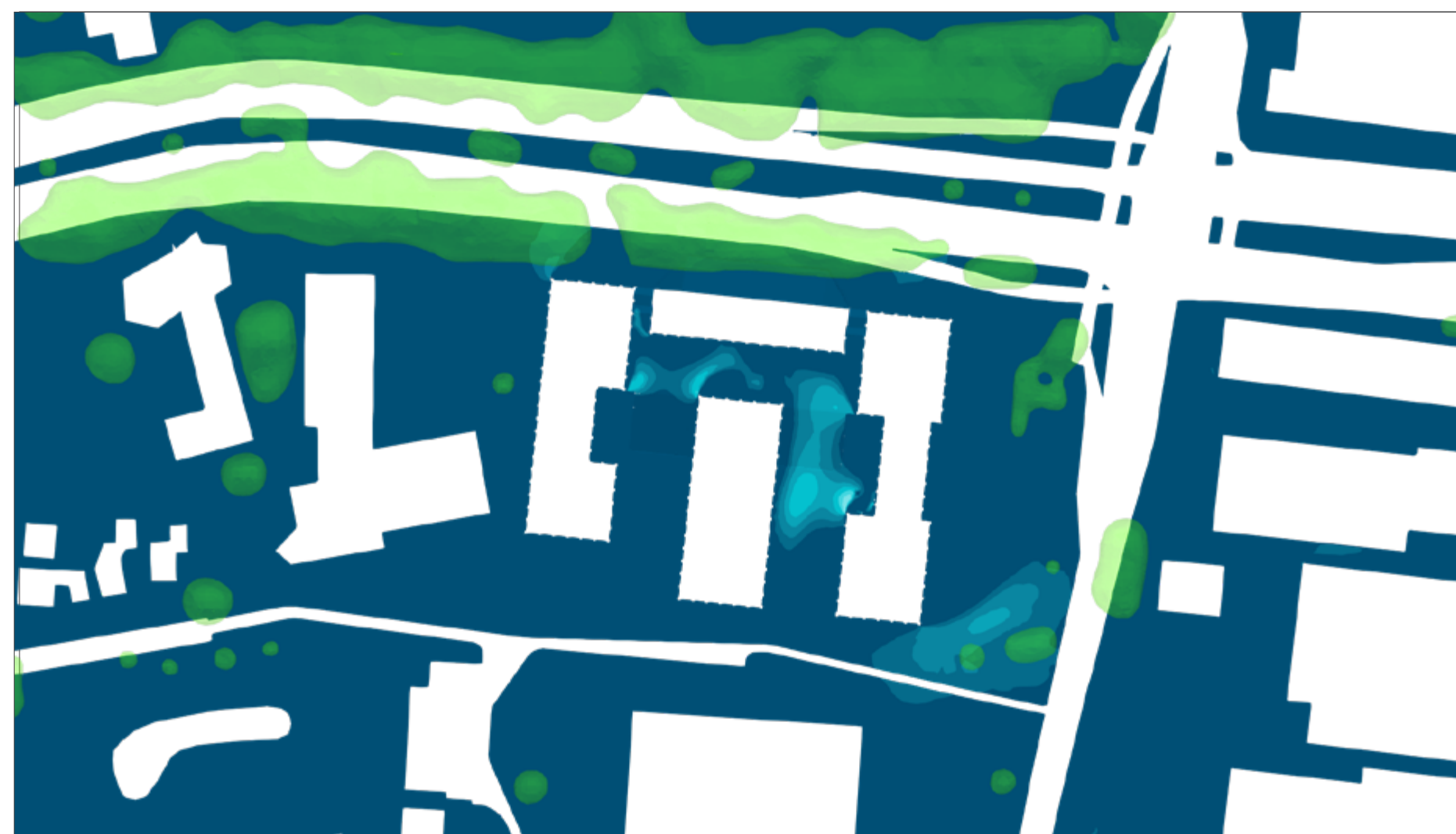
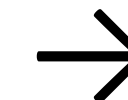
Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid (%)



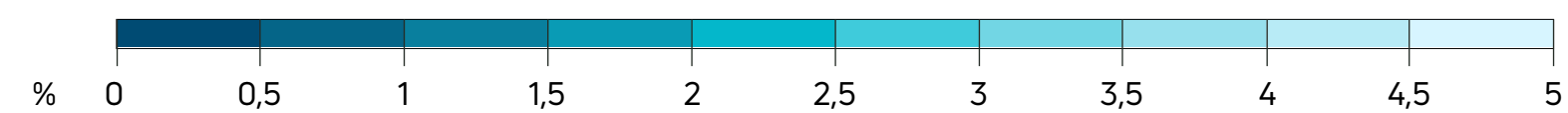
Windrichting:  
240° Westzuidwest



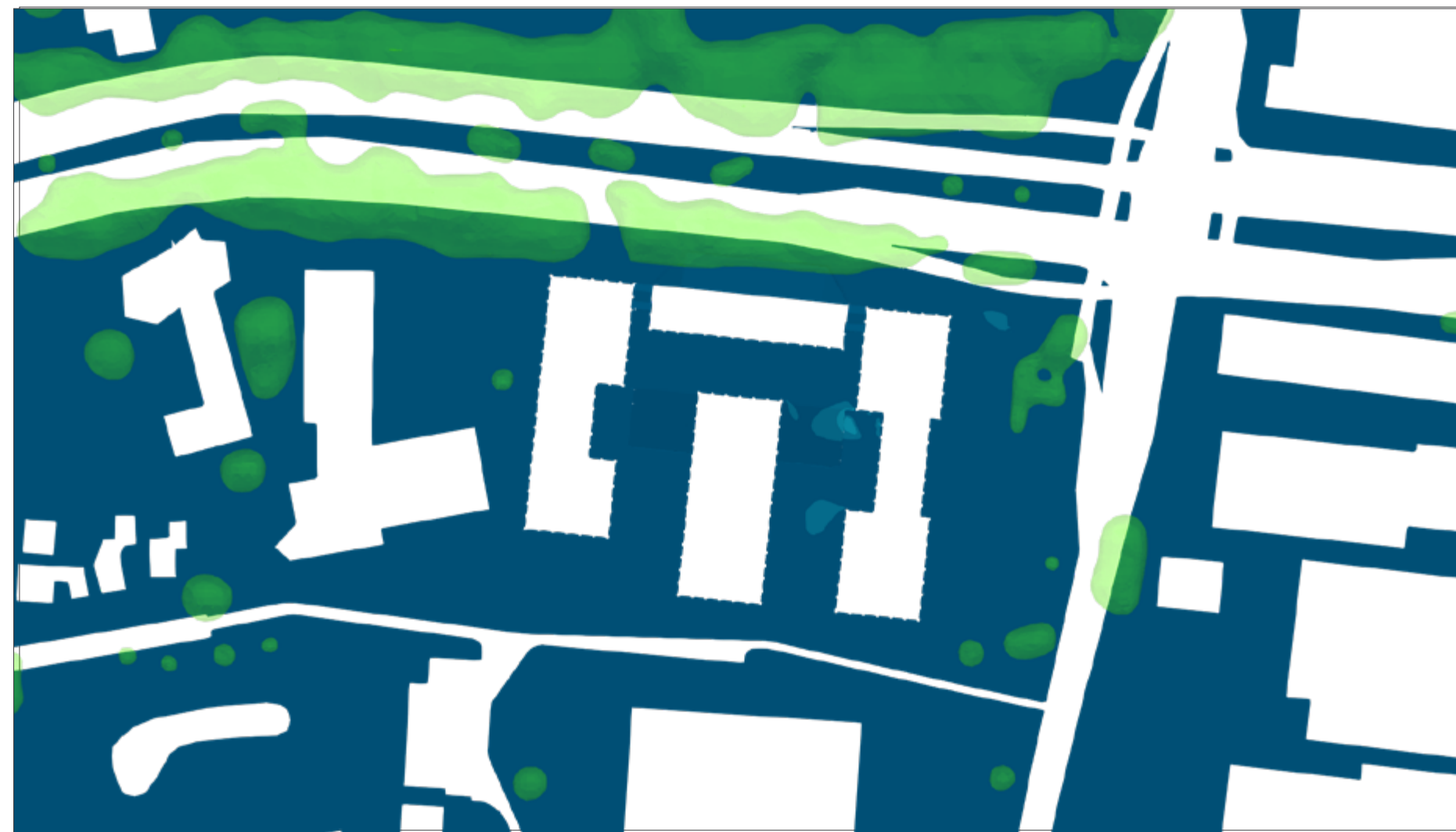
Windrichting:  
270° West



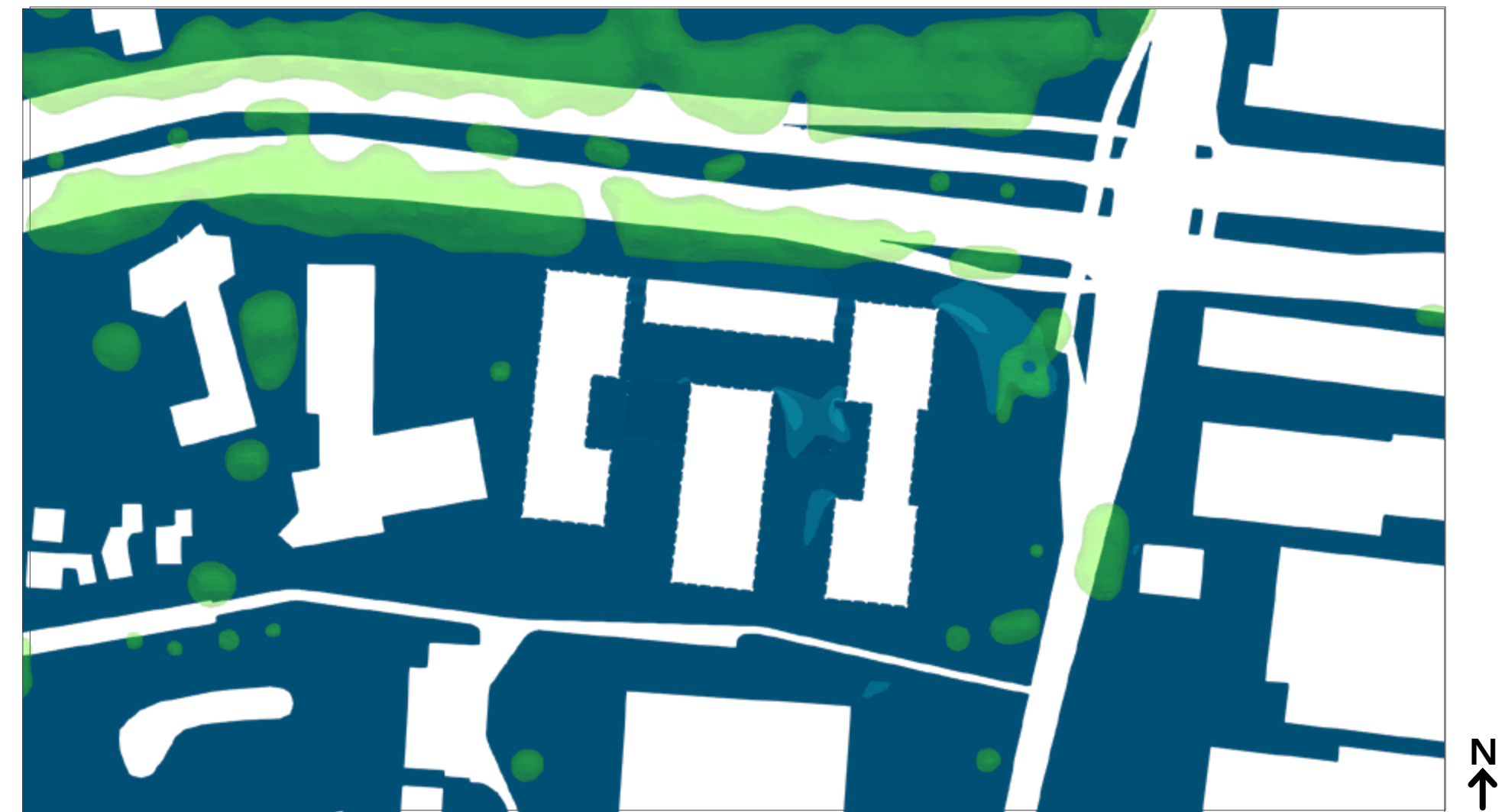
Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid (%)



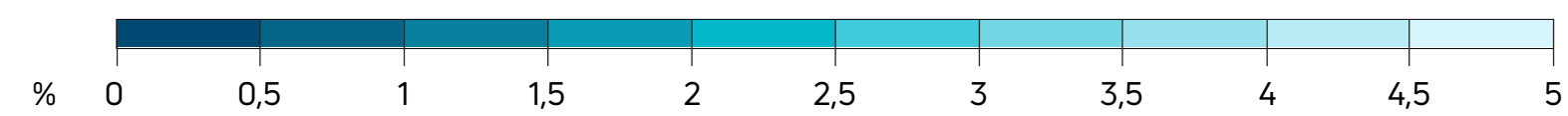
Windrichting:  
300° Westnoordwest



Windrichting:  
330° Noordnoordwest



Overschrijdingskans 5 m/s drempelsnelheid (%)





Actiflow BV

Tramsingel 5

4814 AB Breda

+31 (0)76 5422 220

[contact@actiflow.com](mailto:contact@actiflow.com)

[www.actiflow.com](http://www.actiflow.com)