

20 januari 2020

Pieter Vreedeplein te Tilburg

CFD onderzoek windklimaat



Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van de opdrachtgever. Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de DNR 2011, en naar de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

Pieter Vreedeplein te Tilburg

CFD onderzoek windklimaat

Dr. ir. Paul van Gent
Specialist

Contact
paul.van.gent@deerns.com
06 512 316 81

Deerns Nederland B.V.
Rijswijk, 20 januari 2020

Projectnr. RNL160.04926.00.0003
160-04926 Pieter Vreedeplein Onderzoek Windhinder 20200120

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Uitgangspunten	6
2.1	Algemene uitgangspunten	6
2.2	Omgeving plangebied	6
2.3	Windstatistiek	8
3	Beoordelingsmethodiek en -criteria	9
3.1	Windhinder	9
3.2	Windgevaar	10
4	Ambitieniveau	11
5	Rekenmodel	13
5.1	Software en algemene methodiek	13
5.2	Modellering van het gebied en de bebouwing	13
5.3	Windsnelheidsprofiel	18
5.4	Rekenrooster	18
6	Beoordeling windklimaat - straatniveau	20
6.1	Windhinder	20
6.2	Windgevaar	25
7	Windklimaat op hoog gelegen buitenruimtes	26
8	Conclusies en aanbevelingen	29
9	Bronnen	31
	Bijlage 1 Windstroming om gebouwen	32
	Bijlage 2 Technisch inlegvel voor numerieke simulatie	34

1 Inleiding

In opdracht van Winkelrondje Tilburg B.V. is onderzoek uitgevoerd naar het windklimaat op en rondom het Pieter Vreedeplein te Tilburg. Aan dit plein is nieuwbouw geprojecteerd naar ontwerp van Winhov/Happel Cornelisse Verhoeven. De hoogbouw heeft een maximale hoogte van ca. 63 meter. Dergelijke hoogbouw kan mogelijk tot windhinder of zelfs windgevaar voor personen op loopniveau leiden. Het is daarom van belang om de gevolgen van de hoogbouw op het windklimaat te bepalen en waar nodig maatregelen te treffen.

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van de NEN 8100 norm ('Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving'). Volgens deze norm, kan een windhinderonderzoek worden uitgevoerd met een schaalmodel in een windtunnel of met behulp van numerieke computersimulaties (CFD, Computational Fluid Dynamics). Dit onderzoek maakt gebruik van deze laatste methode. Het onderzoek richt zich op het windklimaat op loopniveau rondom de geprojecteerde hoogbouw. Twee situaties worden onderzocht:

1. De geprojecteerde situatie met hoogbouw.
2. De huidige planologische situatie (conform het bestemmingsplan), d.w.z. een 15 m hoog gebouw met een footprint als de hoogbouw.

De invloed van bomen op en rond het Pieter Vreedeplein wordt in beide varianten meegenomen.

Voorliggende rapportage beschrijft de uitgangspunten, de methodiek en bevindingen van dit onderzoek. Achtereenvolgens komen de volgende onderwerpen aan bod:

- Hoofdstuk 2 – Uitgangspunten
- Hoofdstuk 3 – Beoordelingsmethodiek en -criteria
- Hoofdstuk 4 – CFD-rekenmodel
- Hoofdstuk 5 – Beoordeling van windklimaat op straatniveau
- Hoofdstuk 6 – Windklimaat op hoog gelegen buitenruimtes
- Hoofdstuk 7 – Conclusie en aanbevelingen

In bijlage 1 is algemene achtergrondinformatie opgenomen over windklimaat in de gebouwde omgeving.

Met bijlage 2 is een technisch inlegvel toegevoegd met de voornaamste uitgangspunten voor de CFD-modellering.

2 Uitgangspunten

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten gegeven die zijn gehanteerd bij dit onderzoek.

2.1 Algemene uitgangspunten

- De beoordeling is uitgevoerd aan de hand van de norm: NEN 8100 'Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving'. Deze norm en de bijbehorende toetsingscriteria worden in hoofdstuk 3 toegelicht.
- Conform deze norm wordt de NPR 6097:2006 gebruikt om de windstatistiek ter plaatse van het onderzoeksgebied te bepalen.
- Het gebouw is gemodelleerd op basis van het aangeleverde 3D-modellen en tekeningen van de geprojecteerde nieuwbouw, d.d. 26 september 2018.
- De omgeving van het gebouw is gedeeltelijk gemodelleerd op basis van een aangeleverde model (december 2019). De overige omgeving is gemodelleerd aan de hand van Actuele Hoogtebestand Nederland. Dit bestand, verkregen met laseraltimetrie, bevat de hoogte van het terrein en de gebouwen met een resolutie van 0,5 m x 0,5 m (<https://ahn.arcgisonline.nl/ahnviewer/>)
- Specifieke uitgangspunten aangaande de CFD-modellering en -simulaties worden in hoofdstuk 4 separaat toegelicht. In bijlage 2 is hiertoe ook een technisch inlegvel opgenomen met een overzicht van de uitgangspunten.

2.2 Omgeving plangebied

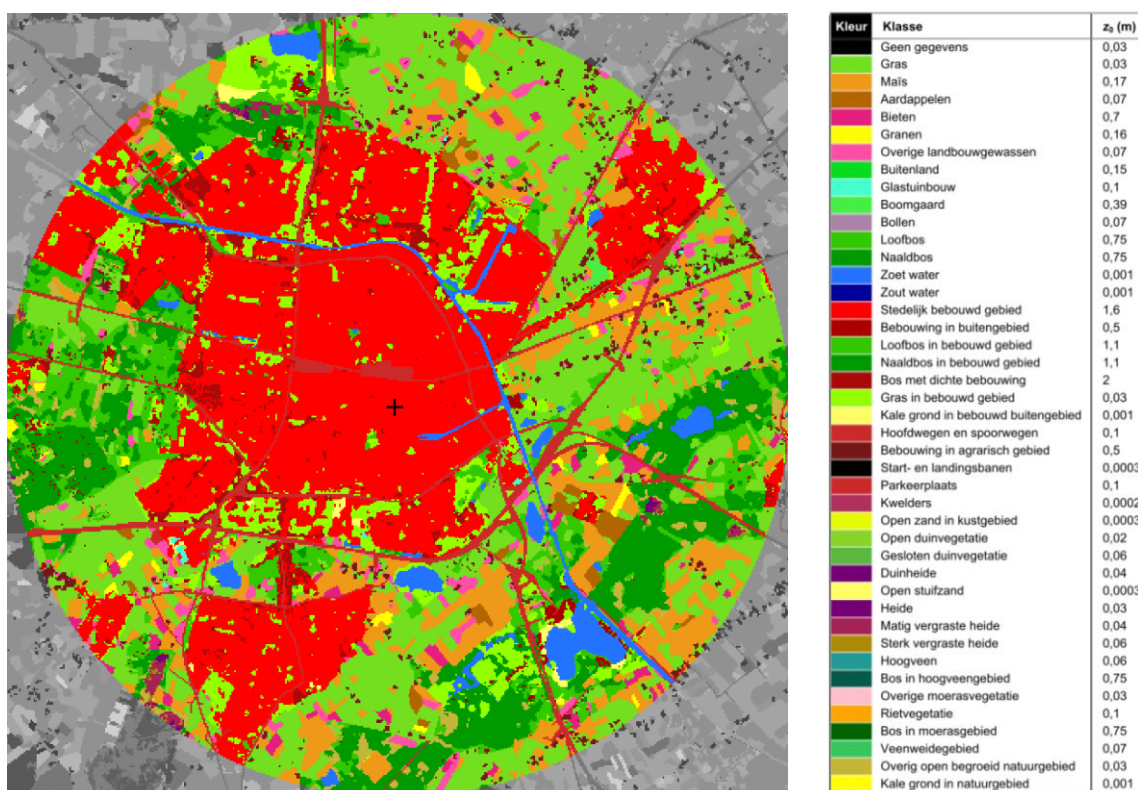
Gebouwen en bomen in de ruimere omgeving om het gebouw hebben invloed op het windklimaat. Ze beïnvloeden het verticale snelheidsprofiel van de aanstromende wind. Zo waait het bij een gelijke windsnelheid aan de rand van de stad harder dan op gelijke hoogte in een stedelijke omgeving.

Figuur 2-1 laat een satellietbeeld zien van de omgeving van het plangebied. Een oranje cirkel geeft het gebied weer binnen een straal van 300 meter van de planlocatie. Gebouwen in dit gebied zijn expliciet opgenomen in het rekenmodel.

Figuur 2-2 geeft een overzicht van het landgebruik binnen een straal van 6 km met informatie over de ruwheid van het terrein. Uit alle richtingen stroomt de wind aan over een bebouwde omgeving.



Figuur 2-1. Omgeving van het plangebied (rood); oranje cirkel geeft gebied tot 300 m van het plangebied weer (bron: Google Earth)

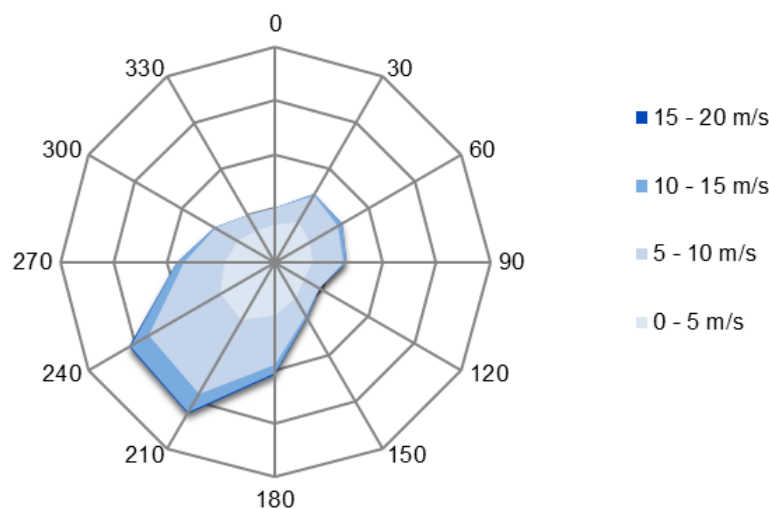


Figuur 2-2. De landgebruikskaart met ruwheidsinformatie in de omgeving van het plangebied.

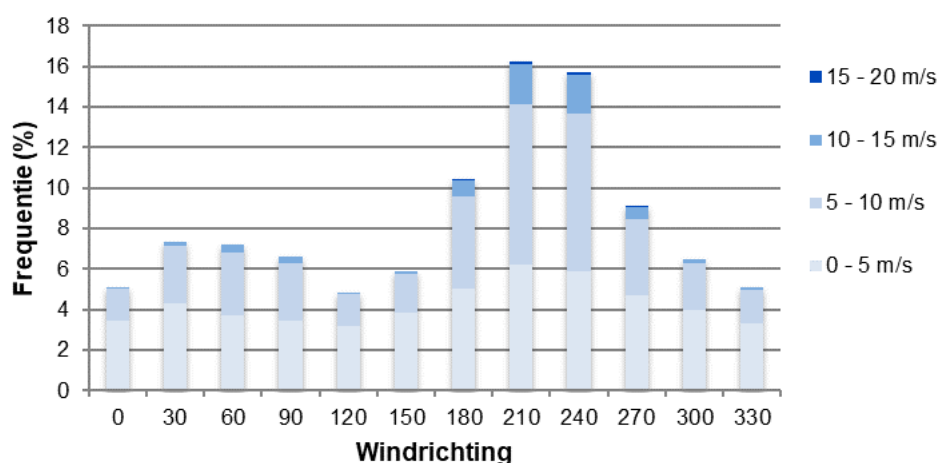
2.3 Windstatistiek

De aanstromende wind naar een gebouw is van grote invloed op het windklimaat op loopniveau. Zo waait het aan de kust harder dan in het binnenland, waardoor de windsnelheid op loophoogte bij gebouwen aan de kust groter zal zijn dan bij vergelijkbare gebouwen in het binnenland.

Zoals voorgeschreven door de NEN 8100 is de lokale windstatistiek voor de planlocatie bepaald volgens de NPR 6097:2006. De NPR 6097 geeft de windstatistiek op 60 meter hoogte voor twaalf windrichtingen (in stappen van 30°). Uit de windstatistiek (Figuur 2-3 en Figuur 2-4) blijkt dat de windrichtingen uit het zuidwesten overheersend zijn. Ongeveer 50% van de tijd komt de wind uit de richtingen tussen zuid en west. Ook de hoogste windsnelheden komen bij deze windrichtingen voor. Deze overheersende windrichtingen zullen daarom in grote mate het windklimaat op de locatie bepalen. Dit betekent niet dat wind uit een andere richtingen geeft effect heeft.



Figuur 2-3. Windroos van de windstatistiek op 60 m hoogte de locatie van het plangebied.



Figuur 2-4. Staafdiagram van de windstatistiek op 60 m hoogte de locatie van het plangebied.

3 Beoordelingsmethodiek en -criteria

De beoordeling van het windklimaat is uitgevoerd aan de hand van de norm NEN 8100 'Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving'. In de norm wordt onder andere aangegeven in welke situaties windonderzoek noodzakelijk geacht wordt en worden criteria (richtlijnen) voor de beoordeling van het windklimaat gegeven.

3.1 Windhinder

Het criterium voor de beoordeling van windhinder is uit de volgende onderdelen opgebouwd:

- Een drempelsnelheid van 5 m/s*
Het blijkt dat bij windsnelheden boven circa 5 m/s mechanische effecten een rol gaan spelen: het haar verwaait, kleding en paraplu's worden door de wind bewogen.
- Een overschrijdingskans van de drempelsnelheid*
Hoe vaker de drempelsnelheid van 5 m/s overschreden wordt, hoe slechter het windklimaat ervaren zal worden. Aan de kans dat de drempelsnelheid overschreden wordt, zijn 5 kwaliteitsklassen (A tot en met E) gekoppeld (zie Tabel 3-2). Klasse A staat voor de hoogste comfortklasse en klasse E voor het laagste kwaliteitsniveau.
- Windhindergevoeligheid van de activiteit die men op een locatie onderneemt*
De gevoeligheid van personen voor windhinder is afhankelijk van de activiteit die men onderneemt. Sommige activiteiten zijn meer windhindergevoelig dan andere. Er worden bij de beoordeling van windhinder drie 'activiteiten' onderscheiden, zie Tabel 3-1. Afhankelijk van de activiteit en de kwaliteitsklasse wordt in Tabel 3-2 aangegeven of het lokale windklimaat als goed, matig of slecht beoordeeld moet worden.

De eisen voor 'langdurig zitten' zijn niet bedoeld voor horeca-terrassen. Voor dergelijke terrassen zijn vrijwel altijd windschermen en/of luifels nodig om een goed windklimaat te creëren.

Naast de voor een bepaald gebied kenmerkende activiteiten (doorlopen / slenteren) speelt bij de beoordeling van het windklimaat de fysieke gesteldheid van mensen een rol. Gezonde jonge mensen kunnen over het algemeen meer discomfort verdragen dan oudere of zieke mensen of jonge kinderen.

Tabel 3-1. Activiteiten voor de beoordeling van windhinder

Activiteit	Gevoeligheid voor windhinder	Voorbeelden
Doorlopen	Niet/nauwelijks gevoelig	Parkeerterrein, trottoir
Slenteren	Wel gevoelig	Entree, park, winkelstraat
Langdurig zitten	Meest gevoelig	Bankje, balkon

Tabel 3-2. Criteria voor windhinder conform NEN 8100

Kans dat de drempel-snelheid (5 m/s) overschreden wordt [% van aantal uren per jaar]	Kwaliteits-klasse	Activiteiten en beoordeling windklimaat		
		Doorlopen (niet windhinder-gevoelig)	Slenteren (wel windhinder-gevoelig)	Langdurig zitten (meest windhinder-gevoelig)
< 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

3.2 Windgevaar

Bij 'windgevaar' komen dusdanig hoge windsnelheden voor dat mensen ernstige problemen ondervinden tijdens het lopen en waarbij een windvlaag mensen kunnen doen vallen. Bij windvlagen neemt de snelheid in korte tijd toe tot ruim 1,5 maal de uurgemiddelde windsnelheid. De beoordeling van windgevaar wordt op eenzelfde manier opgebouwd als de beoordeling van windhinder. Er wordt een drempelsnelheid van 15 m/s (uurgemiddelde windsnelheid) aangehouden en een indeling zoals aangegeven in Tabel 3-3.

Tabel 3-3. Criteria voor windgevaar conform NEN 8100

Kans dat de drempelsnelheid (15 m/s) overschreden wordt [% van aantal uren per jaar]	Kwalificatie
< 0,05 %	Geen gevaar, voldoet
0,05 - 0,3 %	Beperkt risico
> 0,3 %	Gevaarlijk

Alle situaties met een overschrijdingskans van groter dan 0,30 % van de tijd zijn gevaarlijk en moeten vermeden te worden. Een 'beperkt risico' is slechts acceptabel bij niet windhindergevoelig gebruik, dat wil zeggen in doorloopgebieden of voor plekken waar geen activiteit zal plaatsvinden (geen entrees, loop of fietsroutes). Voor de activiteiten slenteren en langdurig zitten is een beperkt risico op gevaar niet acceptabel.

4 Ambitieniveau

In hoofdstuk 3 is aangegeven worden verschillende eisen gesteld voor 'doorloopgebieden', 'slentergebieden' en gebieden voor 'langdurig zitten'. Binnen het plan zijn een aantal gebieden waarin een bepaalde kwaliteit van het windklimaat verlangd wordt. De onderverdeling wordt gegeven in Tabel 4-1. Figuur 4-1 laat de locatie van de deelgebieden zien.

Tabel 4-1. Ambitieniveau op deelgebieden

Type gebied	Motivatie, ambitieniveau	
Doorlopen	Het binnenterrein ten zuiden en oosten van de nieuwbouw is niet toegankelijk voor het publiek. Het windklimaat in niet-toegankelijke gebieden is normaalgesproken voor rekening van de gebruikers van die gebieden. Het is voor dergelijke gebieden in principe niet nodig aan eisen voor de openbare ruimte te voldoen. Het gebied is niettemin beoordeeld als 'doorloopgebied'. - Ambitieniveau: C (goed); - Minimaal niveau: D (matig).	
	Gebieden beoordeeld als doorloopgebied:	Locatie gebied
	1. Binnenterrein	Ten zuiden en oosten van de nieuwbouw
Slenteren	Omdat de nieuwbouw geprojecteerd is in een winkelgebied zullen mensen daar mogelijk rustig lopen en even stil blijven staan. Het windklimaat in de straten rondom de nieuwbouw is daarom beoordeeld voor 'slenteren'. - Ambitieniveau: B (goed); - Minimaal niveau: C (matig).	
	Gebieden beoordeeld als slentergebied:	Locatie gebied
	2. Winkelgebied	Straten rondom de nieuwbouw
Langdurig zitten	Op het Pieter Vreedeplein zullen mensen langere tijd zitten op bankjes en terrasjes. Het Pieter Vreedeplein is daarom beoordeeld voor 'langdurig zitten'. De eisen voor 'langdurig zitten' zijn overigens niet bedoeld voor horeca-terrassen. Voor dergelijke terrassen zijn vrijwel altijd windschermen en/of luifels nodig om een goed windklimaat te creëren. - Ambitieniveau: A (goed); - Minimaal niveau: B (matig).	
	Gebieden beoordeeld als langdurig zitten gebied:	Locatie gebied
	3. Pieter Vreedeplein	Ten noorden van de nieuwbouw



Figuur 4-1. Bovenaanzicht van de planlocatie met indicatie van deelgebieden met verschillende ambitieniveaus

5 Rekenmodel

Computational fluid dynamics (CFD), of numerieke stromingsleer in het Nederlands, refereert naar een groep rekenmethodieken voor het oplossen van stromingsvergelijkingen. Kenmerkend aan deze methodieken is dat de stroming wordt opgedeeld in kleine cellen die samen het rekenrooster ('mesh' of 'grid') vormen. Voor elke cel worden vergelijkingen opgesteld voor het behoud van massa, momentum, en, afhankelijk van het model, energie. Voor alle cellen samen ontstaat zo een groot stelsel van vergelijkingen dat iteratief wordt opgelost.

In dit hoofdstuk worden de specifieke uitgangspunten en rekenmethodes van de gebruikte CFD-methodiek geschreven. Een overzicht wordt ook gegeven in het ingevulde inlegvel uit de NEN 8100:2006 in bijlage 2.

5.1 Software en algemene methodiek

Voor het huidige onderzoek is gebruik van het softwarepakket PHOENICS FLAIR-EFS (versie 2019), dat specifiek is ontwikkeld voor het uitvoeren van windstudies. De gemiddelde stroming voor elke windrichting is berekend op basis van de Reynolds-gemiddelde Navier-Stokes vergelijkingen (RANS). Kleine turbulente stromingsschalen zijn gemodelleerd met het standaard k- ϵ model. De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van het tweede orde discretisatie schema (MUSCL, Monotonic Upwind Scheme for Conservation Law; Van Leer, 1979). Per simulatie zijn gemiddeld 6000 iteraties uitgevoerd, waardoor geconvergeerde oplossingen van de stromingsvergelijkingen zijn verkregen.

Afzonderlijke simulaties zijn uitgevoerd voor de twaalf windrichtingen. Ter bepaling van de overschrijdingspercentages op de verschillende posities, worden de resultaten van de twaalf afzonderlijke simulaties gewogen met de winddistributie bij de corresponderende windrichtingen. Zo kan per positie een percentage van de tijd worden bepaald waarop de criteria / drempelsnelheden voor windhinder (5 m/s) en windgevaar (15 m/s) worden overschreden.

5.2 Modelleren van het gebied en de bebouwing

De NEN 8100 definieert de invloedssfeer van een bouwwerk als het gebied rondom het bouwwerk met een straal van zesmaal de hoogte van het bouwwerk, met een maximum van 300 m. In het huidige onderzoek is de bebouwing in de invloedssfeer (het kerngebied) expliciet opgenomen in het model (zie Figuur 5-1 t/m Figuur 5-4). De hoogte van de bebouwing loopt geleidelijk op vanaf het maaiveld vanaf een afstand van 400 m vanaf de hoogbouw zodat de werkelijke hoogte wordt bereikt op een afstand van 300 m. De geometrie van de bebouwing is verkregen uit een aangeleverd 3D model en het Actuele Hoogtebestand Nederland. Dit laatste bestand bevat de hoogte van het terrein en de gebouwen met een resolutie van 0,5 m x 0,5 m. Het weglaten van details aan de gevels en de daken is ondervangen door de oppervlaktes van de gebouwen een typische ruwheid te geven. Dezelfde strategie is gebruikt voor details op de bodem (wegen, stoepen, enz.).

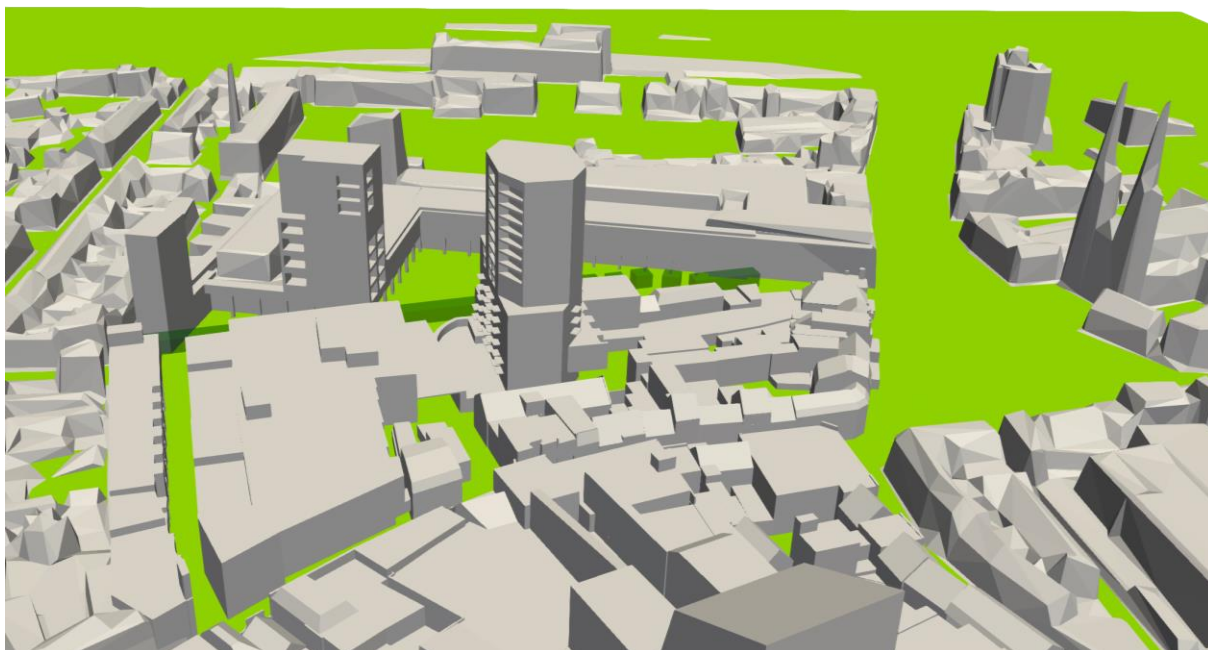
Bomen in het model zijn niet weergegeven in de onderstaande figuren, maar wel in de figuren met resultaten in hoofdstuk 5. De bomen zijn gemodelleerd als relatief klein en dun begroeid. De begroeiing heeft een diameter van 5 m, en bevindt zich van 4 tot 8 meter boven de grond.

Gebouwen buiten het kerngebied zijn niet expliciet opgenomen in het model. In plaats daarvan is het effect van de bebouwing ('ruwheid') meegenomen in het snelheidsprofiel van de aanstromende wind (zie ook paragraaf 4.4).

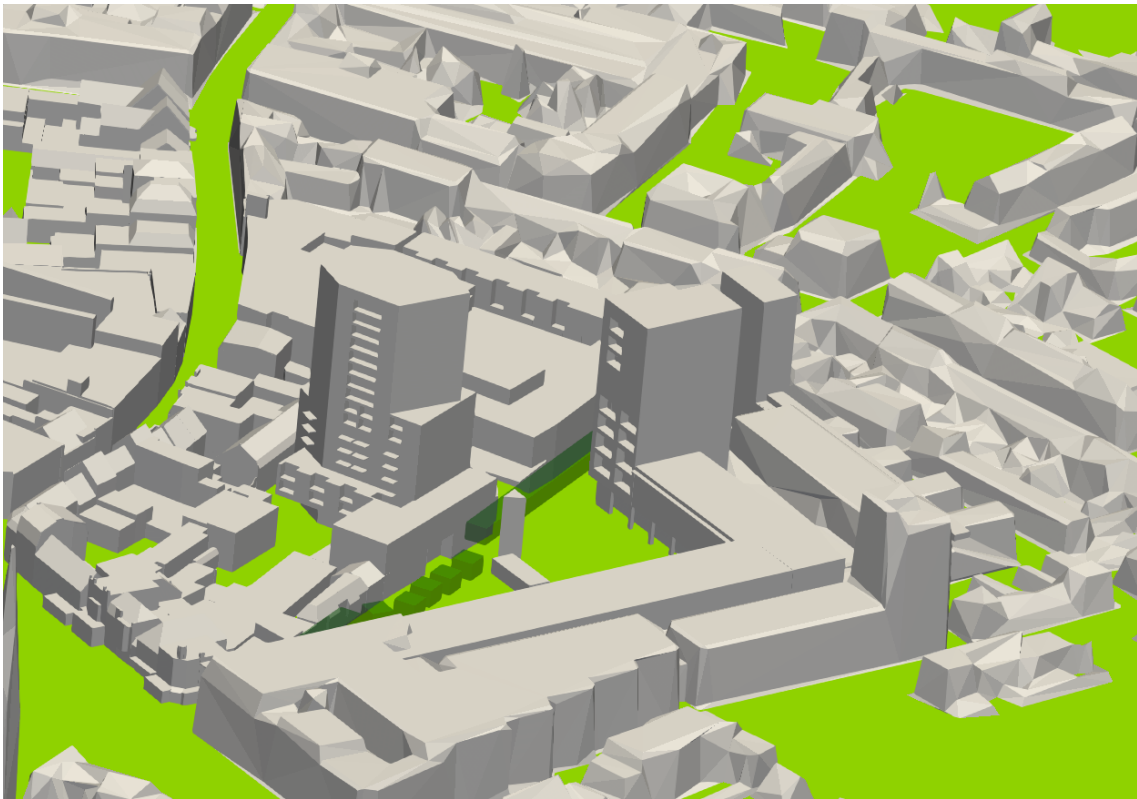
Berekeningen zijn uitgevoerd voor een gebouwhoogte van 59 meter. In een later ontwerpstadium is de gebouwhoogte bepaald op 63 meter. Deze aanpassing is gering en heeft geen merkbaar gevolg voor het windklimaat.



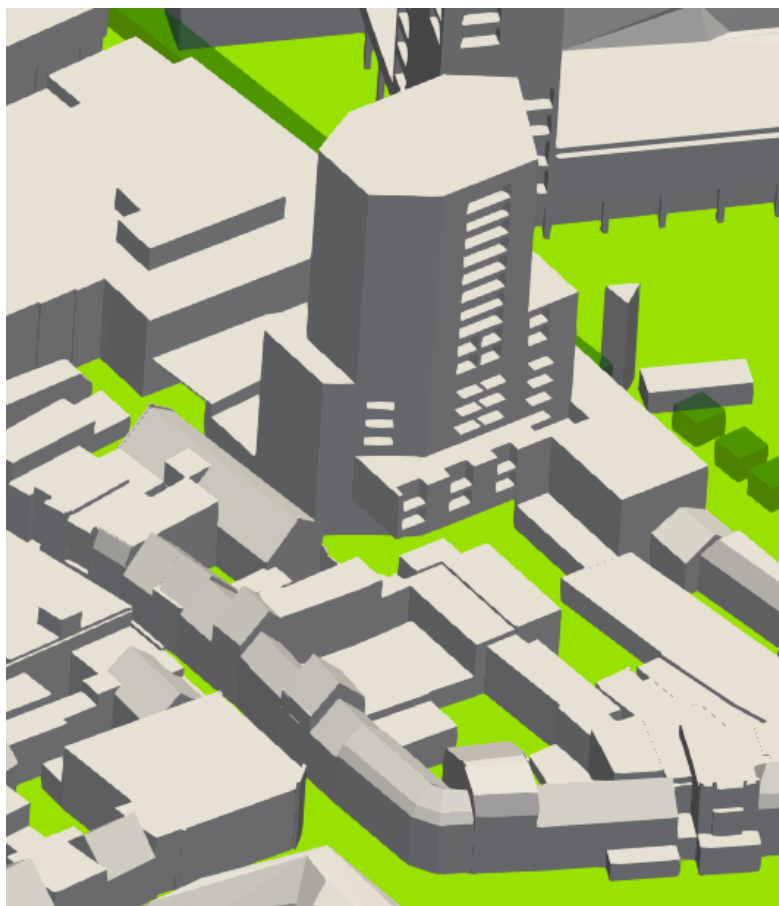
Figuur 5-1. Kerngebied met bebouwing



Figuur 5-2. Details van geprojecteerde nieuwbouw (1)



Figuur 5-3. Details van geprojecteerde nieuwbouw (1)



Figuur 5-4. Details van geprojecteerde nieuwbouw (2)

5.3 Windsnelheidsprofiel

Het snelheidsprofiel van de aanstromende wind ($U(z)$), oftewel het verloop van de snelheid met hoogte, is beschreven door middel van een logaritmisch windprofiel (Richards & Hoxey, 1993).

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

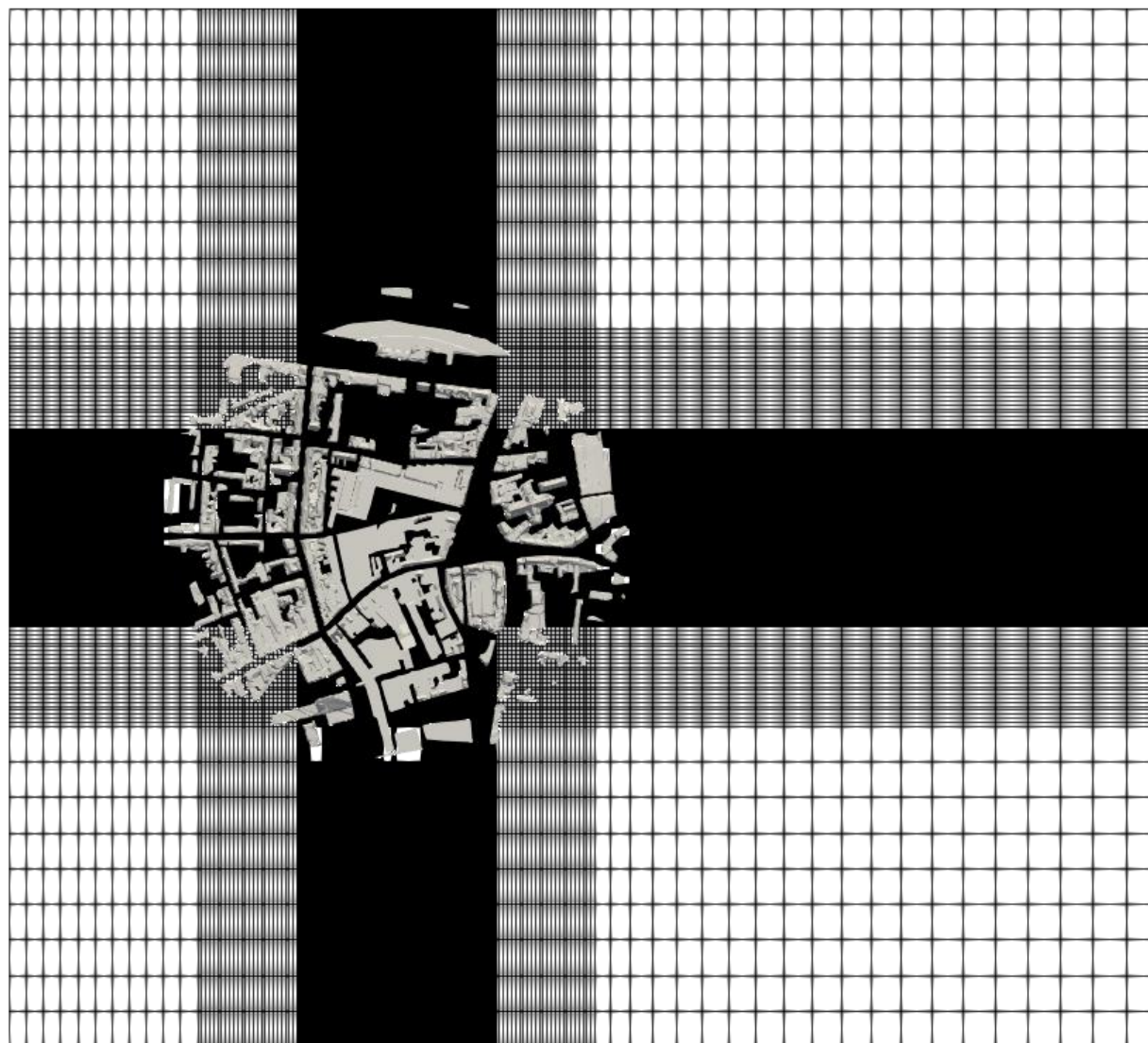
Hierbij is:

- z de afstand van de grond, in meters
- U^* de wrijvingssnelheid, in m/s
- κ constante van Von Karman: 0,41
- z_0 de ruwheidslengte, in m

Voor alle windrichtingen is een ruwheidslengte (z_0) van 1,0 m op basis van het landgebruik en de ruwheidsclassificatie van Wieringa (1992) (paragraaf 2.3).

5.4 Rekenrooster

Het rekenmodel gebruikt een rechthoekig rekenrooster van 4,5 miljoen cellen (zie Figuur 5-5). In de directe omgeving rondom het gebouw is het rooster verfijnd tot een resolutie van 1 m². De uitkomst van een validatie-simulatie met een dubbele resolutie week niet significant af van de uitkomst verkregen met de standaard resolutie. Het rekendomein is met 1740 m x 1570 m x 335 m (L x B x H) aanzienlijk groter dan het kerngebied om ongewenste invloeden van de grenzen van het domein te voorkomen. De afmetingen zijn gekozen, zodat wordt voldaan aan de richtlijnen zoals voorgesteld in wetenschappelijke literatuur (Franke et al. 2007, Tominaga et al. 2011, Blocken, 2015). Het rooster is zo gedefinieerd, dat de toetsingshoogte zich bevindt in de vierde cel vanaf de bodem van het domein, overeenkomstig de richtlijnen zoals beschreven in Blocken (2015). Het rooster is niet aangepast aan de geometrie van de bebouwing, wat ondervangen wordt door het gebruik van de 'immersed boundary method', SPARSOL, beschikbaar in de gebruikte PHOENICS software.



Figuur 5-5. Rekenrooster, bovenaanzicht; volledig domein.

6 Beoordeling windklimaat - straatniveau

In dit hoofdstuk worden de berekende verwachting voor het voorkomen van windhinder gepresenteerd en beoordeeld.

6.1 Windhinder

Figuur 6-1 geeft de kwaliteitsklasse van het windklimaat op 1,75 m hoogte weer met de hoogbouw op het Pieter Vreedeplein weer. Bomen zijn weergegeven in transparant donkergroen. Figuur 6-2 laat de zien in de situatie de huidige planologische situatie (nieuwbouw van 15 m hoogte met een footprint als de hoogbouw).

Vergelijking tussen geprojecteerde en planologische situatie

Vergelijking tussen Figuur 6-1 (kwaliteitsklasse met hoogbouw) en Figuur 6-2 (kwaliteitsklasse met nieuwbouw van 15 m hoogte) maakt het mogelijk om het effect van de hoogbouw op het windklimaat te bepalen. Dit blijkt significant voor twee locaties:

- De omgeving van de hoek schuin tegenover ingang van de passage;
- Het binnenterrein ten zuiden en westen van de nieuwbouw.

Hieronder wordt het windklimaat beoordeeld in de geprojecteerde situatie met hoogbouw op basis van de ambitieniveaus zoals beschreven in hoofdstuk 4.

Het Pieter Vreedeplein

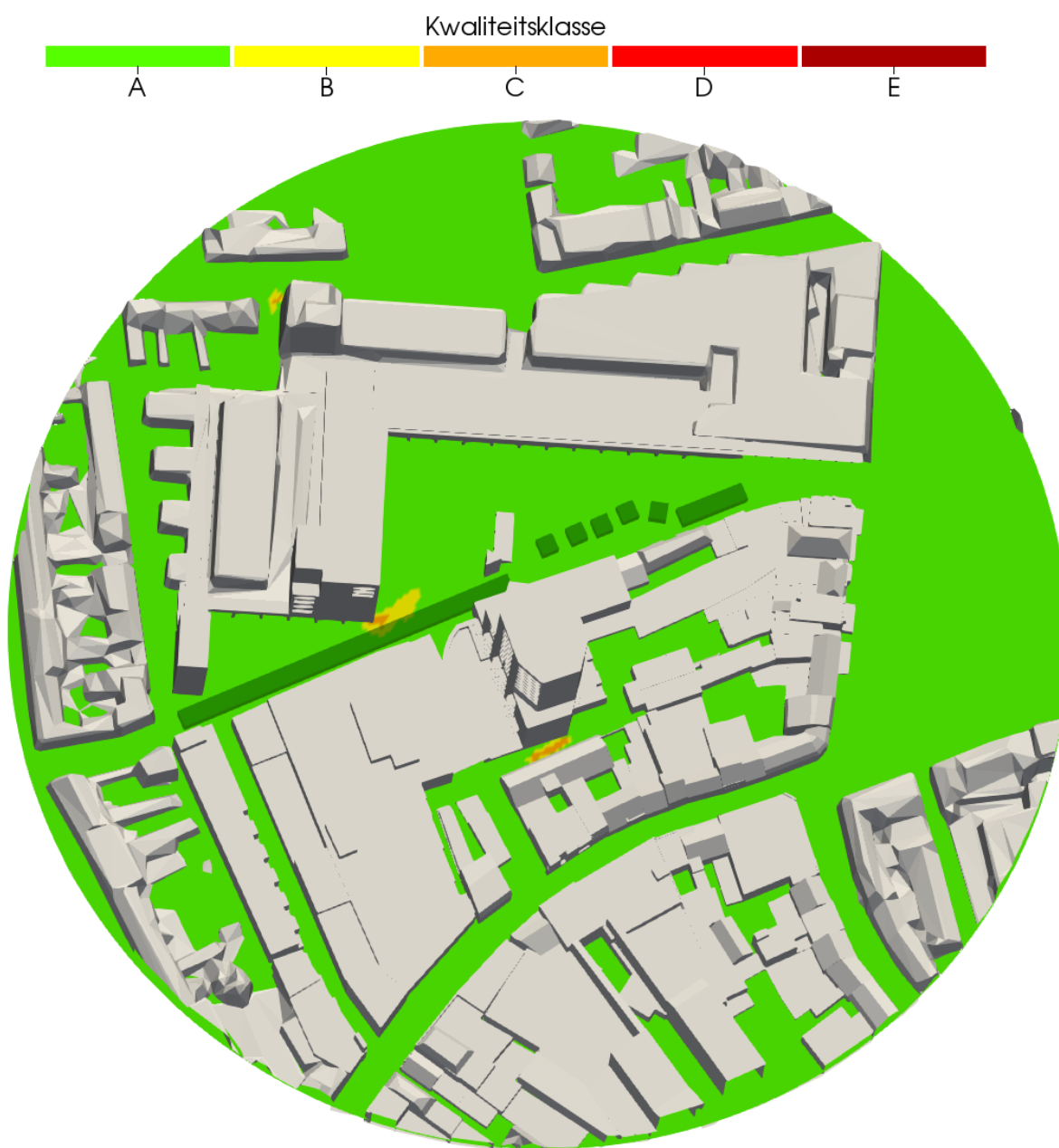
Op het Pieter Vreedeplein wordt een goed windklimaat voor zitten verwacht, met uitzondering van de omgeving van de hoek schuin tegenover ingang van de passage.

Winkelgebied rondom de nieuwbouw

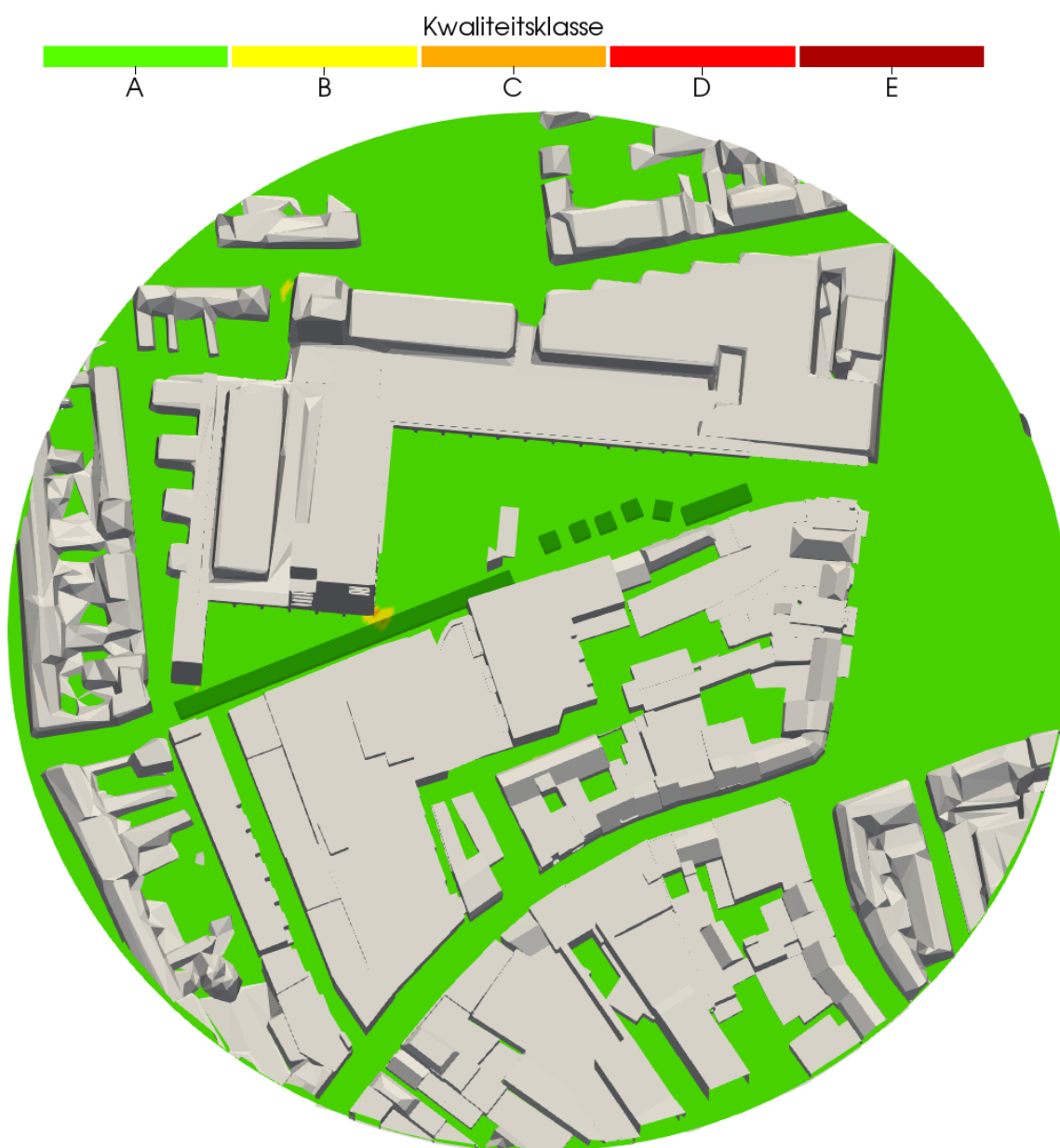
In het winkelgebied rondom de nieuwbouw bestaat een goed windklimaat voor slenteren en zitten, met uitzondering van de omgeving van de hoek schuin tegenover ingang van de passage. Daar is het windklimaat voor slenteren matig.

Binnenterrein ten zuiden en ten oosten van de nieuwbouw

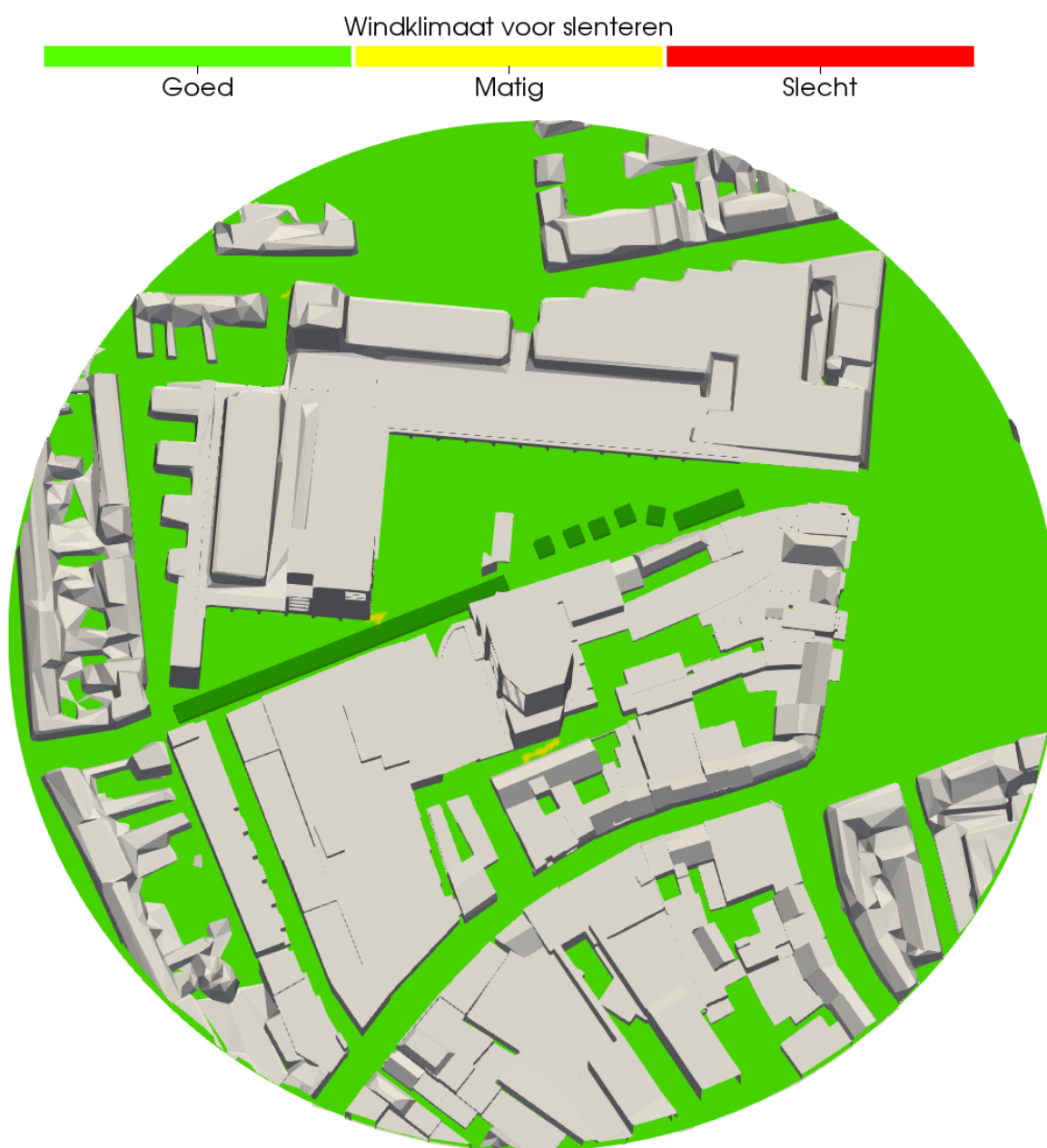
In de open ruimte ten oosten van de nieuwbouw is het windklimaat voor doorlopen goed. In het straatje ten zuiden van de nieuwbouw is het windklimaat voor doorlopen goed.



Figuur 6-1. Kwaliteitsklasse van windklimaat; geprojecteerde situatie; bovenaanzicht.



Figuur 6-2. Kwaliteitsklasse van windklimaat; planologische situatie; bovenaanzicht.



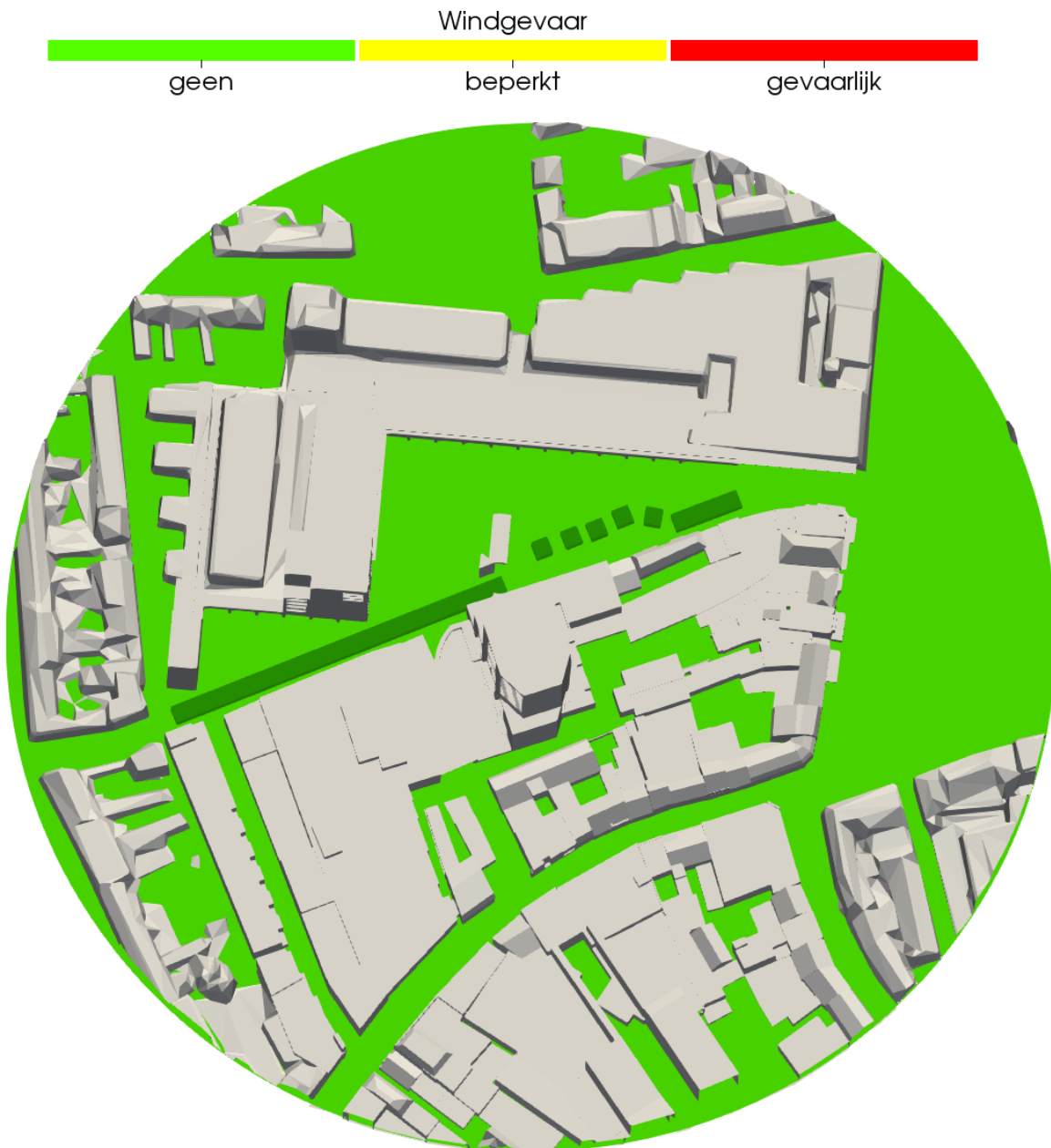
Figuur 6-3. Boordeling van windklimaat voor de activiteit 'slenteren'; geprojecteerd situatie; bovenaanzicht.



Figuur 6-4. Boordeling van windklimaat voor de activiteit 'langdurig zitten'; geprojecteerde situatie; bovenaanzicht.

6.2 Windgevaar

Figuur 6-5 toont het verwachte risico op windgevaar in de geprojecteerde situatie met hoogbouw. De resultaten laten geen risico op windgevaar zien.



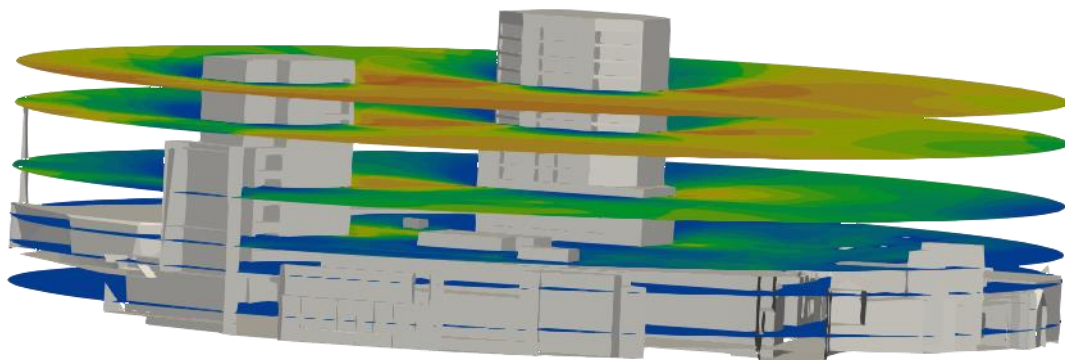
Figuur 6-5. Windgevaar; geprojecteerde situatie; bovenaanzicht.

7 Windklimaat op hoog gelegen buitenruimtes

Het plaatsen van het gebouw in de geprojecteerde situatie zou een significante invloed kunnen hebben op het windklimaat op nabij gelegen buitenruimtes, specifiek in de loggia's van de tegenoverliggende hoogbouw. Om dit te onderzoeken wordt de kans op windsnelheden hoger dan 5 m/s vergeleken tussen de geprojecteerde situatie en de planologische situatie (met een gebouw van 15 meter). Figuur 7-1 laat de hoogtes zien waarop de overschrijdingskans wordt vergeleken in Figuur 7-2. Voor de duidelijkheid van de figuren toont Figuur 7-2 alleen het gecombineerde resultaat voor zuidwestelijke wind (210° en 240°). Uit deze richtingen is de wind het krachtigst en frequentst (zie ook paragraaf 2.3).

De resultaten laten zien dat de overschrijdingskans toeneemt met hoogte. Vergelijking tussen de geprojecteerde (links) en planologische situatie (rechts) laat twee fenomenen zien. Enerzijds leidt de aanwezigheid van het geprojecteerde gebouw tot lagere windsnelheden in de omgeving. Dit komt doordat de aanwezigheid van (geprojecteerde) gebouw leidt tot een hogere druk in stroomopwaarts richting. Anderzijds dwingt de aanwezigheid van het geprojecteerde gebouw de stroming meer richting de gevel van de tegenoverliggende hoogbouw.

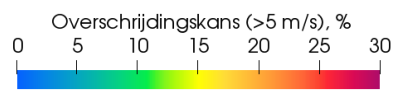
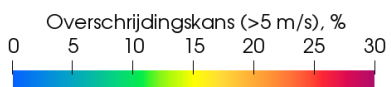
Het resultaat op het windklimaat nabij de tegenoverliggende hoogbouw is gunstig nabij de zuidoosthoek van dat gebouw. Daar neemt over de gemiddelde windsnelheid af. Langs de gevel die uitkijkt op het Pieter Vreedeplein neemt de windsnelheid bij ongunstige zuidwesten wind iets toe.



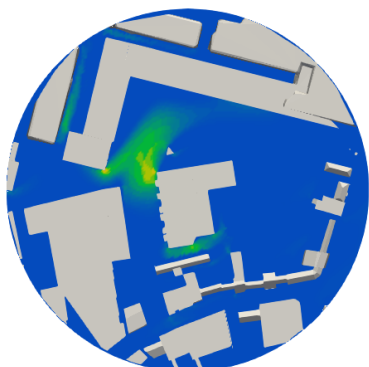
Figuur 7-1. Zijaanzicht met onderzocht hoogtes.

Geprojecteerde situatie

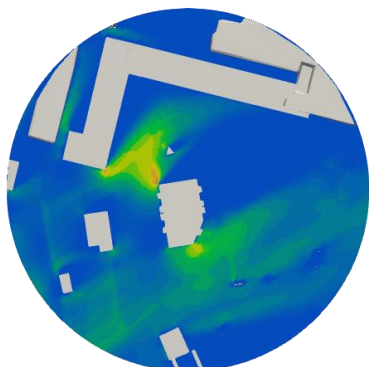
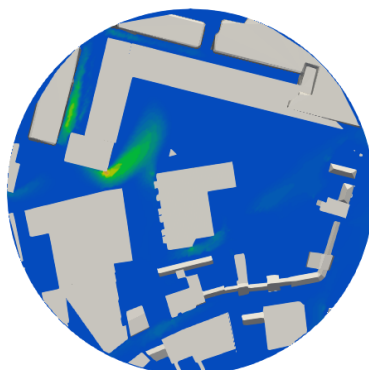
Planologische situatie



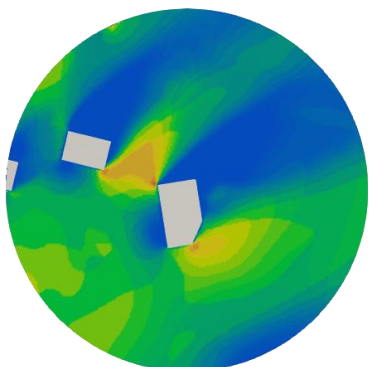
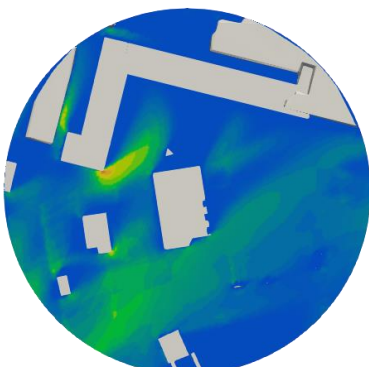
Hoogte: 1.75 m



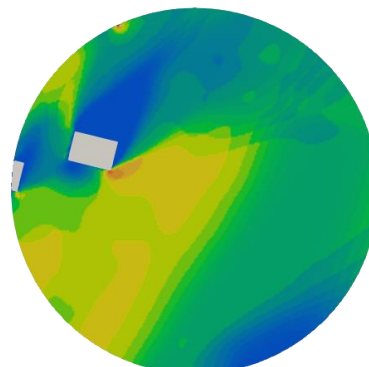
Hoogte: 10 m

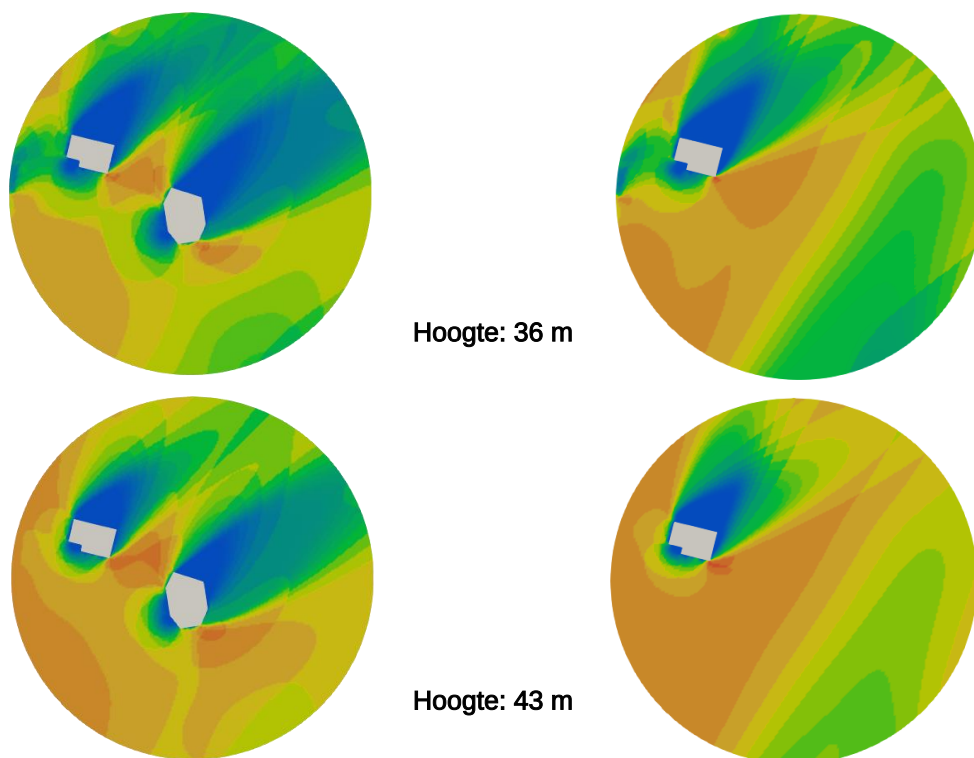


Hoogte: 14 m



Hoogte: 24 m





Figuur 7-2. Kans op windsnelheden hoger dan 5 m/s voor wind uit maatgevende richtingen (zuidwesten: 210° en 240°).

8 Conclusies en aanbevelingen

Er is een kwantitatief onderzoek uitgevoerd naar het windklimaat rondom de geprojecteerde hoogbouw aan het Pieter Vreedeplein in Tilburg. Het windklimaat in de openbare ruimte is relevant in de context van vergunningverlening door de gemeente. Het publiek mag niet blootgesteld worden aan windgevaar. Voor de openbare ruimte in het gebied worden er ook eisen worden gesteld aan het windcomfort, dat wil zeggen beperking van windhinder. Het windklimaat in gebieden die niet toegankelijk zijn voor het publiek is normaalgesproken voor rekening van de gebruikers van die gebieden en behoeft in principe niet aan eisen voor de openbare ruimte te voldoen.

Twee situaties zijn onderzocht:

1. De geprojecteerde situatie met hoogbouw en bomen.
2. De huidige planologische situatie (conform het bestemmingsplan); een 15 m hoog gebouw met een footprint als de hoogbouw, met bomen.

Beoordeling windklimaat - straatniveau

De beoordeling van het windklimaat in de geprojecteerde situatie rondom de hoogbouw op straatniveau is als volgt:

1. Op het Pieter Vreedeplein wordt een goed windklimaat voor zitten verwacht
2. In het winkelgebied rondom de nieuwbouw bestaat een goed windklimaat voor slenteren en zitten, met uitzondering van de directe omgeving van de hoek schuin tegenover ingang van de passage. Zowel in de planologische als geprojecteerde situatie is het windklimaat voor slenteren daar in een beperkt gebied matig. Het windklimaat voor doorlopen blijft goed.
3. Het binnenterrein ten zuiden en ten oosten van het gebouw is goed geschikt als een doorloopgebied.
4. De resultaten laten zien dat er op straatniveau geen significant risico op windgevaar bestaat in de omgeving van de geprojecteerde hoogbouw.

Windklimaat hoog gelegen buitenruimtes

Het resultaat van het geprojecteerde gebouw op het windklimaat nabij de tegenoverliggende hoogbouw is gunstig nabij de zuidoosthoek van dat gebouw. Daar neemt over de gemiddelde windsnelheid af. Langs de gevel die uitkijkt op het Pieter Vreedeplein neemt de windsnelheid bij ongunstige zuidwesten wind toe. In beide situaties (geprojecteerde en planologisch) zijn de loggia's alleen geschikt voor de activiteit 'zitten' in het gebied direct achter de afscherming en/of bij gunstige windcondities.

Aanbevelingen

In het algemeen is het niet te voorkomen dat het plaatsen van een hoog gebouw op een aantal locaties tot een verandering van het windklimaat leidt. Het is gebruikelijk om een slecht windklimaat zoveel mogelijk te voorkomen, maar een matig windklimaat als 'acceptabel' te beschouwen.

De omgeving van de hoek schuin tegenover ingang van de passage

Zowel in de planologische als geprojecteerde situatie is het windklimaat voor slenteren in de directe omgeving van de hoek matig. Gezien de geringe omvang van dit 'matige' gebied, de beperkte mate van hinder en de afstand tot gebouwentrees is sprake van een situatie die uit het oogpunt van goede ruimtelijke ordening aanvaardbaar is. Personen hebben bovendien de mogelijkheid beschutting te zoeken onder de arcade.

Het binnenterrein ten zuiden van het gebouw

Dit terrein is niet openbaar toegankelijk. Wel gelden de belangen van derden (andere gebruikers van het terrein/eigenaren van omliggende panden). Gezien de beoogde functie van het desbetreffende deel het besloten terrein lijkt het windklimaat goed voor alle belanghebbenden.

Loggia's van het tegenoverliggende gebouw

Windsnelheid neemt in de atmosferische grenslaag toe met hoogte. Op hoger gelegen buitenruimtes, zoals balkons, dakterrassen en loggia's, is het windklimaat daarom slechter dan dicht bij de grond. Voor kleine buitenruimtes geldt bovendien dat deze vooral gebruikt worden voor de activiteit 'zitten', waarbij al zeer snel windhinder wordt ervaren. Op hoog gelegen buitenruimtes is dan ook altijd afscherming nodig en zelfs dan is het windklimaat alleen aangenaam zijn bij relatief gunstige windcondities. De aanwezige loggia's bieden de benodigde afscherming door hun inpandige ligging en de aanwezigheid van dichte borstwering. Bewoners passen hun gedrag aan aan het windklimaat door niet buiten te zitten bij ongunstige wind en/of dicht achter de afscherming te gaan zitten.

9 Bronnen

Blocken B (2015) Computational Fluid Dynamics for Urban Physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulation, Building and Environment, 91 pp. 219 – 245

Franke J, Hellsten A, Schlünzen H, Carissimo B (2007) Best practice guideline for the CFD simulation of flows in the urban environment. COST Office Brussels, ISBN 3-00-018312-4

Green RS (1992) Modelling turbulent air flow in a stand of widely-spaced trees, PHOENICS Journal, 5:294-312.

NEN 8100:2006 Nederlandse norm. Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving, Nederlands Normalisatie-instituut

NPR 6097:2006 Nederlandse praktijkrichtlijn. Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland, Nederlands Normalisatie-instituut.

Richards PJ & Hoxey RP (1993) Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the k- ϵ turbulence model. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics (46, 47) pp. 145-153.

Tominaga Y, Okaze T, Mochida A (2011) CFD modeling of snowdrift around a building: An overview of models and evaluation of a new approach. Building and Environment 46(4) pp. 899-910.

Wieringa J (1992) Updating the Davenport roughness classification. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 41(1-3) pp. 357-368.

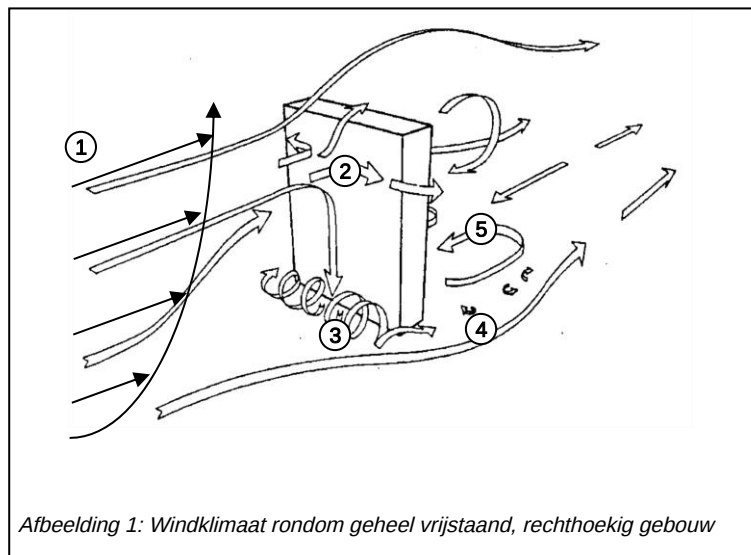
Bijlage 1 Windstroming om gebouwen

In deze bijlage worden een aantal 'algemene effecten' die optreden in de gebouwde omgeving toegelicht, aan de hand van simpele voorbeelden met één gebouwen. In de praktijk zal het windklimaat nooit bepaald worden door één enkel gebouw. In de werkelijkheid zal de stedenbouwkundige situatie complexer zijn en zal de stroming rondom de gebouwen daarmee ook. De hoogtes en volumes van de gebouwen, de positionering van de gebouwen ten opzichte van elkaar en de oriëntatie ten opzichte van de overheersende windrichting bepalen gezamenlijk het windklimaat op loopniveau.

Windklimaat rondom geheel vrijstaand, rechthoekig gebouw

Afbeelding 1 laat zien hoe een vrijstaand, rechthoekig gebouw de windsnelheden beïnvloedt.

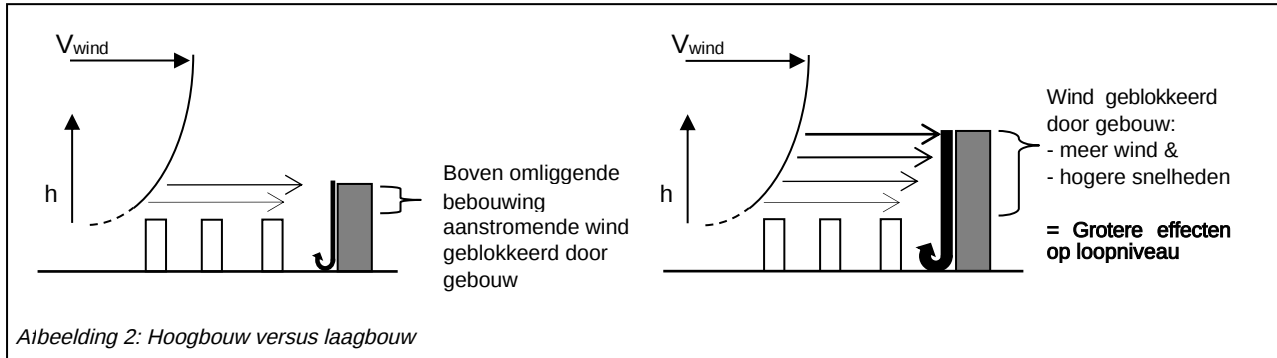
1. Op enige hoogte boven de bebouwde omgeving is de "ongestoorde" windsnelheid groter dan op loophoogte.
2. De aanstromende lucht wordt door het gebouw geblokkeerd. Langs en over het gebouw ontstaan hogere lichtsnelheden, aangezien de totale hoeveelheid aanstromende lucht moet worden afgevoerd. Voor het gebouw ontstaat een stuwpunt.
3. Een deel van de aanstromende lucht zal langs de gevel naar beneden stromen en zal juist boven de grond worden afgebogen. Aan de voet van het gebouw zullen wervels met een horizontale as ontstaan.
4. Deze wervels zullen naar de gebouwhoeken bewegen, waar wervels met een verticale as (staande wervels) ontstaan, die regelmatig van het gebouw loslaten, en zich dan van het gebouw af bewegen. In de gebieden met deze 'cornersteams' zullen verhoogde windsnelheden, met een sterk variërende windrichting optreden. Dit verschijnsel wordt als 'windhinder' ervaren.
5. Achter het gebouw ontstaat een gebied waar onderdruk heerst. Ook in dit gebied komen wervels voor, maar de windsnelheden zijn over het algemeen laag. Het is een relatief luw gebied.



Afbeelding 1: Windklimaat rondom geheel vrijstaand, rechthoekig gebouw

Hoog versus laag

Naast de gebouwgeometrie en de stedenbouwkundige situatie is de windsnelheid op de hoogte van de dakrand bepalend voor de windhinder op loopniveau. Hoe hoger het gebouw is (ten opzichte van zijn omgeving), hoe groter de beïnvloeding van het windklimaat zal zijn. Dit wordt weergegeven in afbeelding 2.



Drukverschillen rondom doorgangen

Wanneer de wind geblokkeerd wordt door een gebouw of een aantal gebouwen, zal aan de voorzijde van de gebouwen een gebied met een hogere druk ontstaan. Aan de achterzijde van het gebouw (de beschutte, luwe zijde) ontstaat een gebied met een lagere druk.

Waar deze twee gebieden met elkaar verbonden worden, bijvoorbeeld door een onderdoorgang onder een gebouw door, zal een luchtstroom van het gebied met overdruk naar het gebied met onderdruk ontstaan: in de onderdoorgang zal het windklimaat door de verhoogde windsnelheden en turbulentie verslechteren.

Bijlage 2 Technisch inlegvel voor numerieke simulatie

Project	Gegevens
Projectnaam	Pieter Vreedeplein
Opdrachtgever	Winkelrondje Tilburg B.V.
Projectleider	Dr. ir. P.L. van Gent
Datum	13-01-2020
Model	Algemene gegevens van het model
Kerngebied	Bebouwing binnen ca. 300 m rondom de geplande hoogbouw
Omgeving	Bebouwing
Omvang gemodelleerd gebied	1740 m x 1570 m x 335 m
Afmetingen model	800 m x 800 m x 59 m
Blokkeringsgraad	<3%
Gemodelleerd groen	Turbulentiemodel Green (1992), leaf area index 0.25, drag coefficient 0.15
Onderzochte windrichtingen	12
Onderzochte configuraties	Geprojecteerde situatie met hoogbouw en bomen; Planologische situatie met bebouwing van 15 m hoogte en bomen
Computeropstelling	Specifieke gegevens van de gebruikte programmatuur
Programmatuur	Phoenix FLAIR-EFS (versie 2019)
Methodiek	Eindige volume methode (FVM)
Algemeen	drie-dimensionaal, tijd-onafhankelijk, isothermisch
Rekenrooster	Rechthoekige cellen, verfijnd nabij de bodem, verfijnd in het kerngebied, verder verfijnd in de directe omgeving van de geplande hoogbouw.
Turbulentiemodellering	Standard k- ϵ
Convectieve differentieschema's	Tweede-orde schema: Monotonic Upwind Scheme for Conservation Law (MUSCL; van Leer 1979)
Randvoorwaarden	Gebruikte randvoorwaarden
Instroomprofiel	Logaritmische atmosferische grenslaag, Ruwheidslengte (z_0): 1,0 m voor alle windrichtingen
Uitlaat	Constante druk
Zijwanden	Gesloten
Boven	Gesloten, constante druk
Vloer/bodem	Ruwe wand, no slip

Gegevensverwerking en beoordeling	Informatie voor locatie en beoordeling windklimaat			
Amersfoortse coördinaten	X = 125365, Y = 478893			
Toegepaste eisen (NEN8100)	V_{DR} m/s	Gewenste kwaliteits-klasse	Overschrijdingskans (%)	Beoordeling
<i>Voor comfort</i>			$P(V_{LOK} > V_{DR:H})$	
Doorlopen	5,0	≤ D	< 20	
Slenteren	5,0	≤ C	< 10	
Zitten	5,0	≤ B	< 5	
Regionale correctie	Geen			
<i>Voor gevaar</i>			$P(V_{LOK} > V_{DR:G})$	
	15,0		0,05 - 0,30	
	15,0		≤ 0,30	
Gepresenteerde resultaten	Grafische weergaven van kwaliteitsklasse en beoordeling in een straal van 150 rond de geprojecteerde nieuwbouw op loophoogte; Overschrijdingskans op grotere hoogtes.			
Opmerkingen	Berekeningen zijn uitgevoerd voor een gebouwhoogte van 59 meter. In een later ontwerpstadium is de gebouwhoogte bepaald op 63 meter. Deze aanpassing zal tot marginale verschillen in het windklimaat leiden.			

Deerns Nederland B.V.
Bouwfysica & Energie
Fleminglaan 10
2289 CP Rijswijk
Postbus 1211
2280 CE Rijswijk
bouwfysica@deerns.com
www.deerns.nl