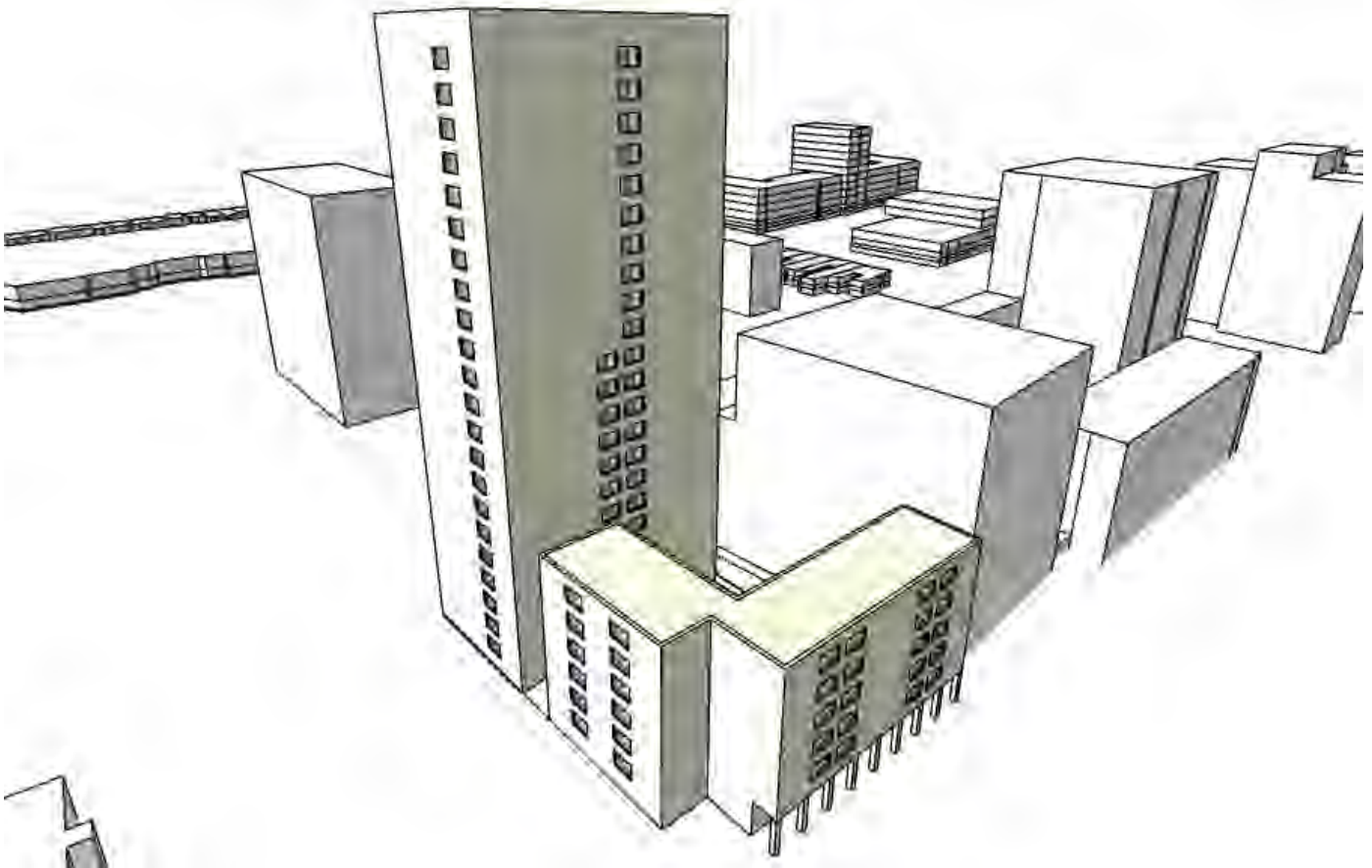


20 mei 2020

Tilburg Talent Square 2

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.

Tilburg Talent Square 2

CFD onderzoek windklimaat

-

Dr. ir. Paul van Gent
Specialist

Ing. Gwendolyn Alkemade
Technicus

Contact

Paul van Gent
Projectleider

Deerns Nederland B.V.

Den Haag, 20 mei 2020

Projectnr. RNL160.03145.00.0001

160-03145 TTS2 CFD onderzoek windklimaat 20200520.docx

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Uitgangspunten	6
2.1	Het bouwplan	6
2.2	Omgeving plangebied	8
2.3	Windstatistiek	11
3	Rekenmodel	12
3.1	Software en algemene methodiek	12
3.2	Modellering van de bebouwing	12
3.3	Modellering van bomen	12
3.4	Windsnelheidsprofiel	16
3.5	Rekenrooster	16
4	Beoordelingsmethodiek	18
4.1	Windhinder	18
4.2	Windgevaar	19
5	Ambitieniveau	20
6	Beoordeling windklimaat	22
6.1	Windhinder	22
6.1.1	Doorloopgebieden	26
6.1.2	Slentergebieden	30
6.1.3	Gebieden voor langdurig zitten	34
6.2	Windgevaar	37
7	Conclusies en aanbevelingen	40
7.1	Conclusies	40
7.2	Aanbevelingen	40
8	Bronnen	42
	Bijlage 1 Windstroming om gebouwen	43
	Bijlage 2 Technisch inlegvel voor numerieke simulatie	45

1 Inleiding

Van de Ven Bouw en Ontwikkeling BV ontwikkelt Tilburg Talent Square 2 (TTS 2) in het centrum van Tilburg op de hoek van de Hart van Brabantlaan. Het bouwplan bestaat uit twee gebouwen met woningen. Gezien de aanzienlijke hoogte van het bouwplan (70 m) zou er een risico op windhinder en zelfs windgevaar op loopniveau kunnen bestaan. Dit onderzoek richt zich daarom op het windklimaat rondom het bouwplan.

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van de NEN 8100 normering ('Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving'). Volgens deze normering, kan een windhinderonderzoek worden uitgevoerd met een schaalmodel in een windtunnel of met behulp van computersimulaties (CFD, Computational Fluid Dynamics). Dit onderzoek maakt gebruik van deze laatste methode. Het onderzoek richt zich op het windklimaat op loopniveau. In eerste instantie zijn twee varianten doorgerekend, variant 1 conform het bouwplan en variant 2 conform het vigerend bestemmingsplan. Na analyse van de resultaten is een variant van het bouwplan door gerekend, met daarin een luifel.

De opbouw van deze rapportage is als volgt:

- Hoofdstuk 2 –Uitgangspunten
- Hoofdstuk 3 –Rekenmodel
- Hoofdstuk 4 – Beoordelingsmethodiek
- Hoofdstuk 5 – Ambitieniveau
- Hoofdstuk 6 – Beoordeling
- Hoofdstuk 7 – Conclusies 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 Het bouwplan

Figuur 2-1 toont een schematische weergave van het bouwplan en de situatie in het vigerend bestemmingsplan. Het bouwplan omvat 2 gebouwen, waartussen zich op een verhoogd dek een beschut binnenterrein bevindt dat de gebouwen met elkaar verbindt en een verlaagd gedeelte naar de privé stallingsgarage die ook te bereiken is door een onderdoorgang vanaf de straatzijde aan de Hart van Brabantlaan. De te realiseren gebouwen hebben een woonbestemming met op de begane grond aan de Hart van Brabantlaan enkele woon-/werkruimtes gelegen.

Variant 1a: bouwplan

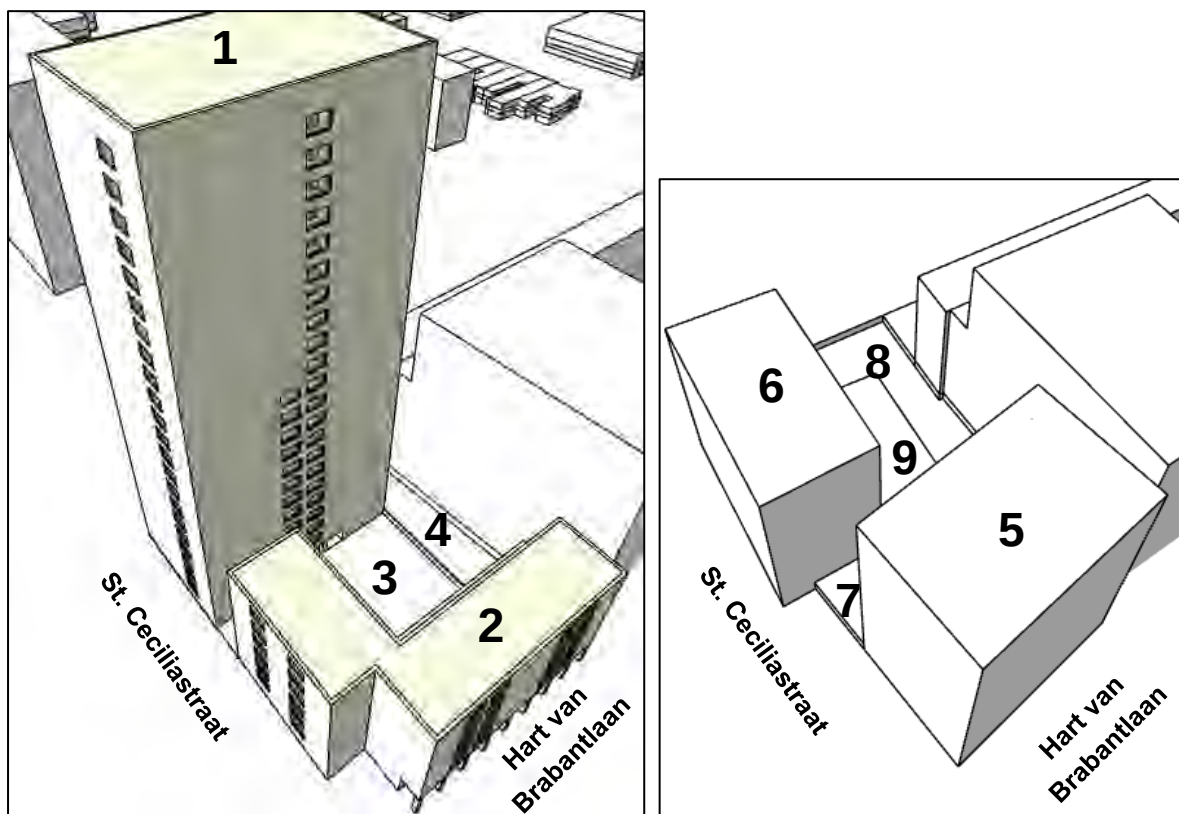
De twee gebouwen hebben verschillende hoogtes. De toren (#1) is circa 70 meter hoog en de laagbouw (#2) heeft een hoogte van circa 20 meter. Het verhoogde dek (#3) ligt op circa 1,5 meter hoogte ten opzichte van maaiveld en de privé stallingsgarage (#4) ligt op circa -1,6 meter ten opzichte van maaiveld.

Variant 1b: bouwplan met luifel

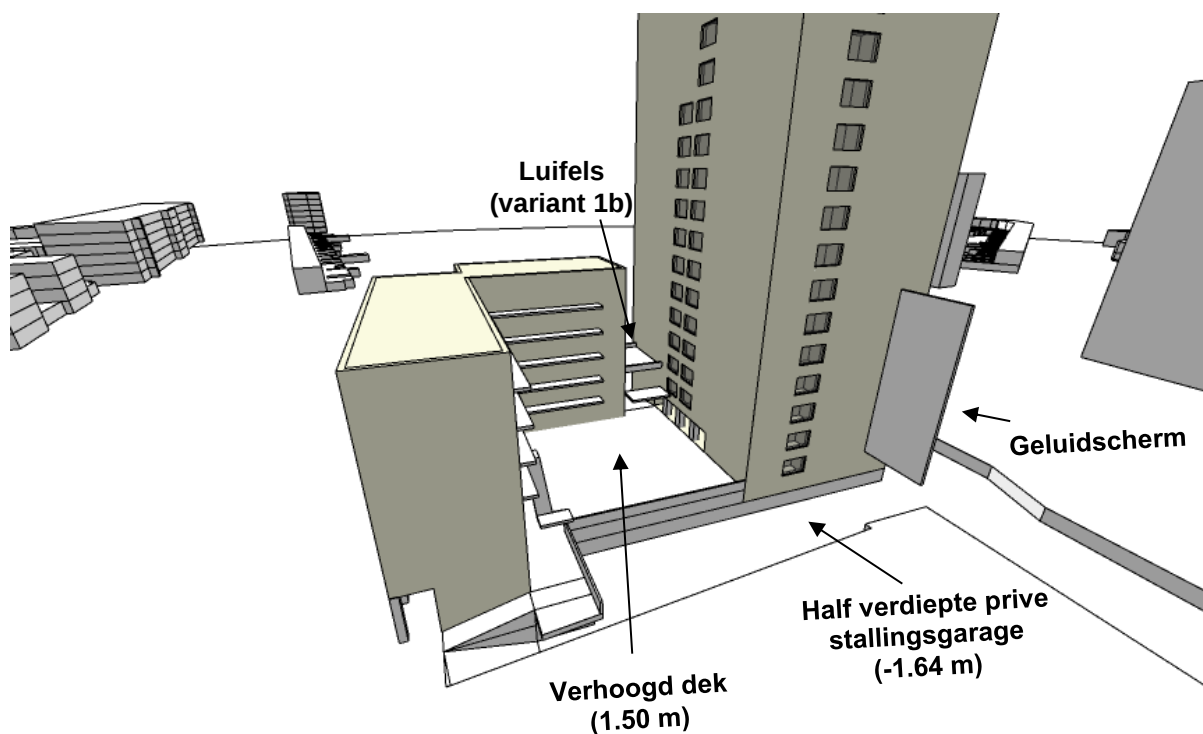
Deze variant is gelijk aan variant 1a, maar met twee luifels tussen beide gebouwen in de doorgang aan de St. Ceciliastraat (zie Figuur 2-2)

Variant 2: vigerend bestemmingsplan

De twee gebouwen hebben verschillende hoogtes. De toren (#5) is 35 meter hoog en de laagbouw (#6) heeft een hoogte van 28 meter. De doorgang (#7) ligt op 2 meter hoogte ten opzichte van maaiveld en de kelder (#8) ligt op circa -1,6 meter ten opzichte van maaiveld, het dek (#9) tussen de gebouwen ligt op maaiveldniveau.



Figuur 2-1. Schematische weergave Talent Square 2 Tilburg (links: variant 1, rechts: variant 2)



Figuur 2-2. Schematische weergave Talent Square Tilburg; ten behoeve van de visualisatie is het gebouw op de voorgrond is niet zichtbaar gemaakt

2.2 Omgeving plangebied

Gebouwen en bomen in de wijdere 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.

Talent Square 2 ligt in het centrum van Tilburg (De Amersfoortse coördinaten¹ voor het plangebied zijn: X = 133246, Y = 396779). Figuur 2-2 laat een satellietbeeld zien van de omgeving van het plangebied (met de contouren van variant 1 erin verwerkt). Een oranje cirkel geeft het gebied weer binnen een straal van 300 meter van het nieuw te realiseren TTS2 te Tilburg. Gebouwen in dit gebied zijn expliciet opgenomen in het rekenmodel. Het terrein in directe omgeving van de planlocatie bestaat uit hoog- en laagbouw met een maximale hoogte van ca. 90 m (toren aan de oostzijde van het plan) en een gedeelte grasland (terrein aan de westzijde van het plan):

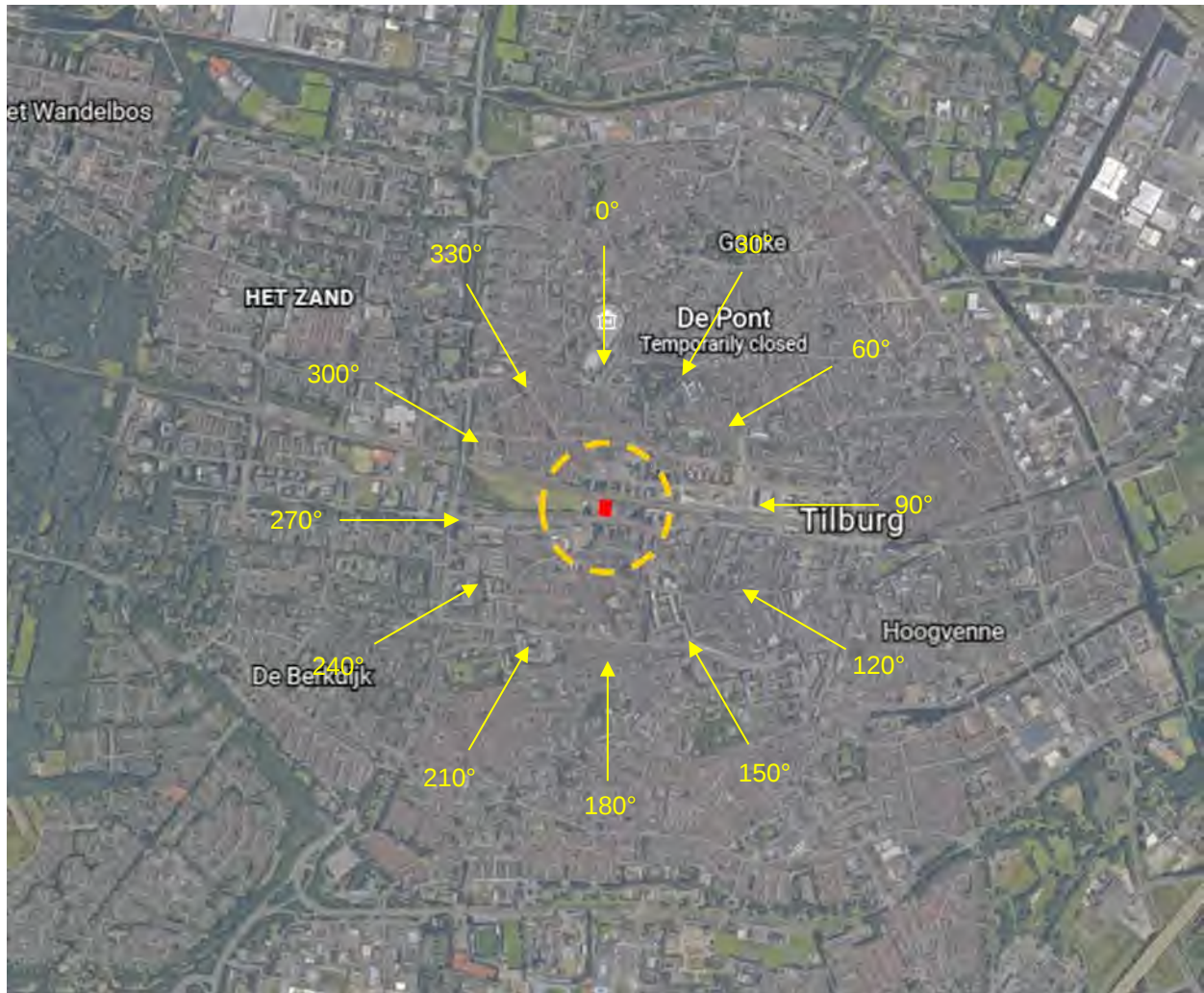
- De westzijde van de bouwlocatie aan de Hart van Brabantlaan is nauwelijks bebouwd.
- Aan de noordzijde van de laan staan woningen van 3 bouwlagen.
- Aan de zuidzijde van de Hart van Brabantlaan staan appartementencomplexen met 6 bouwlagen.
- Ten zuiden van de bouwlocatie staat een hoog gebouw van deels 16 en op de westelijke hoek 5 tot 7 bouwlagen.
- Ten oosten aan de Hart van Brabantlaan ligt Talentsquare 1 met bouwvolumes van 11, 6 en 14 bouwlagen.
- Noordelijk van het bouwplan, ten noorden van het spoor is hoogbouw met 16 bouwlagen aanwezig.



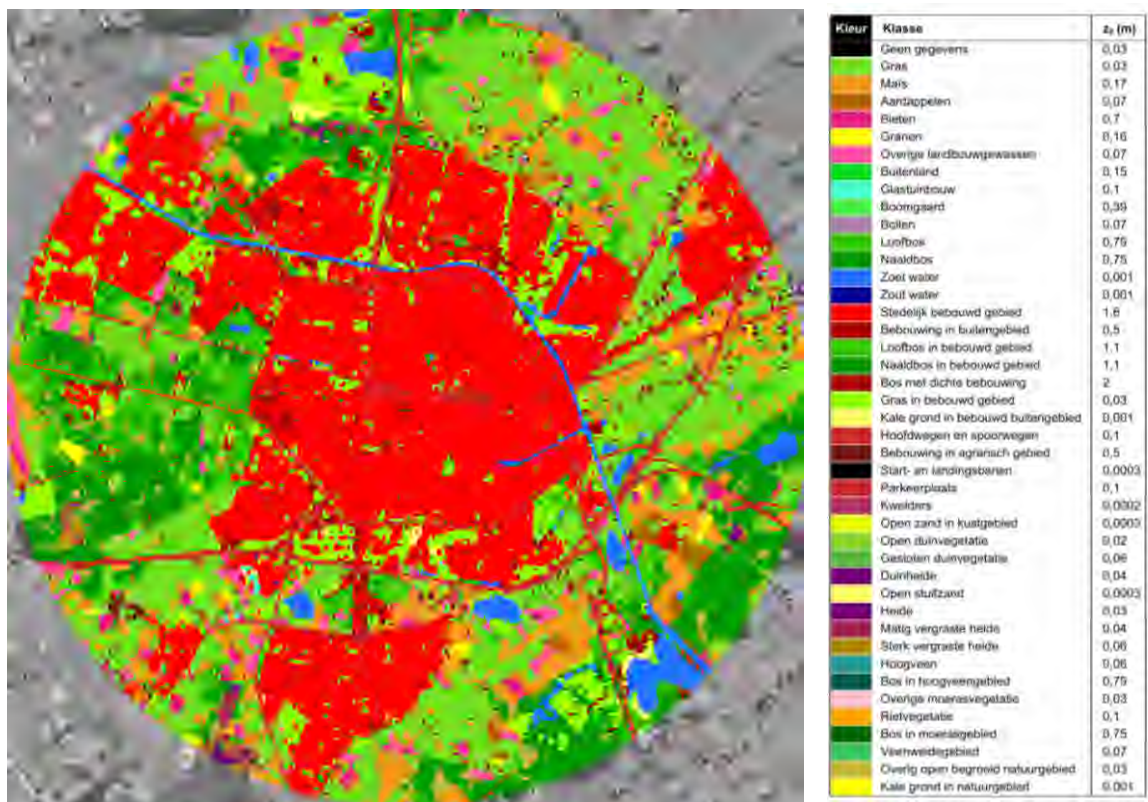
Figuur 2-3. Satellietbeeld van de omgeving van het plangebied (bron: Google Earth).

¹ De Amersfoortse coördinaten zijn identiek aan de coördinaten volgens het Rijksdriehoekstelsel.

Figuur 2-3 laat een satellietbeeld zien van de wijdere omgeving van het plangebied met twaalf windrichtingen. Figuur 2-5 geeft een (verouderd) overzicht van het landgebruik binnen een straat van 6 km met informatie over de ruwheid van het terrein. Deze figuren laten zien dat wind uit alle richtingen aanstroomt over een stedelijke bebouwd gebied. Door de hoge ruwheid van stedelijke bebouwing is de windsnelheid bij de aardoppervlakte relatief laag.



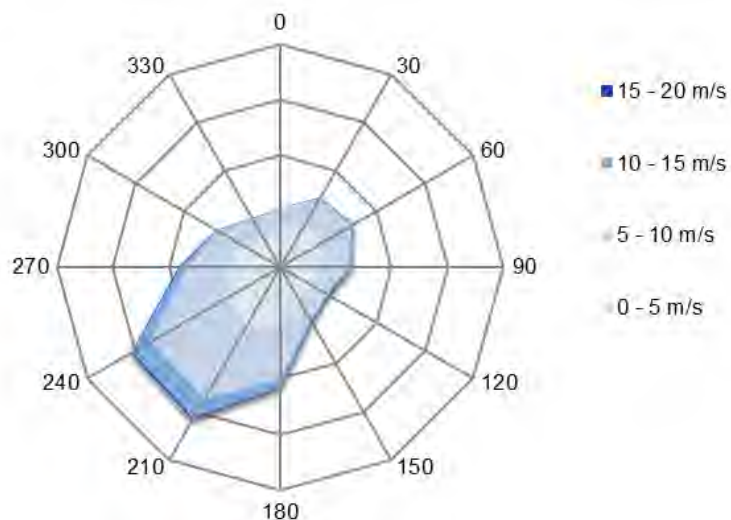
Figuur 2-4. Satellietbeeld van de wijder omgeving van het plangebied en 12 windrichtingen (bron: Google Earth).



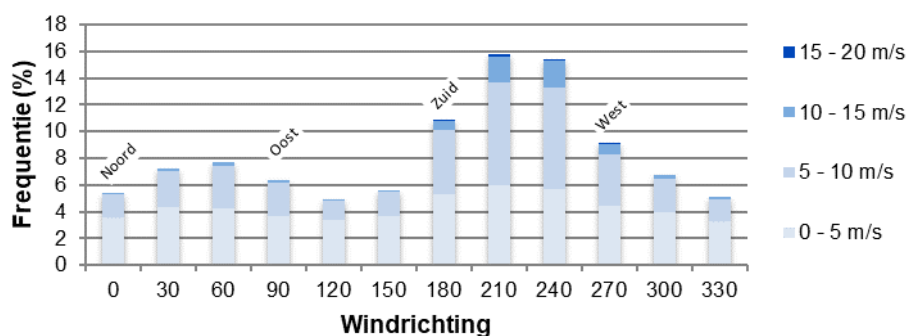
Figuur 2-5. Landgebruikkaart met ruwheidsinformatie binnen een straal van 6 km van het plangebied.

2.3 Windstatistiek

Zoals voorgeschreven in de NEN 8100 is de lokale windstatistiek voor de locatie bepaald volgens de NPR 6097. De NPR 6097 geeft de windstatistiek op 60 meter hoogte voor twaalf windrichtingen (in stappen van 30°). Uit de windstatistiek (Figuur 2-6 en Figuur 2-7) 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 windrichtingen (zuid tot west) beïnvloeden daarom in grote mate het windklimaat op de locatie. Dit betekent niet dat wind uit een andere richtingen geen effect heeft.



Figuur 2-6. Windrose van de windstatistiek op 60 m hoogte de locatie van het plangebied.



Figuur 2-7. Staafdiagram van de windstatistiek op 60 m hoogte de locatie van het plangebied.

3 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.

3.1 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 $k-\epsilon$ 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 5000 iteraties uitgevoerd, waardoor geconvergeerde oplossingen van de stromingsvergelijkingen zijn verkregen.

Afzonderlijke simulaties zijn uitgevoerd voor twaalf windrichtingen. De resultaten van de twaalf afzonderlijke simulaties worden vervolgens gewogen met de winddistributie voor de corresponderende windrichtingen (zoals bepaald met de NPR 6097, zie hoofdstuk 2). Zo is per positie een percentage van de tijd bepaald waarvoor de criteria / drempelsnelheden voor windhinder (5 m/s) en windgevaar (15 m/s) worden overschreden.

3.2 Modelleren van 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 binnen een afstand van 300m (het kerngebied) expliciet opgenomen in het model. De bebouwing is gemodelleerd op basis van aangeleverde 3D-modellen. Er zijn berekeningen uitgevoerd voor de situatie van het bouwplan (Figuur 3-1 t/m Figuur 3-4) en de situatie van het vigerend bestemmingsplan (Figuur 3-5 en Figuur 3-6).

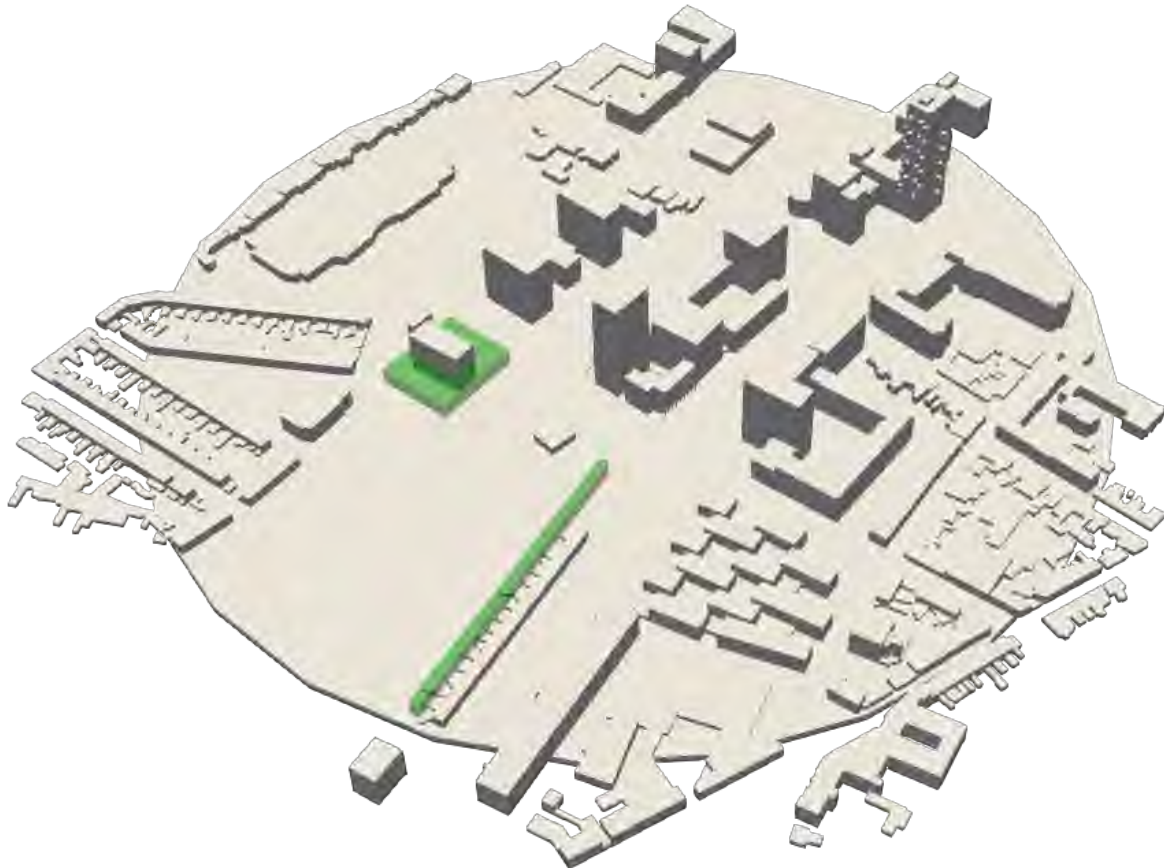
Het weglaten van details aan de gevels en de daken is ondervangen door de oppervlaktes van de gebouwen een typische ruwheid te geven. Dezelfde strategie is gebruikt voor details op de bodem (wegen, stoepen, enz.).

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 3.4).

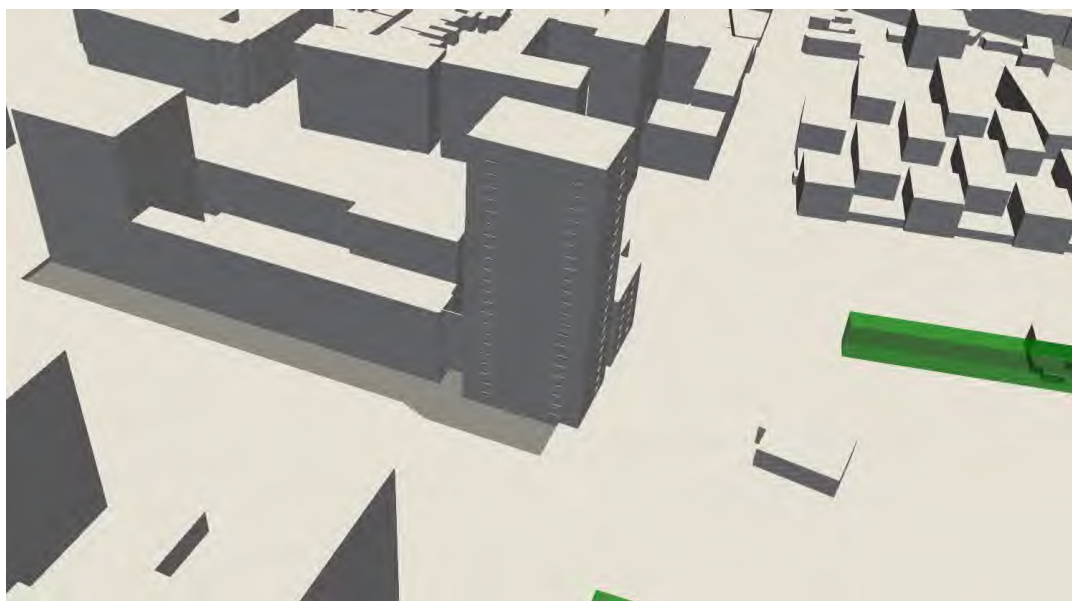
3.3 Modelleren van bomen

Bomen zijn toegevoegd aan het model op twee boomrijke locaties in de omgeving van het plangebied (zie groen in Figuur 3-1 en Figuur 3-5). In de directe omgeving van het plangebied zijn geen bomen

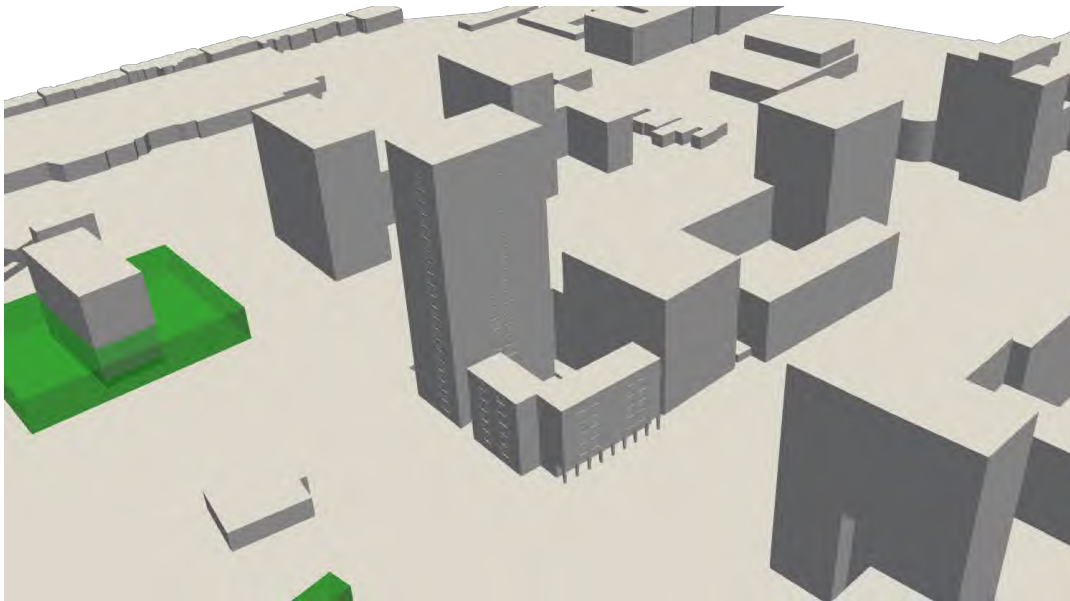
opgenomen aan het model. Dit is gebruikelijk in een eerste analyse van de situatie, omdat de locaties van bomen in de planfase vaak nog niet vaststaat en de invloed van bomen sterk afhankelijk is van de boomsoort en leeftijd van de boom. Door bomen in eerste instantie weg te laten, kan het best worden vastgesteld op welke posities bomen tot een verbetering van het windklimaat leiden. Het foutief toevoegen van bomen in een eerste analyse kan mogelijke problemen met het windklimaat verhullen.



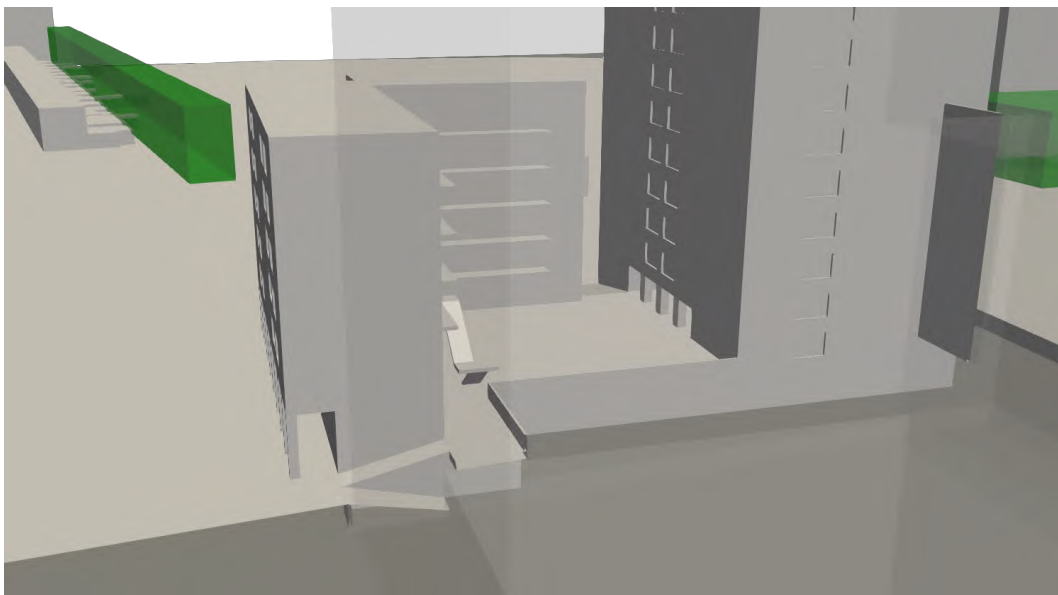
Figuur 3-1. Kerngebied met bebouwing; bouwplan



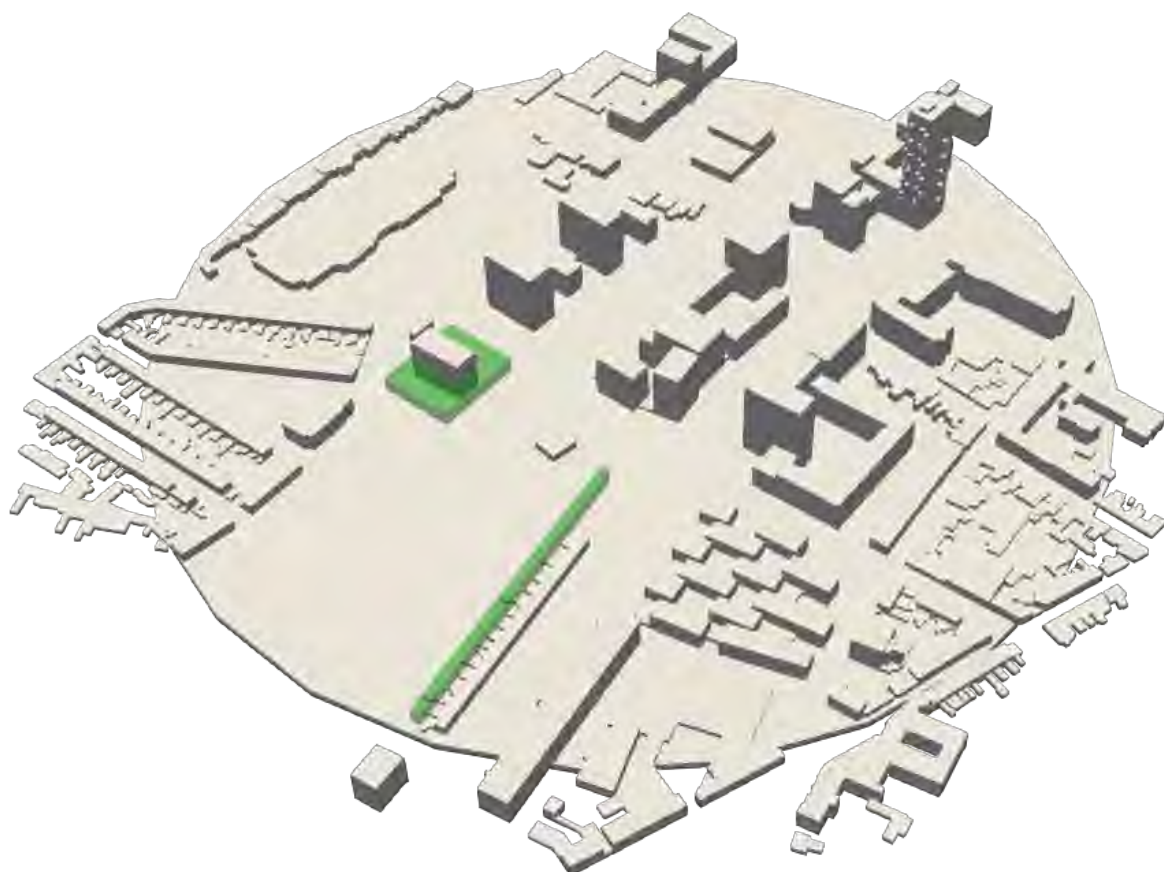
Figuur 3-2. Detail model bouwplan (1)



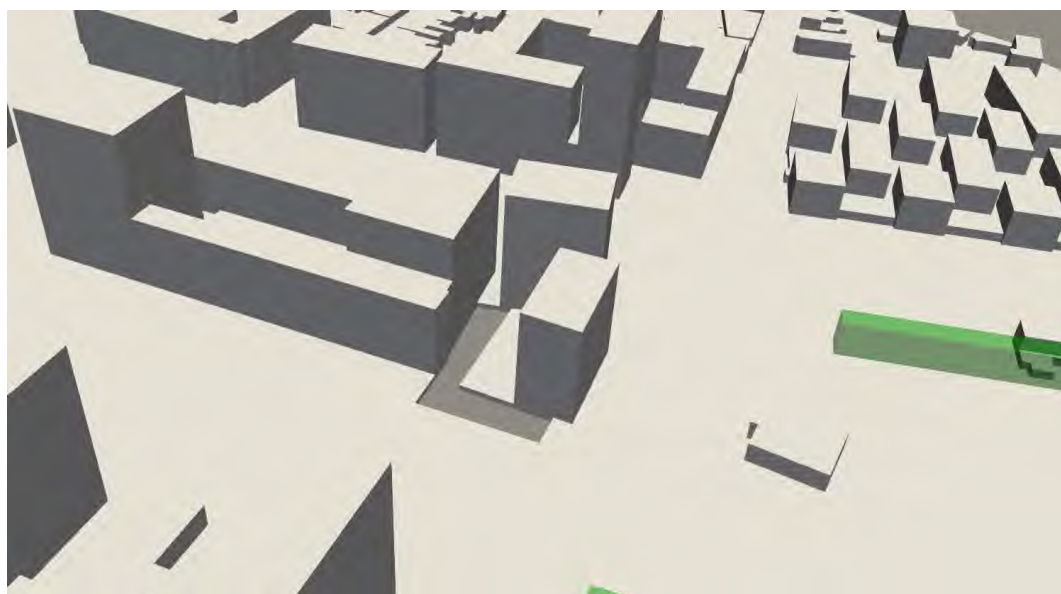
Figuur 3-3. Detail model bouwplan (2)



Figuur 3-4. Detail model bouwplan (3)



Figuur 3-5. Kerngebied met bebouwing; vigerend bestemmingsplan



Figuur 3-6. Detail model vigerend bestemmingsplan

3.4 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).

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

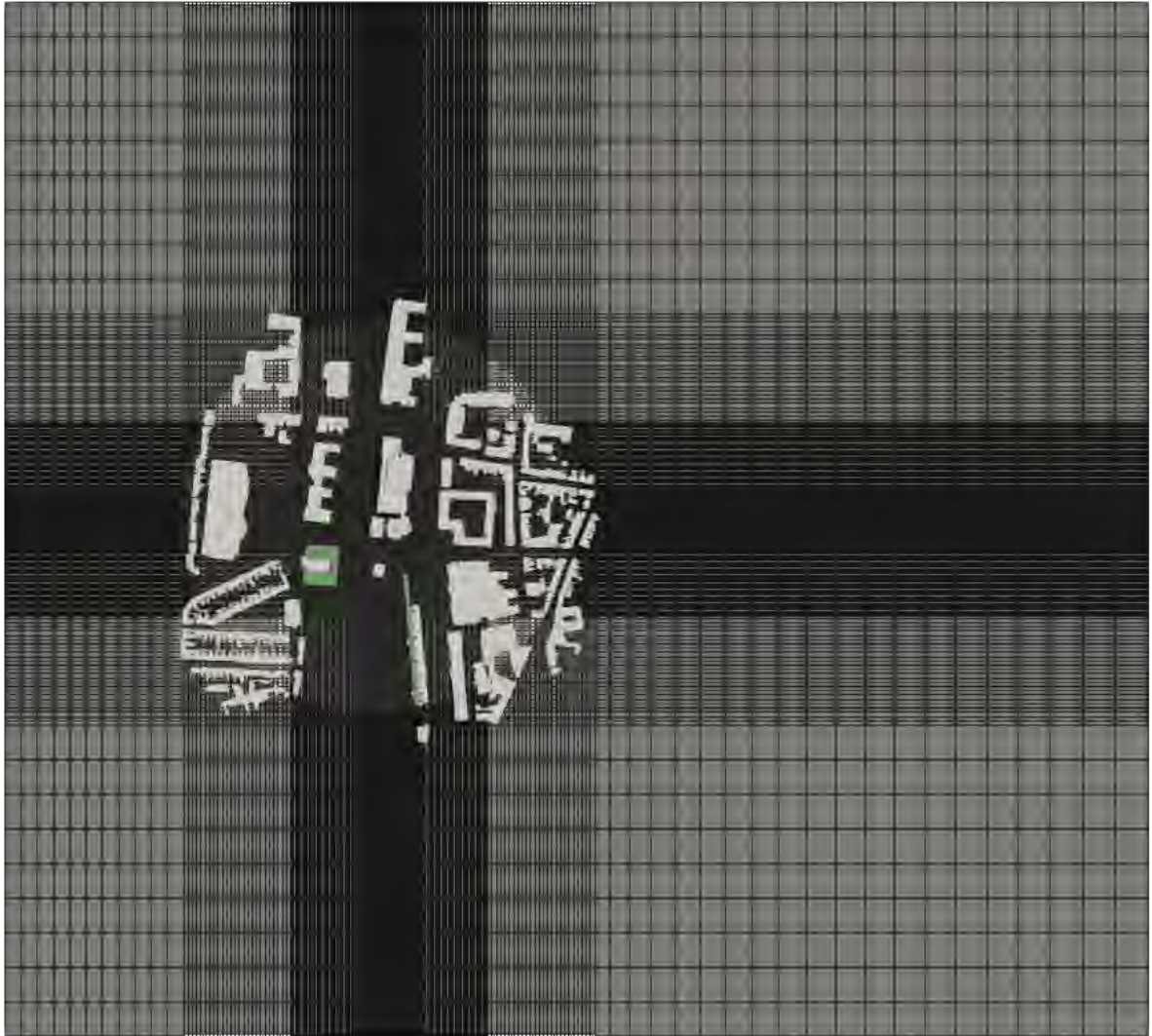
Hierbij is:

z	de afstand van de grond, in meters
u_*	de wrijvingssnelheid, in m/s
κ	Von Karman-constante
z_0	de ruwheidslengte, in m

Op basis van het landgebruik en de ruwheidsclassificatie van Wieringa (1992) is voor wind uit alle richtingen een ruwheidslengte van 1,0 m (stedelijke bebouwd gebied) gebruikt.

3.5 Rekenrooster

Het rekenmodel gebruikt een rechthoekig rekenrooster van 4,3 miljoen cellen (zie Figuur 3-7). In de directe omgeving rondom het gebouw is het rooster verfijnd. 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 3-7. Rekenrooster, bovenaanzicht; volledig domein (wind van links naar rechts).

4 Beoordelingsmethodiek

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.

4.1 Windhinder

De beoordeling van windhinder is uit de volgende onderdelen opgebouwd:

1. *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.
2. *Een overschrijdingskans van de drempelsnelheid*
Hoe vaker de drempelsnelheid van 5 m/s overschreden wordt, hoe slechter het windklimaat. Aan de kans dat de drempelsnelheid overschreden wordt, zijn 5 kwaliteitsklassen (A tot en met E) gekoppeld (zie Tabel 4-2). Klasse A staat voor de hoogste comfortklasse en klasse E voor het laagste kwaliteitsniveau.
3. *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 4-1. In Tabel 4-2 wordt de beoordeling van het windklimaat weergegeven afhankelijk van de activiteit en de kwaliteitsklasse.

Het is gebruikelijk om een slecht windklimaat zoveel mogelijk te voorkomen, maar een matig windklimaat als 'acceptabel' te beschouwen. 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 activiteit 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 4-1. 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 4-2. 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

4.2 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 4-3.

Tabel 4-3. 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.

5 Ambitieniveau

In hoofdstuk 4 worden verschillende eisen gedefinieerd voor 'doorloopgebieden', 'slentergebieden' en gebieden voor 'langdurig zitten'. Een gebied kan een goed, matig of slecht windklimaat hebben voor de beoogde activiteit. Het is gebruikelijk om een slecht windklimaat zoveel mogelijk te voorkomen, maar een matig windklimaat als acceptabel te beschouwen. Binnen het plan zijn een aantal gebieden waarin een bepaalde kwaliteit van het windklimaat verlangd wordt.

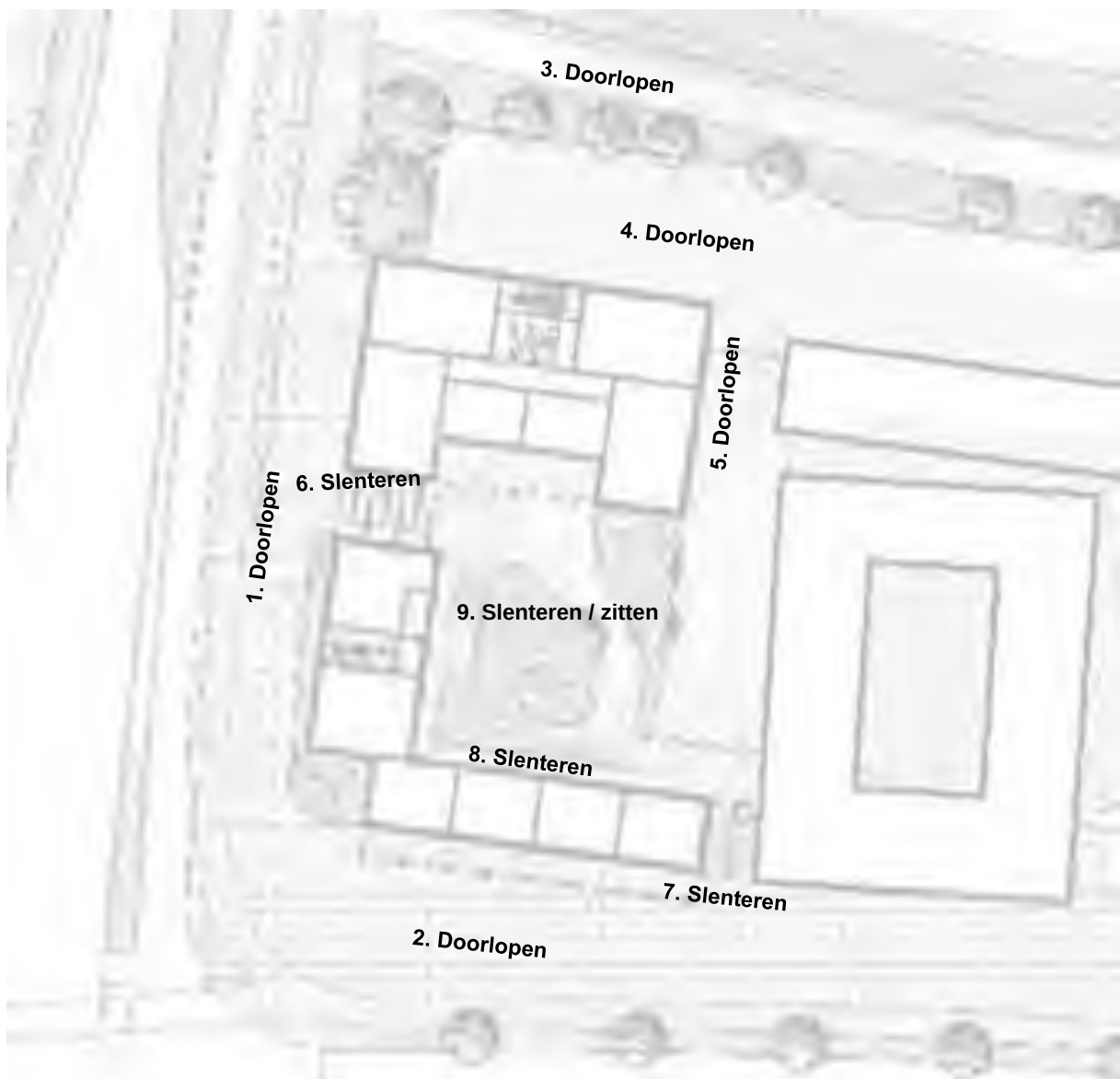
Het windklimaat in de openbare ruimte is relevant in de context van vergunningverlening door de gemeente. Het publiek mag niet blootgesteld worden aan windgevaar en voor de openbare ruimte worden er ook eisen worden gesteld aan het windcomfort, dat wil zeggen beperking van windhinder. Het windklimaat in de binnenruimte van het bouwplan hoeft niet aan eisen voor de openbare ruimte te voldoen.

De onderverdeling wordt gegeven in Tabel 5-1 en Figuur 5-1. Deze onderverdeling is ingeschat op basis van algemene richtlijnen.

Tabel 5-1. Ambitieniveaus op deelgebieden

Type gebied	Motivatie, ambitieniveau
Doorlopen	Op looproutes rondom het plangebied worden geen bijzondere eisen ten aanzien van het windklimaat gesteld - Ambitieniveau: C (goed); - Minimaal niveau: D (matig).
	Gebieden beoordeeld als doorloopgebied:
	1. Looproute en fietsroute langs de St. Ceciliastraat
	2. Looproute en fietsroute langs de Hart van Brabantlaan
	3. Calamiteitenroute noordzijde
	4. Half verdiepte privé stallingsgarage
	5. Looproutes in de half verdiepte privé stallingsgarage
Slenteren	In het binnenterrein tussen de hoog- en laagbouw en op de galerijen bij de laagbouw zullen mensen mogelijk rustiger lopen of even stil blijven staan. Dit is ook het geval bij de entrees van de gebouwen. Er wordt daarom gestreefd naar een goed windklimaat voor slenteren. - Ambitieniveau: B (goed); - Minimaal niveau: C (matig).
	Gebieden beoordeeld als slentergebied:
	6. Entree toren (St. Ceciliastraat)
	7. Entree laagbouw (Hart van Brabantlaan)
	8. Galerij bij laagbouw
	9. Binnenterrein tussen laagbouw en toren (gedeeltelijk)
Langdurig zitten	Op locaties met terrassen en bankjes worden ten behoeve van een comfortabel, langduriger verblijf hoge eisen aan het windklimaat gesteld. - Ambitieniveau: A (goed); - Minimaal niveau: B (matig).
	Gebieden beoordeeld als 'langdurig zitten':
	9. Binnenterrein tussen laagbouw en toren (gedeeltelijk)

*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.



Figuur 5-1. Plangebied met ambitieniveaus voor windklimaat

6 Beoordeling windklimaat

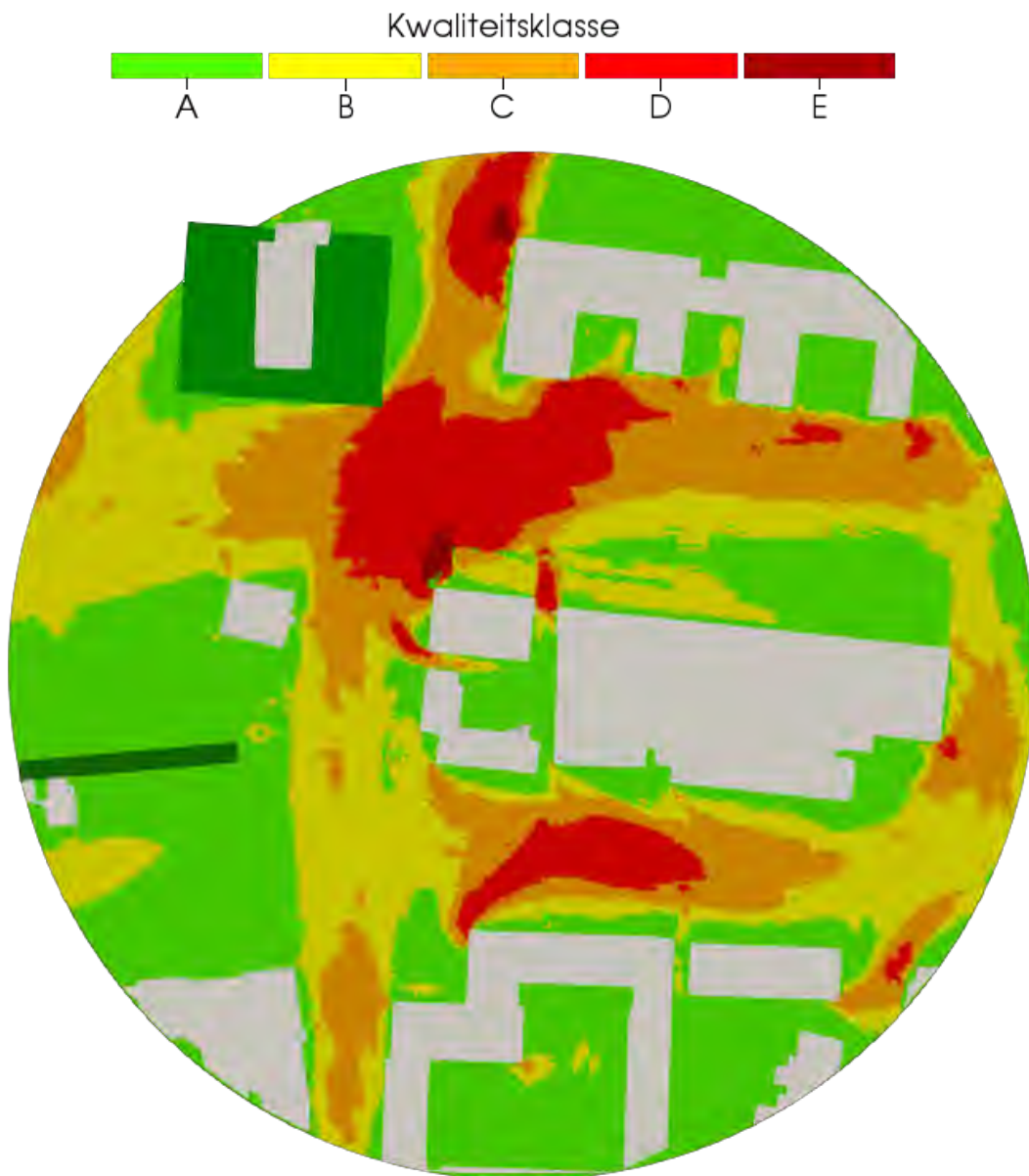
In dit hoofdstuk wordt het windklimaat gepresenteerd en beoordeeld.

6.1 Windhinder

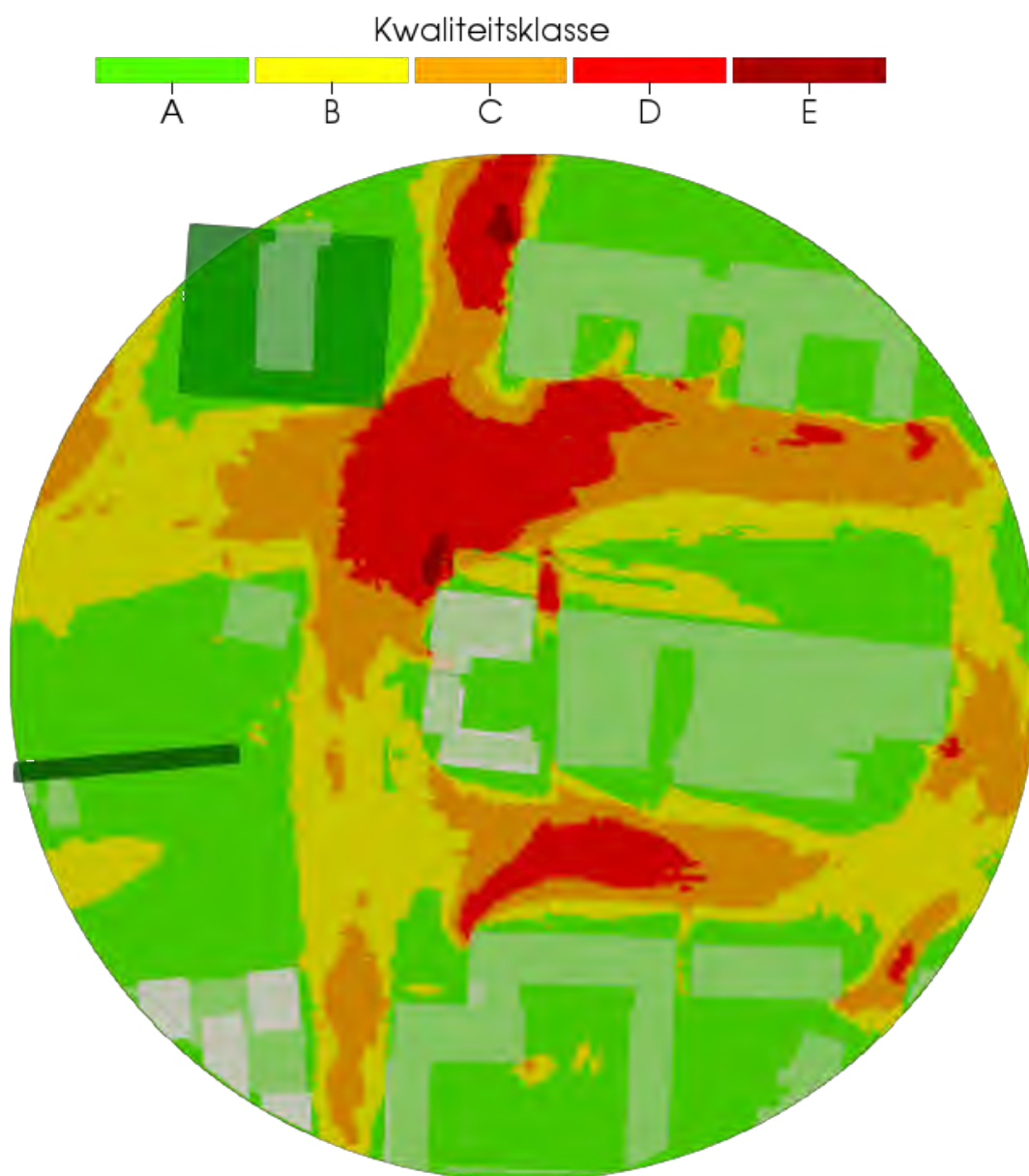
Figuur 6-1, Figuur 6-2 en Figuur 6-3 geven de kwaliteitsklasse van het windklimaat in het plangebied op looppniveau, dat wil zeggen op 1,75 m boven het niveau van het maaiveld, de half verdiepte privé stallingsgarage en het verhoogde dek. De resultaten voor het bouwplan met luifels zijn alleen berekend voor de windrichting waarbij de luifel de grootste invloed heeft (210°).

De waardering van de kwaliteitsklasse is afhankelijk van de activiteit ('doorlopen', slenteren' of 'langdurig zitten', zie Tabel 4-2) en wordt hieronder verder besproken. Over het algemeen wordt het windklimaat gedomineerd door wind uit het zuidwesten. Deze wind waait tegen de gevels van gebouwen aan, stroomt vervolgens omlaag en om gebouwhoeken heen (zie bijlage 1). Op deze manier wordt wind met een hogere snelheid van grotere hoogtes naar looppniveau gevoerd, wat nadelig is voor het windklimaat. Hoe hoger de bebouwing, hoe sterker dit effect. Om deze reden is het windklimaat ten noorden van de planlocatie nadeliger voor het bouwplan (hoge toren) dan voor het vigerend bestemmingsplan. Ten zuiden van het bouwplan is de geprojecteerde situatie (lager gebouw) juist gunstiger.

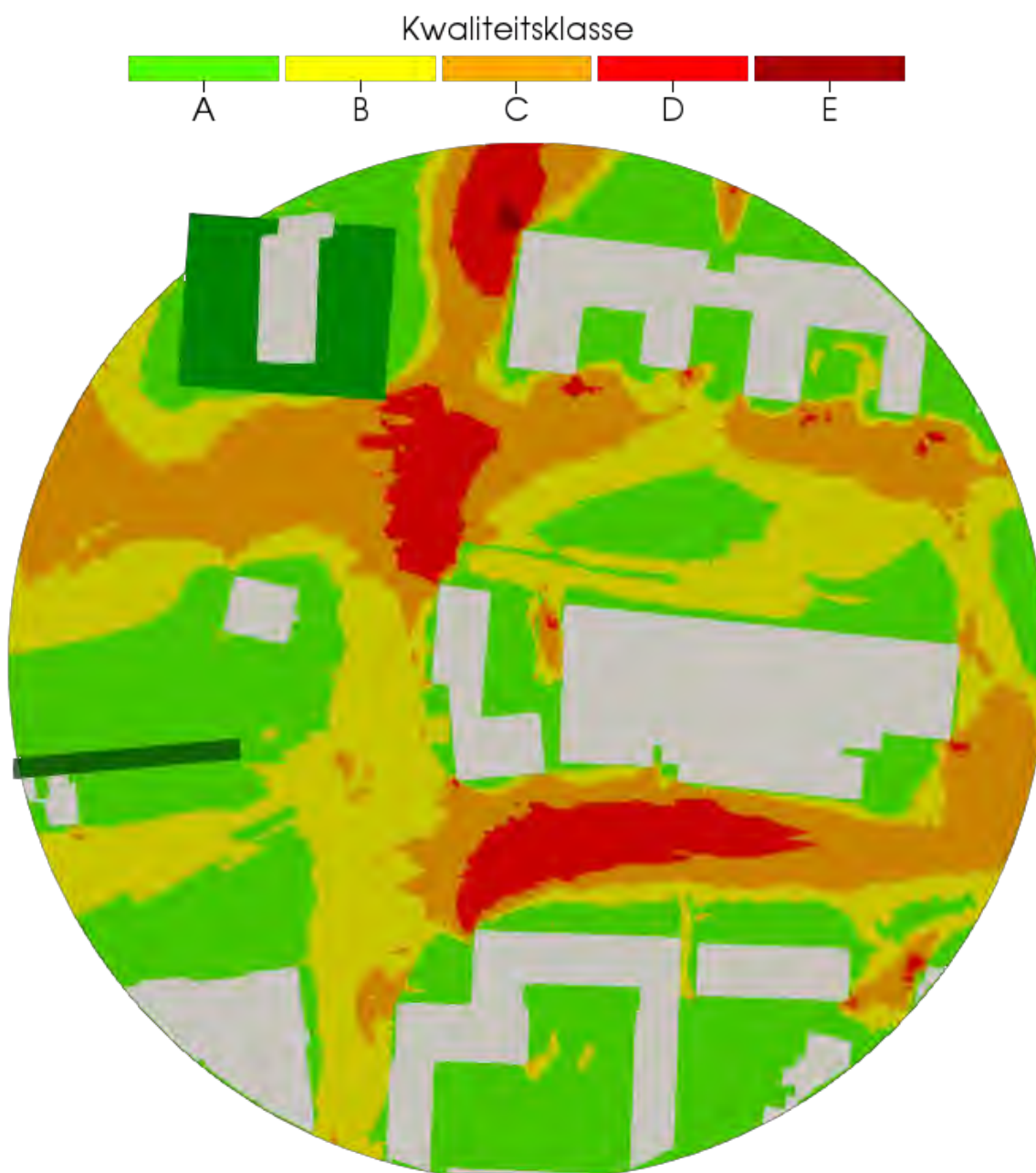
In de lufte van gebouwen en andere obstakels is het windklimaat vanzelfsprekend beter. Verruwing van het terrein (bomen, andersoortige begroeiing, hoogteverschillen) geeft weerstand aan de stroming en is ook gunstig voor het windklimaat. Zoals besproken in paragraaf 3.3 is het gebruikelijk om bomen in eerste instantie weg te laten. Dit geldt ook voor relatief kleine verruwingen en verhogingen van het terrein. Groenvoorzieningen zijn daarom maar in beperkte mate toegevoegd aan het model en het spoortracé is volledig afwezig. In de praktijk biedt het spoortracé voor zowel beschutting als voor verruwing. Hierdoor zal het windklimaat in alle varianten ten noorden van het spoortracé in werkelijkheid gunstiger zal zijn, dan zoals hieronder gepresenteerd.



Figuur 6-1. Kwaliteitsklasse van windklimaat, bouwplan



Figuur 6-2. Kwaliteitsklasse van windklimaat, bouwplan met luifels



Figuur 6-3. Kwaliteitsklasse van windklimaat, vigerend bestemmingsplan

6.1.1 Doorloopgebieden

Figuur 6-4, Figuur 6-5 en Figuur 6-6 tonen de beoordeling van het windklimaat voor de activiteit 'doorlopen'. De beoordeling voor de situatie na realisatie van het bouwplan is als volgt:

1. Looproute en fietsroute langs de St. Ceciliastraat

Op deze routes is het windklimaat overwegend goed. Zonder luifel tussen de gebouwen, is het windklimaat ter hoogte van de de doorgang aan de St. Ceciliastraat matig. Rondom de hoek aan de noordzijde van de toren is het windklimaat voor doorlopen matig tot slecht.

2. Looproute en fietsroute langs de Hart van Brabantlaan

Op deze routes is het windklimaat voor doorlopen goed

3. Calamiteitenroute noordzijde

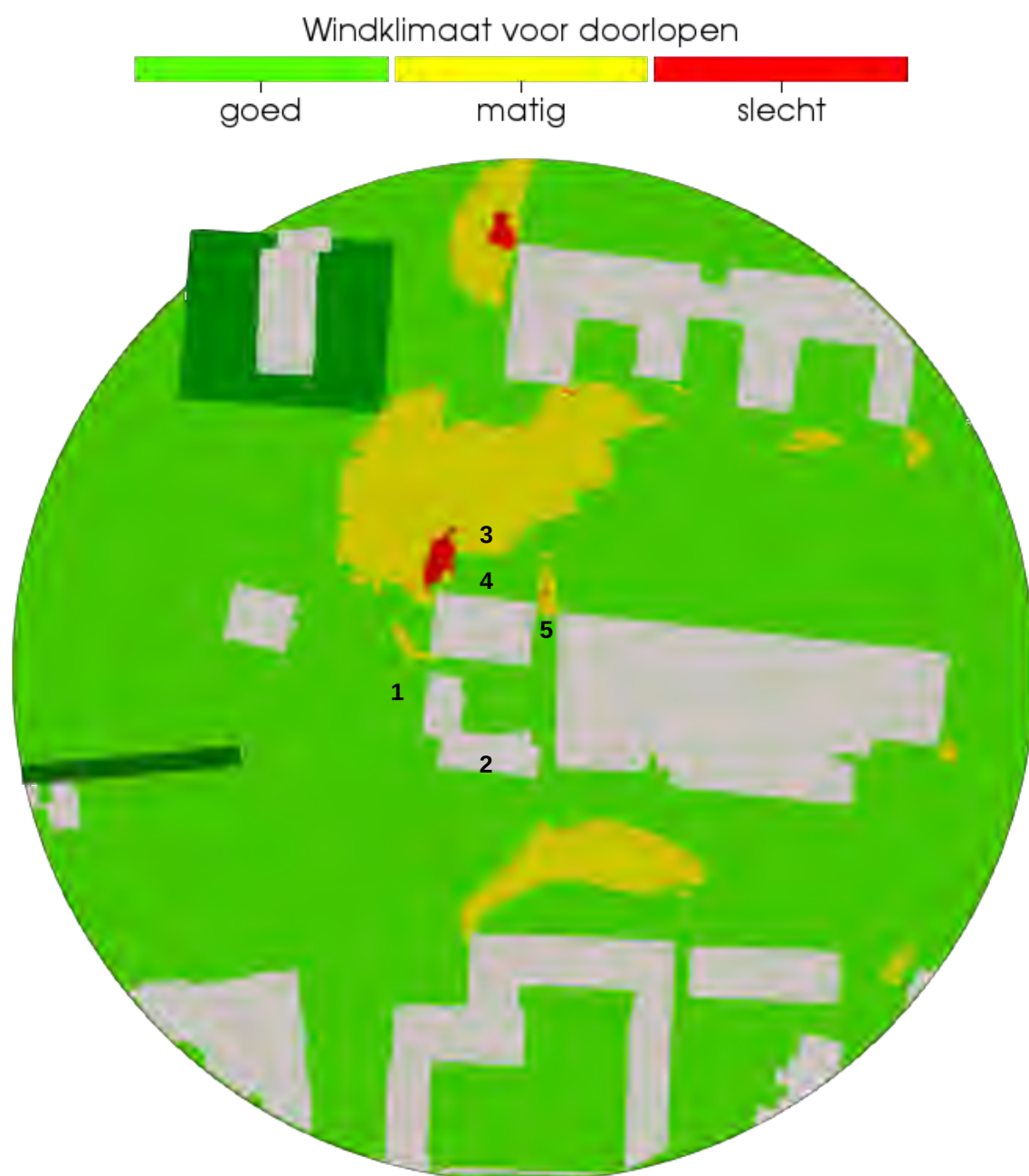
Langs de calamiteitenroute tussen de toren en het spoor is het windklimaat voor doorlopen slecht in de omgeving van de gebouwhoek aan de St. Ceciliastraat. Verder oostelijke richting heerst een goed windklimaat voor doorlopen.

4. Half verdiepte privé stallingsgarage

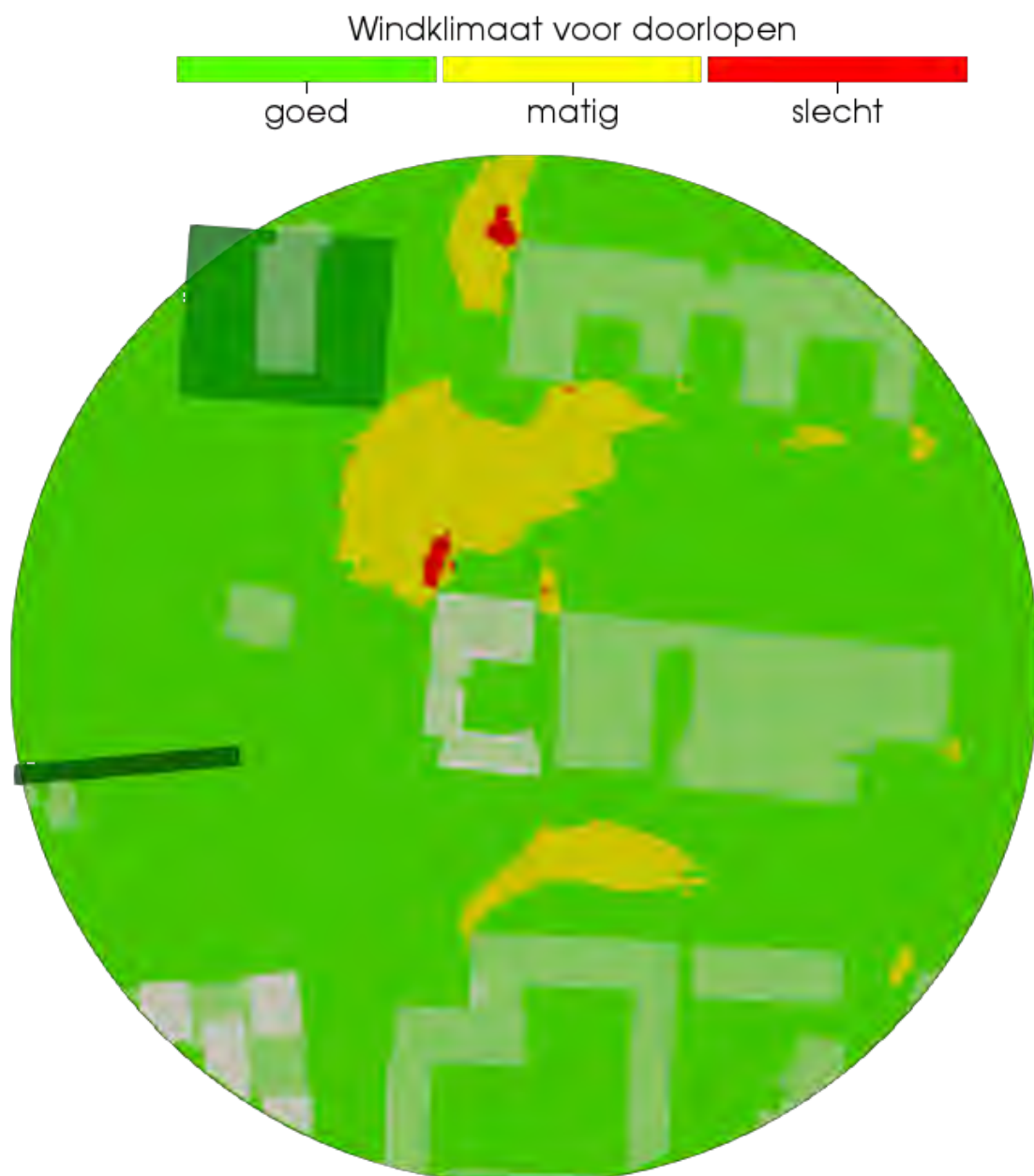
Op het verlaagde parkeerterrein is het windklimaat voor doorlopen goed.

5. Looproutes in de half verdiepte privé stallingsgarage

Op de looproutes in de half verdiepte stallingsgarage is het windklimaat voor doorlopen goed met uitzondering van de doorgang. Daar is ten noorden van het geluidscherm het windklimaat voor doorlopen matig.



Figuur 6-4. Windklimaat voor de activiteit 'doorlopen'; bouwplan



Figuur 6-5. Windklimaat voor de activiteit 'doorlopen'; bouwplan met luifels



Figuur 6-6. Windklimaat voor de activiteit 'doorlopen'; vigerend bestemmingsplan

6.1.2 Slentergebieden

Figuur 6-7, Figuur 6-8 en Figuur 6-9 tonen de beoordeling van het windklimaat voor de activiteit 'slenteren'. De beoordeling voor de situatie na realisatie van het bouwplan is als volgt.

6. Entree toren (St. Ceciliastraat)

Rond de entree van de toren is het windklimaat voor slenteren slecht in de situatie zonder luifels. Met luifels wordt het windklimaat rond de entree matig voor slenteren.

7. Entree laagbouw (Hart van Brabantlaan)

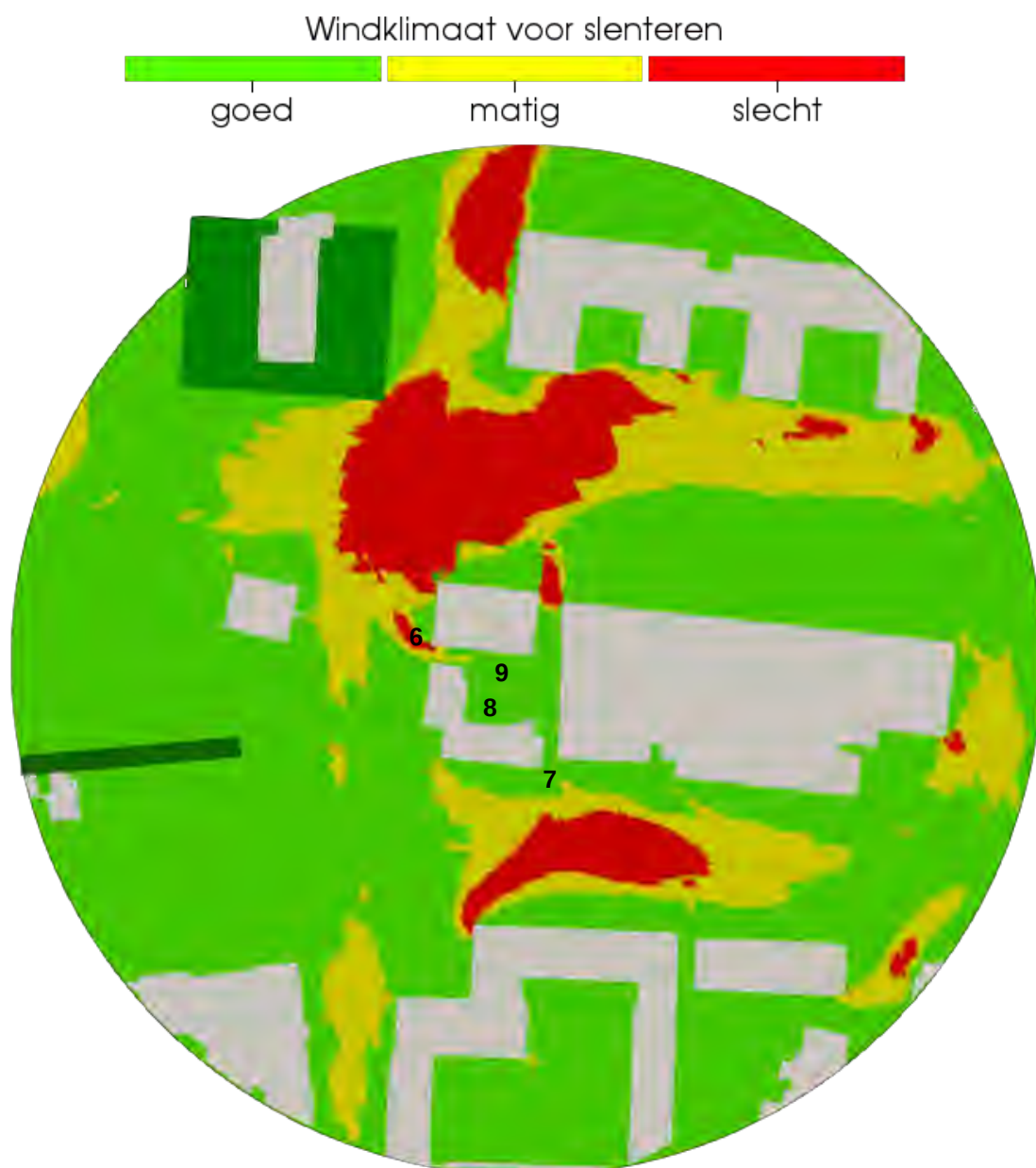
Rond de entree van de laagbouw is het windklimaat voor slenteren goed.

8. Galerij bij laagbouw

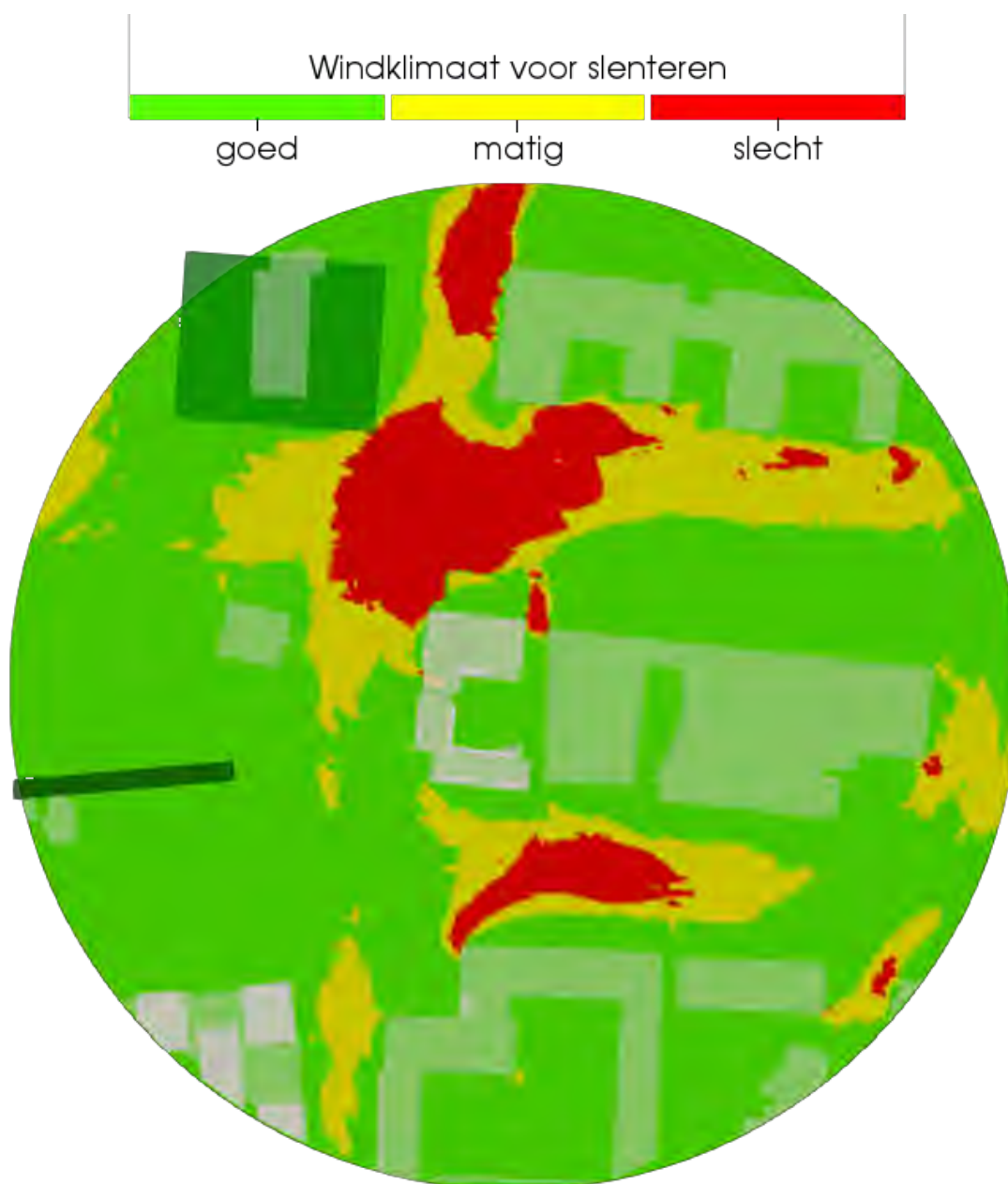
Op deze galerij is het windklimaat voor slenteren goed.

9. Binnenterrein tussen laagbouw en toren (gedeeltelijk)

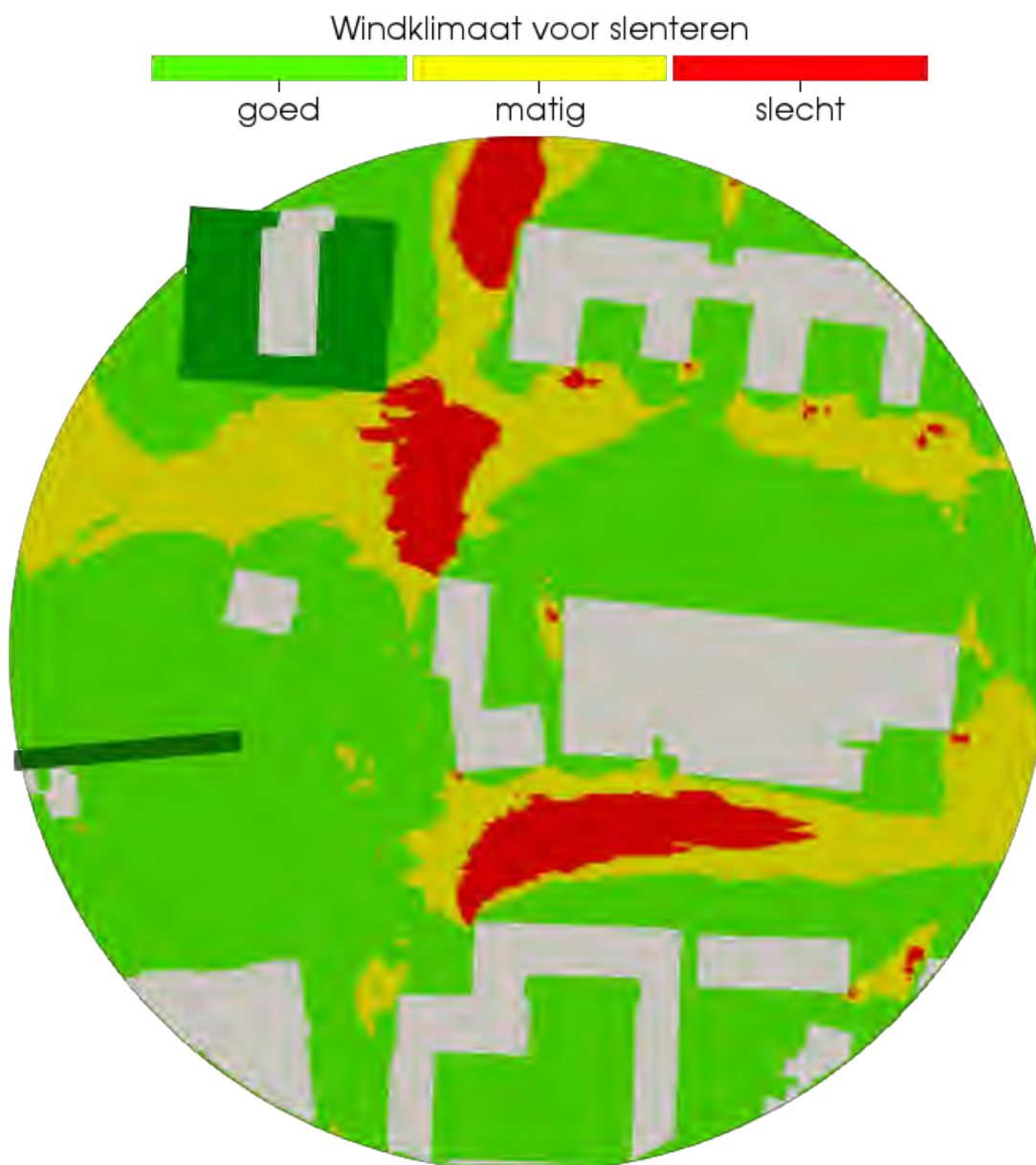
Op het binnenterrein is het windklimaat voor slenteren goed.



Figuur 6-7. Windklimaat voor de activiteit 'slenteren'; bouwplan.



Figuur 6-8. Windklimaat voor de activiteit 'slenteren'; bouwplan met luifels.



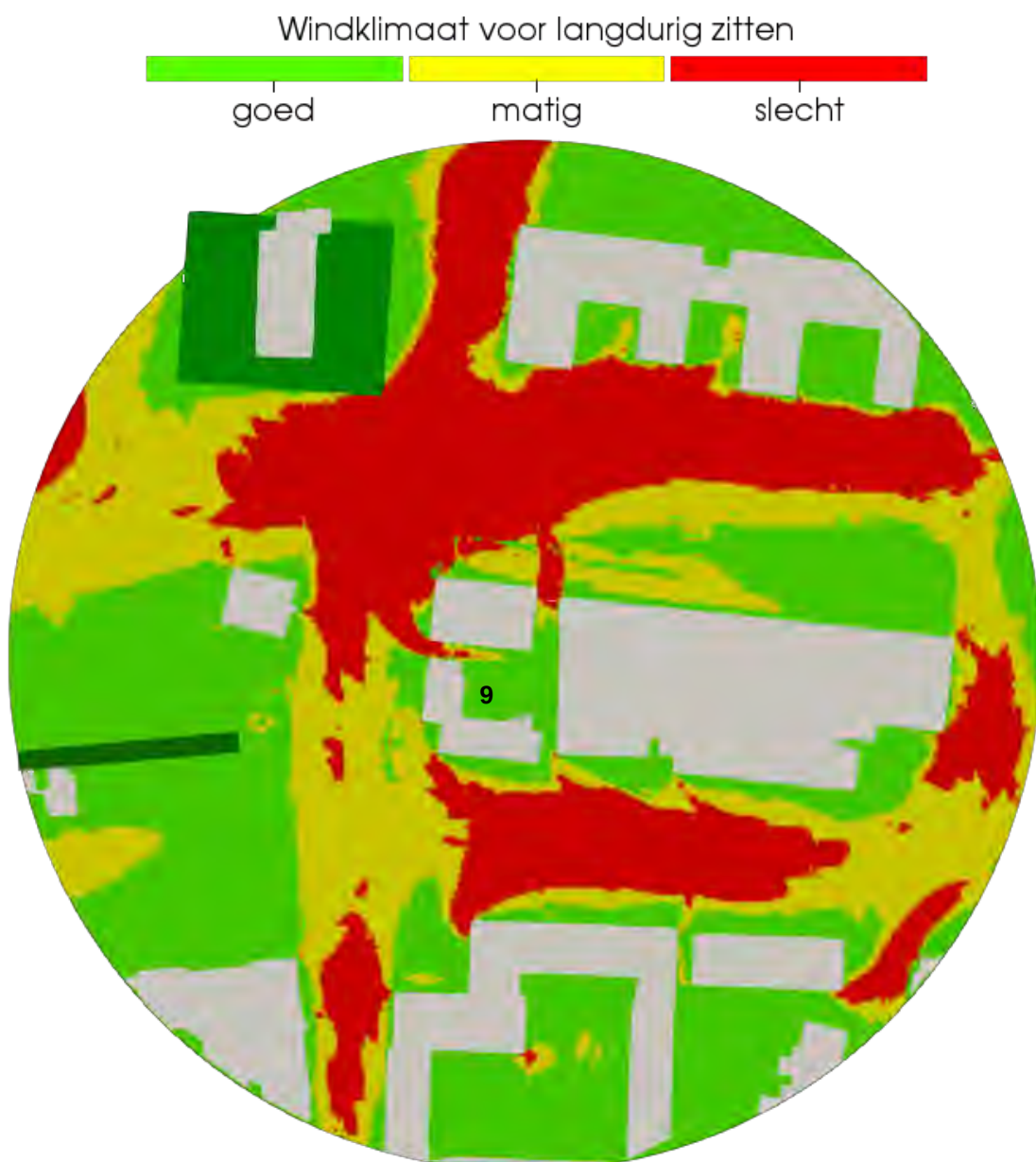
Figuur 6-9. Windklimaat voor de activiteit 'slenteren'; vigerend bestemmingsplan.

6.1.3 Gebieden voor langdurig zitten

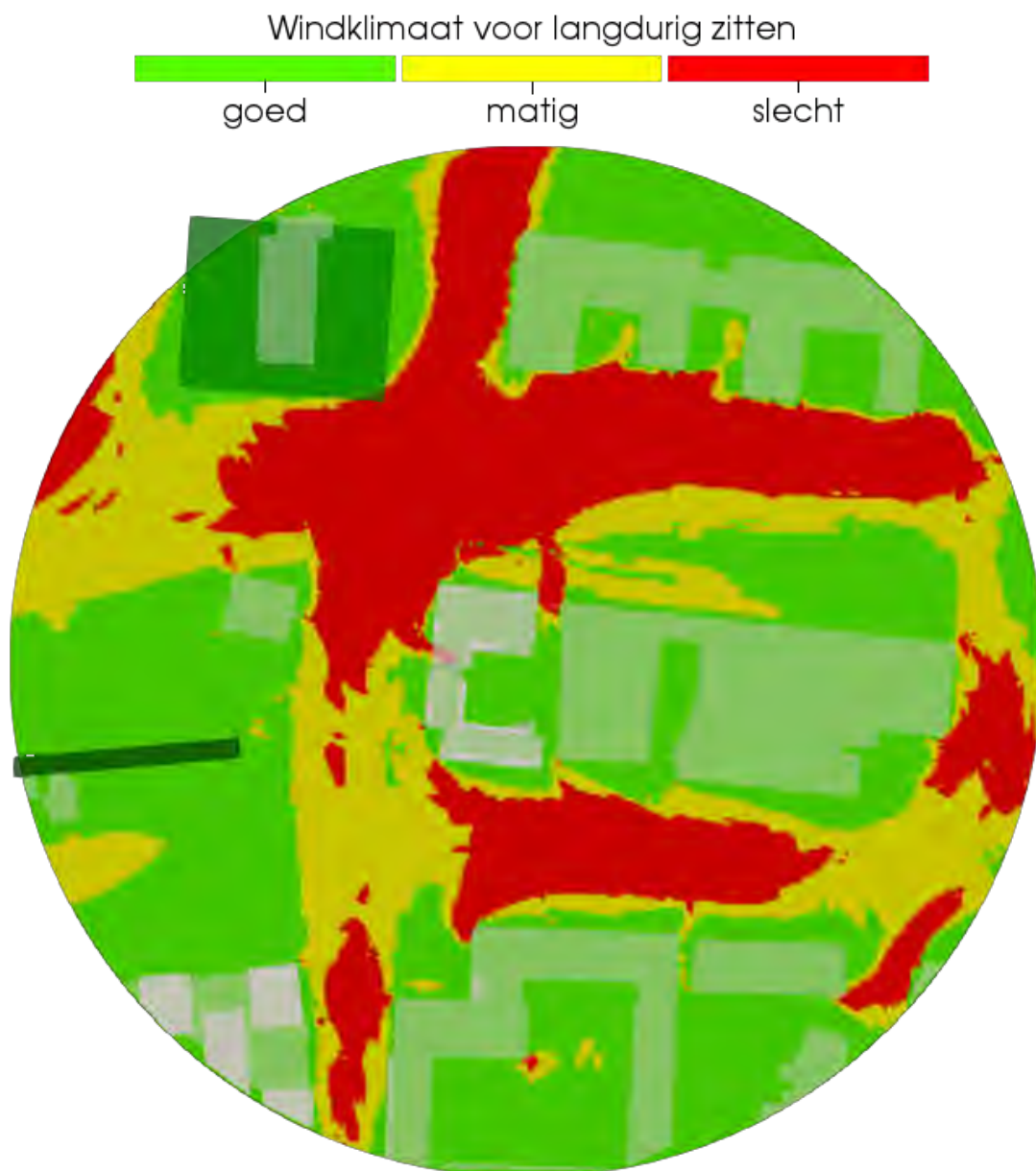
Figuur 6-10, Figuur 6-11 en Figuur 6-12 tonen de beoordeling van het windklimaat voor de activiteit 'langdurig zitten'.

9. Binnenterrein tussen laagbouw en toren (gedeeltelijk)

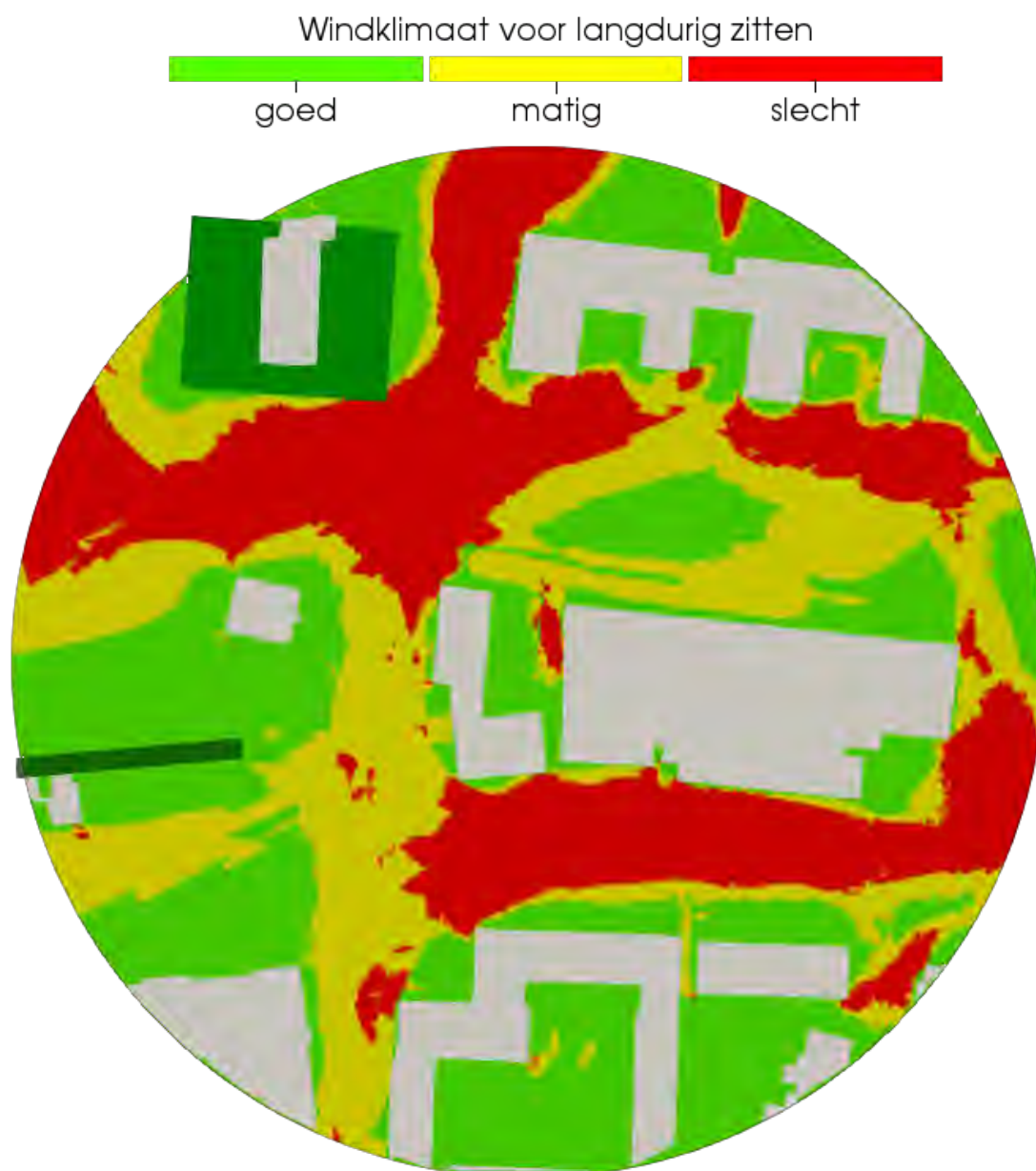
Op het binnenterrein is het windklimaat voor langdurig zitten goed.



Figuur 6-10. Windklimaat voor de activiteit 'langdurig zitten'; bouwplan.



Figuur 6-11. Windklimaat voor de activiteit 'langdurig zitten'; bouwplan met luifels



Figuur 6-12. Windklimaat voor de activiteit 'langdurig zitten'; vigerend bestemmingsplan.

6.2 Windgevaar

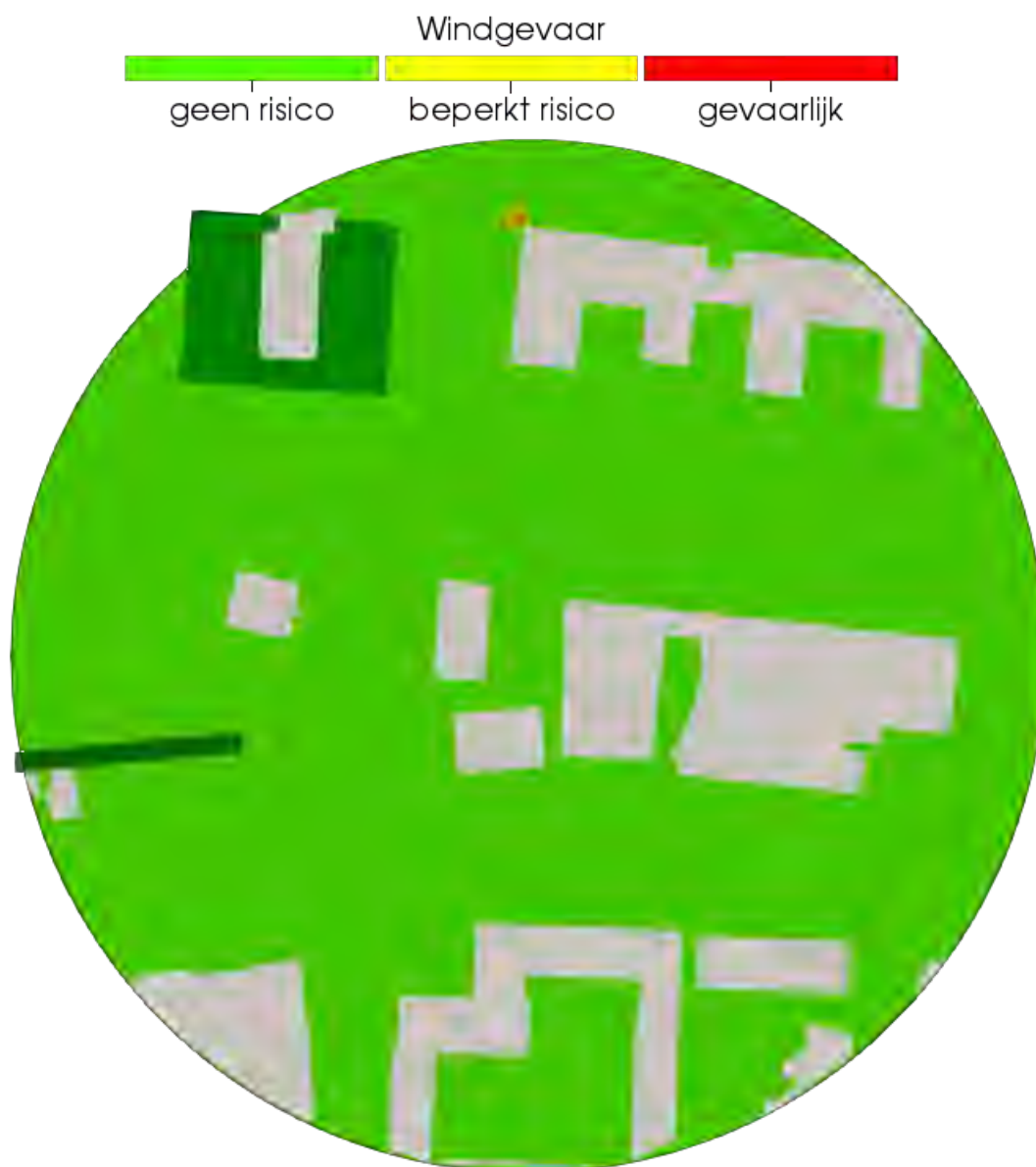
Er doet zich geen windgevaar voor in het plangebied (Figuur 6-13 en Figuur 6-15).



Figuur 6-13. Windgevaar; bouwplan.



Figuur 6-14. Windgevaar; bouwplan met luifels.



Figuur 6-15. Windgevaar; vigerend bestemmingsplan.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Er is een kwantitatief onderzoek uitgevoerd naar het windklimaat rondom bouwplan Talent Square 2 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 niet openbare gebieden zoals de binnenruimte van het bouwplan hoeft niet aan eisen voor de openbare ruimte te voldoen.

Drie situaties zijn onderzocht:

1. De geprojecteerde situatie (bouwplan)
2. De geprojecteerde situatie (bouwplan) met toevoeging van luifels tussen de laagbouw en de hoogbouw.
3. De situatie volgens het vigerend bestemmingsplan

De beoordeling van het windklimaat in de geprojecteerde situatie is als volgt:

1. Op de looproute en fietsroute langs de St. Ceciliastraat is het windklimaat voor doorlopen overwegend goed. In de variant zonder luifels is in omgeving van de doorgang tussen de toren en de laagbouw is het windklimaat voor doorlopen matig. Rondom de hoek aan de noordzijde van de toren is het windklimaat voor doorlopen matig tot slecht.
2. Op de looproute en fietsroute langs de Hart van Brabantlaan is het windklimaat voor doorlopen goed.
3. Langs de calamiteitenroute tussen de toren en het spoor is het windklimaat voor doorlopen slecht in de omgeving van de gebouwhoek aan de St. Ceciliastraat. Verder oostelijke richting heerst een goed windklimaat voor doorlopen.
4. In de verlaagde half verdiepte privé stallingsgarage is het windklimaat voor doorlopen goed
5. Looproutes in de half verdiepte privé stallingsgarage is het windklimaat voor doorlopen goed met uitzondering van de doorgang. Daar is ten noorden van het geluidscherm het windklimaat voor doorlopen matig.
6. Rond de entree van de toren (St. Ceciliastraat) is het windklimaat voor slenteren slecht in de variant zonder luifels. De toevoeging van luifels brengt het windklimaat naar matig.
7. Rond de entree van de laagbouw aan de Hart van Brabantlaan is het windklimaat voor slenteren goed.
8. Op de galerij bij laagbouw is het windklimaat voor slenteren goed.
9. Op het binnenterrein tussen laagbouw en toren is het windklimaat voor slenteren en langdurig zitten goed.

7.2 Aanbevelingen

Het is 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 aanbevelingen richten zich daarom op locaties met een slecht windklimaat voor het beoogde gebruik.

Voor het slechte windklimaat op de noordhoek van de toren aan de St. Ceciliastraat bestaan de volgende opties:

- Accepteren van het slechte windklimaat. Het windklimaat is hinderlijk maar niet gevaarlijk. Het bestaande TTS1 is studentenhuysvesting en TTS2 is bestemd als woongebouw voor starters. Gezien de jonge doelgroep zal het gebied naar verwachting veelal gebruikt worden door jonge mensen die over het algemeen beter bestand zijn tegen hinderlijke wind.

- Het slechte windklimaat kan vermeden worden door de directe omgeving van de noordhoek van de toren ontoegankelijk te maken en looproutes op enige afstand van de hoek te plaatsen.
- Het windklimaat zou kunnen worden verbeterd door het treffen van maatregelen:
 - Het plaatsen van bomen dicht langs de gevel aan de St Ceciliastraat. Deze bomen zullen de neerwaartse stroming vanaf de gevel opvangen. De bomen beschikken bij voorkeur over een brede kruin. Enige voorzichtigheid is geboden. Het plaatsen van bomen op een te grote afstand van de gevel kan ertoe leiden dat de wind vanaf de gebouwgevel onder de kruinen duikt.
 - Het doen van bouwkundige ingrepen. Het aanbrengen van een luifel langs de St. Ceciliastraat zal de gevel de neerwaartse stroming vanaf de gevel opvangen. Ook uitkragingen of insnoeringen in de onderste 15 meter van de toren kunnen de neerwaartse stroming langs de gevel onderbreken.

De toepasbaarheid van deze maatregelen is afhankelijk van de beschikbare ruimte.

Over het algemeen zullen meer bomen in de omgeving ten westen en zuidwesten van het plangebied het windklimaat rondom de planlocatie verbeteren. Dit zal de problemen bij de noordhoek van de toren echter niet oplossen omdat deze primair wordt veroorzaakt door een neerwaartse stroming langs de gevel van de toren/

Het windklimaat rond de entree van de toren aan de St. Ceciliastraat kan worden verbeterd door een luifels aan te brengen aan de zuidgevel van de toren. Deze luifels vangen de neerwaartse stroming langs die gevel op. Uit een aanvullende analyse bleek dat voldoende verbetering kan worden bereikt met een grote luifel in de doorgang. Een additionele kleinere luifel ter hoogte van de binnenplaats is minder effectief.

8 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

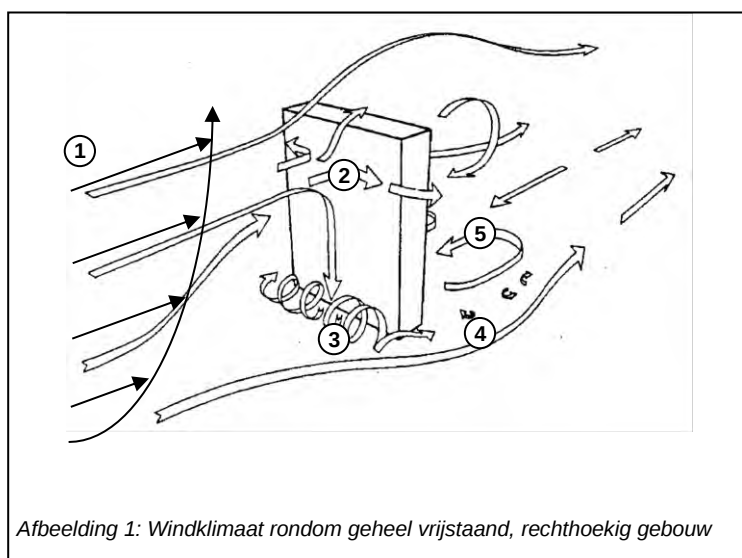
In deze rapportage zijn de criteria voor windhinder en gevaar gegeven, aan deze criteria ligt de optredende windsnelheid ten grondslag. De wind- (of lucht) snelheid op loopniveau wordt in belangrijke mate beïnvloed door de aanwezige gebouwen.

In deze bijlage worden een aantal 'algemene effecten' die optreden in de gebouwde omgeving toegelicht, aan de hand van simpele voorbeelden met één of twee gebouwen. In de praktijk zal het windklimaat nooit bepaald worden door één enkel gebouw. In de werkelijkheid zal de stedenbouwkundige situatie veel complexer zijn en zal de stroming rondom de gebouwen daarmee veel complexer zijn. 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

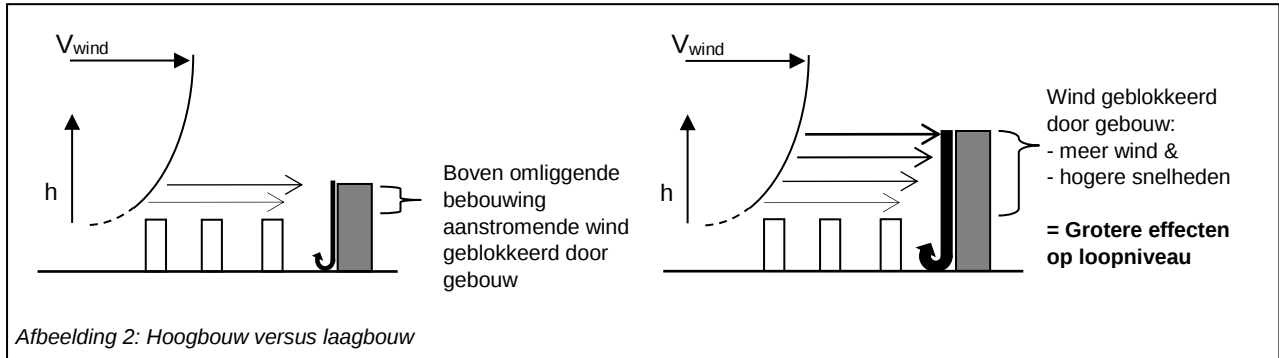
Aan de hand van afbeelding 1 wordt voor een eenvoudige situatie (geheel vrijstaand, rechthoekig gebouw) uitgelegd hoe de windsnelheden door het gebouw worden beïnvloed.

1. Op enige hoogte boven de bebouwde omgeving is de "ongestoorde" windsnelheid groter dan op loophoogte, waar de wind ten gevolge van beschutting door gebouwen wordt afgeremd.
2. De aanstromende lucht wordt door het gebouw geblokkeerd. Langs en over het gebouw ontstaan hogere luchtsnelheden, aangezien de totale hoeveelheid aanstromende lucht moet worden afgevoerd. Voor het gebouw ontstaat een stuwpunt.
3. Een deel van de, met hogere snelheid 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.



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	Talent Square Tilburg
Opdrachtgever	Van de Ven Bouw en Ontwikkeling
Projectleider	Paul van Gent
Datum	12-05-2020
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	285 m x 285 m x 60 m
Blokkeringsgraad	<3%
Gemodelleerd groen	Stromingsweerstand en turbulentie (Green, 1992)
Onderzochte windrichtingen	12
Onderzochte configuraties	Bouwplan met en zonder luifels Vigerend bestemmingsplan
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 (alle windrichtingen)
Uitlaat	Constante druk
Zijwanden	Gesloten
Boven	Gesloten, constante druk, turbulente kinetische energie en dissipatie
Vloer/bodem	Ruwe wand, no slip

Gegevensverwerking en beoordeling	Informatie voor locatie en beoordeling windklimaat			
Amersfoortse coördinaten	X = 133246, Y = 396779			
Toegepaste eisen (NEN8100)	V _{DR} m/s	Gewenste kwaliteits-klasse	Overschrijdings-kans (%)	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>			$P(V_{LOK} > V_{DR:G})$	
Slenteren	15,0		0,05 - 0,30	
Zitten	15,0		≤ 0,30	
Gepresenteerde resultaten	Grafische weergaven van kwaliteitsklasse, beoordeling en windgevaar.			
Opmerkingen				

Deerns Nederland B.V.

Bouwfysica & Energie
Anna van Buerenplein 21F
2595 DA Den Haag
bouwfysica@deerns.com
www.deerns.nl