



Rijnhaven Rotterdam

Windklimaatonderzoek met behulp van CFD

Rijnhaven Rotterdam

Windklimaatonderzoek met behulp van CFD



opdrachtgever	Gemeente Rotterdam
rapportnummer	O 16497-2-RA-005
datum	26 september 2024
referentie	LA/JGZ//O 16497-2-RA-005
verantwoordelijke	dr. ir. L. Aanen
opsteller	ir. J. Groot Zevert 085 8228661 j.grootzevert@peutz.nl

peutz bv, postbus 66, 6585 zh mook, +31 85 822 86 00, mook@peutz.nl, www.peutz.nl

kvk 12028033, opdrachten volgens DNR 2011, lid NLingenieurs, btw NL.004933837B01, ISO-9001:2015

mook – zoetermeer – groningen – eindhoven – düsseldorf – dortmund – berlijn – nürnberg – leuven – parijs – lyon

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Normstelling en uitgangspunten	5
2.1	Beslismodel NEN 8100	5
2.2	Windhinder en windgevaar volgens NEN 8100	5
2.2.1	Windhinder	5
2.2.2	Windgevaar	6
2.3	Windklimaat op de locatie	7
2.4	Simulatie windsnelheden met CFD	9
3	Rekenresultaten	10
3.1	Basissituatie	11
3.2	Situatie zonder torens	13
3.3	Situatie met aangepaste torens met set-backs	15
3.4	Situatie met getrapte torens en vernieuwd maaiveld	17
3.5	Mogelijkheden tot verbetering van het windklimaat	18
4	Samenvatting en conclusies	20

1 Inleiding

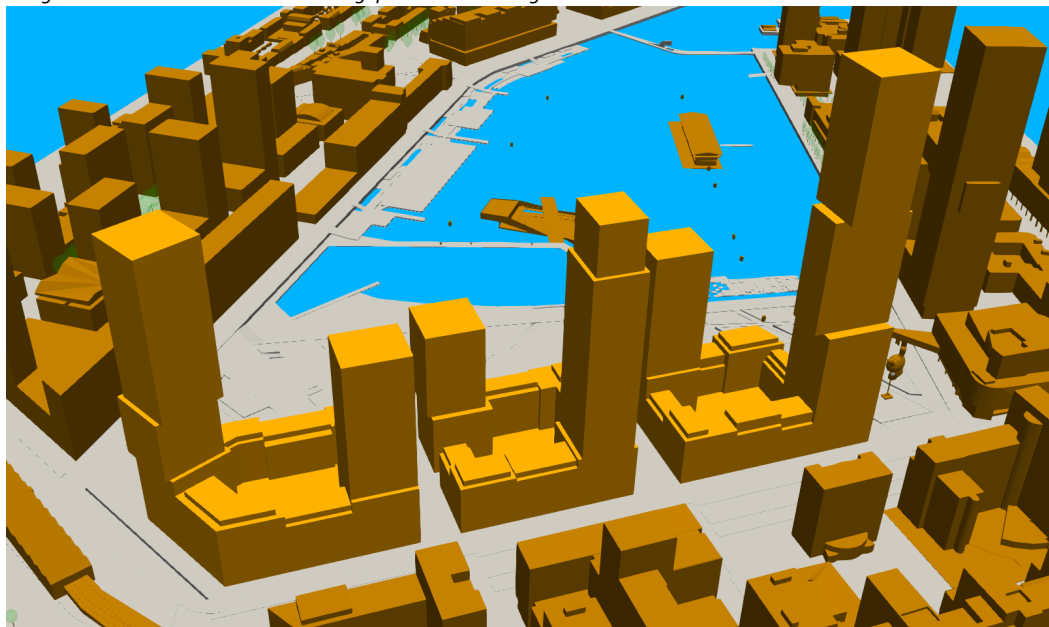
In opdracht van Gemeente Rotterdam is met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) een indicatief onderzoek verricht naar de te verwachten windklimaatssituatie rondom de geplande bebouwing van het plangebied Rijnhaven Rotterdam.

Voor het vervaardigen van het CFD model is onder meer gebruik gemaakt van een door de gemeente aangeleverd 3D model. In totaal is een gebied gemodelleerd is van circa 1400 bij 1400 meter.

Het doel van het onderzoek was het vaststellen en beoordelen van het te verwachten windklimaat in de directe omgeving van de geplande bebouwing. Hierbij gaat het in eerste instantie om het verkrijgen van inzicht in de te verwachten knelpunten en de invloed van keuzes in de volume opbouw op het windklimaat.

Voor de opzet van het onderzoek en de beoordeling van het windklimaat is uitgegaan van de Nederlandse norm NEN 8100:2006 *Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving*.

f1.1 Het gehanteerde 3D-basismodel van de geplande bebouwing



In dit rapport wordt verslag gedaan van het verrichte onderzoek waarbij de volgende indeling is gehanteerd. In hoofdstuk 2 worden de normstelling en uitgangspunten van het onderzoek toegelicht. De rekenresultaten worden gepresenteerd in hoofdstuk 3 van dit rapport. Tot slot is in hoofdstuk 4 een samenvatting van het onderzoek opgenomen en worden conclusies gegeven.

2 Normstelling en uitgangspunten

2.1 Beslismodel NEN 8100

De beoordeling van het windklimaat met betrekking tot windhinder en windgevaar, is in Nederland vastgelegd in de norm NEN 8100. Om te bepalen of windhinder en/of windgevaar te verwachten is, kan in eerste instantie gebruik worden gemaakt van het beslismodel in de NEN 8100. Hierin wordt onder meer beschreven in welke situaties windklimaatonderzoek nodig is. Voor gebouwen met een hoogte vanaf 30 meter wordt nader onderzoek met CFD- of windtunnelsimulatie noodzakelijk geacht. Gezien de geplande bouwhoogte van maximaal 250 meter, wordt het uitvoeren van een windklimaatonderzoek als noodzakelijk beschouwd.

2.2 Windhinder en windgevaar volgens NEN 8100

De gevoeligheid van de mens voor wind is sterk afhankelijk van de activiteit waarmee men bezig is. Bij een laag activiteitsniveau (bijvoorbeeld wachten bij een bushalte, op een terrasje zitten) zullen lagere windsnelheden als hinderlijk ervaren kunnen worden dan bij een hoger activiteitsniveau. In de NEN 8100 wordt voor de beoordeling van het windklimaat derhalve onderscheid gemaakt tussen verschillende activiteitenklassen. Bij hogere windsnelheden kan tevens sprake zijn van gevaarlijke situaties zoals evenwichtsverlies bij het passeren van gebouwhoeken en dergelijke. Hiervoor wordt getoetst aan het specifieke gevaarcriterium.

2.2.1 Windhinder

Windhinder is iets wat in geen geval geheel te voorkomen is: als het stormt is de wind hinderlijk, wat voor maatregelen er ook getroffen worden. Het is daarom ook de kans op windhinder, die maatgevend gehouden wordt voor de beoordeling van het windklimaat. Voor windhinder wordt een drempelwaarde $v_{DR,H}$ aangehouden van 5 m/s uurgemiddelde windsnelheid op loop- of verblijfsniveau. Bij deze windsnelheid gaan mechanische effecten bij de ervaring van het windklimaat een rol spelen zoals bijvoorbeeld het omslaan van paraplu's, in de ogen waaien van stof en in meer extreme vorm het dichtwaaien van een autoportier en dergelijke.

Aan de hand van onderstaande tabel 2.1, afkomstig uit de NEN 8100, wordt een beoordeling gegeven van de te verwachten mate van windhinder.

t2.1 Criteria windhinder volgens NEN 8100

Overschrijdingskans $p(v_{\text{lok}} > v_{\text{DR,H}})$ in procenten van het aantal uren per jaar	Kwaliteitsklasse	Activiteit		
		I. Doorlopen	II. Slenteren	III. Langdurig zitten
< 2,5	A	Goed	Goed	Goed
2,5 – 5	B	Goed	Goed	Matig
5 – 10	C	Goed	Matig	Slecht
10 – 20	D	Matig	Slecht	Slecht
≥ 20	E	Slecht	Slecht	Slecht

Afhankelijk van de activiteitenklasse wordt de waardering van het lokale windklimaat gekwalificeerd met 'goed', 'matig' of 'slecht' (zie tabel 2.1). Bij een goed windklimaat ondervindt men geen overmatige windhinder. In een situatie zonder overmatige windhinder heeft het merendeel van het publiek onder normale omstandigheden geen last van windhinder. Bij een matig windklimaat ervaart men af en toe overmatige windhinder. In een slecht windklimaat ervaart men regelmatig overmatige windhinder. In een dergelijke situatie heeft het merendeel van het publiek last van windhinder. Er wordt naar gestreefd, om binnen de verschillende activiteitenklassen, een goed, eventueel nog matig windklimaat te realiseren. Activiteitenklasse 'langdurig zitten' is dusdanig kritisch dat deze met terughoudendheid wordt toegepast. Op terrassen en buitenruimten wordt om deze reden meestal uitgegaan van het criterium voor slenteren in plaats van langdurig zitten, met een streefwaarde van minder dan 5%.

Opgemerkt kan worden dat de norm de mogelijkheid biedt om de criteria voor windhinder wat te versoepelen in gebieden waar veel wind verwacht wordt, zoals kustgebieden. Het publiek zal minder kritisch zijn als het, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van open water, wind verwacht.

2.2.2 Windgevaar

Voor windgevaar wordt 15 m/s uurgemiddelde windsnelheid als drempelwaarde $v_{\text{DR,G}}$ gehanteerd.

Op basis van tabel 2.2, afkomstig uit de NEN 8100, wordt bepaald of sprake is van windgevaar.

t2.2 Criteria windgevaar volgens NEN 8100

Overschrijdingskans $p(v_{\text{lok}} > v_{\text{DR,G}})$ in procenten van het aantal uren per jaar	Kwalificatie
$0,05 < p < 0,30$	Beperkt risico
$p \geq 0,30$	Gevaarlijk

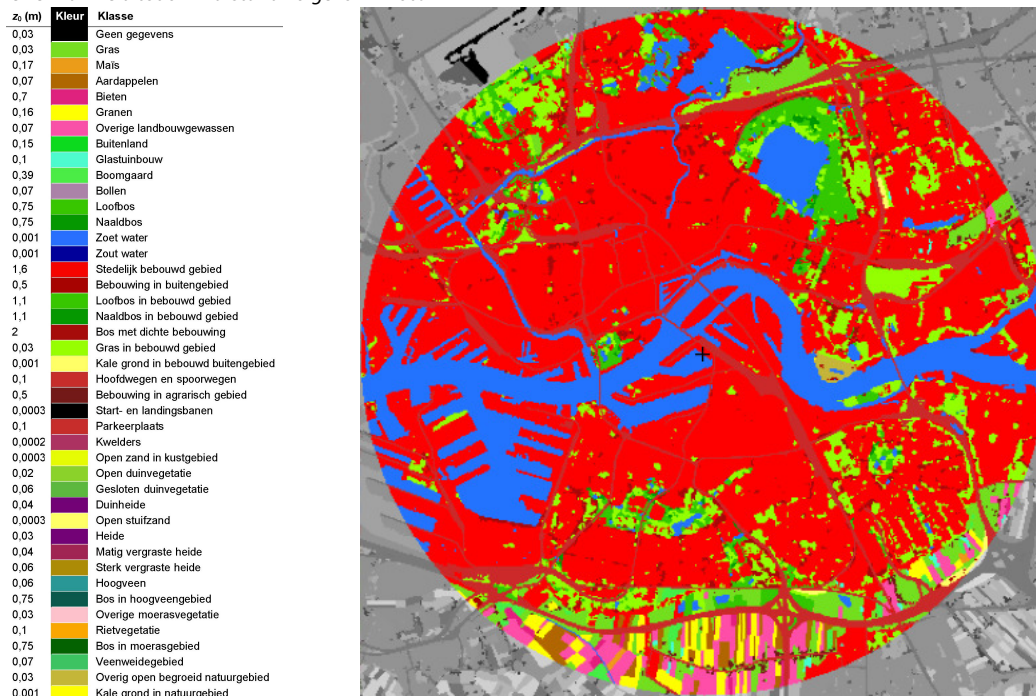
De norm stelt: "Situaties waarvoor een overschrijdingskans geldt van $0,05 < p < 0,30$ mogen alleen worden geaccepteerd als deze vallen binnen activiteiten klasse I (doorlopen). Voor activiteiten klasse II en III geldt de eis $p \leq 0,05$.

Situaties met een overschrijdingskans van $p \geq 0,30$ zijn evident gevaarlijk en behoren te allen tijde te worden vermeden; het publiek mag hier niet aan worden blootgesteld."

2.3 Windklimaat op de locatie

Voor de vertaling van de resultaten van de berekeningen naar de werkelijke situatie wordt gebruik gemaakt van een windstatistiek. De NEN 8100 verwijst voor de benodigde meteogegevens naar de NPR 6097:2006 *Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland*. Met behulp van de bijbehorende software wordt voor de specifieke locatie een windstatistiek berekend op basis van meteogegevens van een groot aantal meteostations en gegevens omtrent terreinruwheden tot 6 km afstand van het plan. De terreinruwheden van het omliggend gebied worden per categorie weergegeven in figuur 2.1. De kleur geeft de terreinruwheid aan, rood staat bijvoorbeeld voor stedelijk bebouwd gebied.

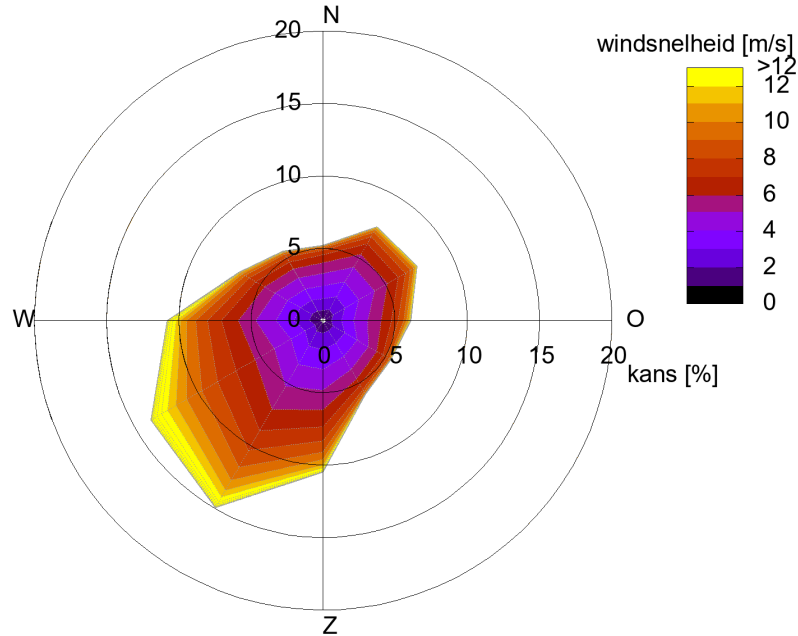
f2.1 *Terreinruwheid tot 6 km afstand volgens NPR 6097*



In figuur 2.2 is de op basis van de NPR 6097 berekende windroos op 60 meter hoogte boven de betreffende locatie weergegeven. In de windroos wordt de kans op het voorkomen van wind uit een bepaalde richting weergegeven alsmede de verdeling van windsnelheden binnen de betreffende richtingen. Uit de windroos en onderstaande windstatistiek (tabel 2.3) blijkt dat op de bouwlocatie met name bij wind uit het zuiden tot westen de hoogste windsnelheden optreden en dat de wind relatief vaak uit het zuidwesten (210° en 240°) komt. Door de invloed van de Maas zijn de windsnelheden vanuit het westen relatief hoog. De zuidwesten tot westen wind is hiermee voor een groot deel bepalend voor het windklimaat op de bouwlocatie.

f2.2 Windroos betreffende locatie volgens NPR 6097

Windroos voor locatie X093540 Y435644.



t2.3 Windstatistiek van de betreffende locatie volgens NPR 6097

Distributief overzicht windsnelheden 60 meter op basis van NPR 6097 in uren per jaar											
Positie X093540 Y435644 Jaar 1963-2002											
wind snelheid	Noord 0°	30°	60°	Oost 90°	120°	150°	Zuid 180°	210°	240°	West 270°	330°
0.0 - 0.9	14.4	17.1	17.5	13.1	19.8	17.3	17.0	17.3	11.7	20.9	17.8
1.0 - 1.9	49.6	60.7	54.6	40.1	53.2	56.1	61.1	60.2	44.0	62.3	51.9
2.0 - 2.9	70.9	88.9	83.8	59.6	82.8	83.8	99.8	99.8	70.7	94.9	72.2
3.0 - 3.9	78.1	104.4	96.2	76.1	84.9	94.7	120.7	129.9	98.6	109.1	91.5
4.0 - 4.9	73.2	103.3	109.2	83.4	78.9	90.9	124.6	155.9	118.9	122.1	88.3
5.0 - 5.9	64.6	90.8	93.8	81.4	60.3	67.1	119.2	160.3	132.6	107.1	72.4
6.0 - 6.9	47.2	72.7	72.4	61.5	41.2	42.9	103.0	148.0	135.1	103.4	62.7
7.0 - 7.9	29.8	50.3	50.2	41.2	29.8	30.7	84.6	138.1	130.9	85.0	43.9
8.0 - 8.9	13.8	30.8	36.9	34.5	15.1	17.1	65.8	115.5	110.7	69.4	29.7
9.0 - 9.9	7.9	19.5	22.4	18.5	5.6	9.8	45.7	93.2	102.8	55.9	19.4
10.0 - 10.9	3.8	11.0	13.7	11.9	2.6	4.0	32.3	68.3	76.3	36.5	11.3
11.0 - 11.9	2.0	4.5	7.2	6.3	1.1	1.6	19.7	49.4	58.0	27.0	6.1
12.0 - 12.9	1.4	2.3	3.0	3.7	0.4	0.6	12.0	31.6	44.4	20.1	2.5
13.0 - 13.9	0.5	1.5	0.6	1.4	0.3	0.3	6.3	19.3	30.0	14.6	1.1
14.0 - 14.9		0.2	0.3	0.8			3.2	10.9	18.3	8.3	0.7
15.0 - 15.9			0.1	0.3			1.3	5.3	11.3	5.4	0.3
16.0 - 16.9				0.1			0.7	2.8	7.0	3.3	0.2
17.0 - 17.9							0.6	1.7	3.4	2.2	0.1
18.0 - 18.9							0.2	0.9	2.3	0.9	
19.0 - 19.9								0.1	1.2	0.7	
20.0 - 20.9								0.1	0.8	0.3	
21.0 - 21.9								0.1	0.3	0.1	0.1
22.0 - 22.9									0.1	0.1	
23.0 - 23.9									0.2	0.1	
24.0 - 24.9									0.1		
25.0 - 25.9									0.1	0.1	
26.0 - 26.9											
27.0 - 27.9											
28.0 - 28.9											
29.0 - 29.9											
30.0 - 30.9											
31.0 - 31.9											
32.0 - 32.9											
33.0 - 33.9											
34.0 - 34.9											
35.0 - 35.9											
36.0 - 36.9											
37.0 - 37.9											
38.0 - 38.9											
39.0 - 39.9											
aantal uren	457.2	658.0	661.9	533.9	476.0	516.9	917.8	1308.7	1209.8	949.8	590.1
gemiddelde snelheid	4.4	4.8	5.0	5.2	4.2	4.3	5.6	6.5	7.3	6.1	4.8

2.4 Simulatie windsnelheden met CFD

Voor het uitvoeren van een windklimaatonderzoek beschikt Peutz over een eigen windtunnel. Als het gaat om relatief eenvoudige bebouwingssituaties, of bebouwingssituaties waar op voorhand van wordt verwacht dat geen grote windproblemen op gaan treden, kan worden volstaan met een numerieke simulatie met Computational Fluid Dynamics (CFD). In deze situatie is in overleg met de opdrachtgever, met name gezien het stadium waarin de ontwikkelingen zich bevinden, van deze onderzoeksmethode uitgegaan. De rekenmethode is aan de hand van eerder uitgevoerde windtunnelprojecten gevalideerd.

De grenslaagstroming die in de praktijk (bij neutrale stabiliteit ten aanzien van het temperatuurprofiel) aanwezig is wordt aan de rand van het CFD-model opgewekt zodat het juiste windprofiel (afhankelijk van de terreinruwheid) wordt gesimuleerd. Verfijning van de lokale windsituatie vindt plaats door de direct omliggende bebouwing en begroeiing mee te modelleren.

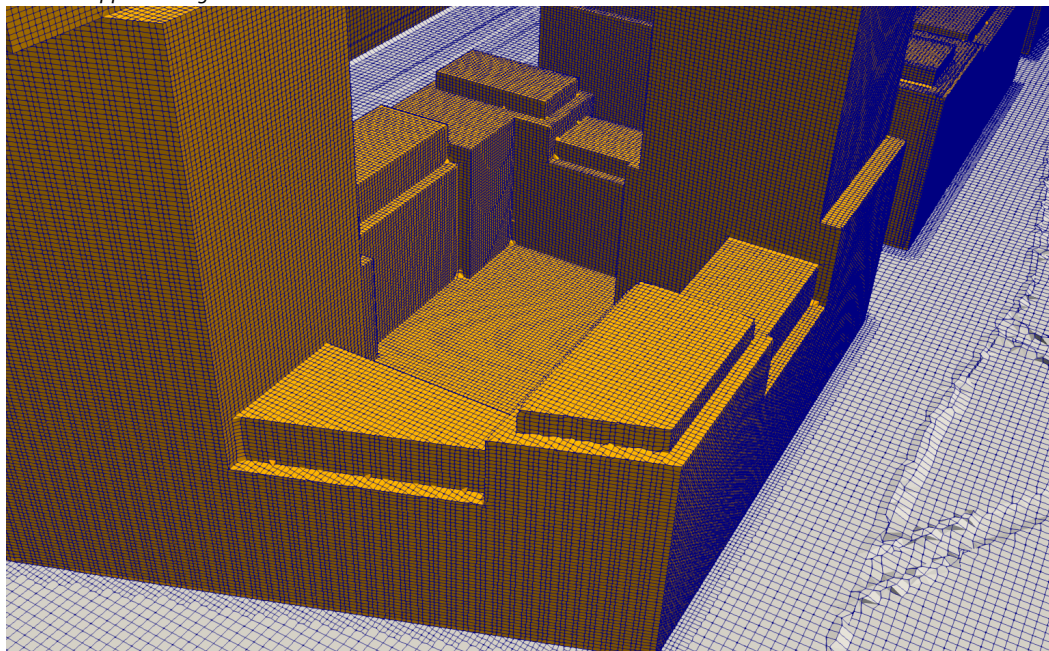
De windsnelheden rondom het project worden met het CFD-model voor 12 windrichtingen berekend. Met behulp van de windstatistiek voor de bouwlocatie, zoals berekend in navolging van de NPR 6097, wordt vervolgens per windrichting de overschrijdingskans voor de kritische uurgemiddelde windsnelheden van 5 en 15 m/s voor respectievelijk windhinder en windgevaar bepaald. De totale overschrijdingskans is de som van de overschrijdingskansen per windrichting, ook wel de hinderkans en de gevaarkans genoemd. Deze worden vervolgens getoetst aan de NEN 8100 om het lokale windklimaat te kunnen beoordelen.

In bijlage 1 is het technisch inlegvel, conform de NEN 8100, opgenomen. Het technisch inlegvel bevat een aantal rubrieken en aandachtspunten die een kort, schetsmatig overzicht geven van de relevante zaken van de CFD-berekeningen.

3 Rekenresultaten

In figuur 3.1 is een aanzicht gegeven van het rekengrid ter plaatse van een deel van de geplande bebouwing.

f3.1 Aanzicht oppervlakte grid rekenmodel



Het toekomstige windklimaat wordt beoordeeld op basis van de uitgevoerde CFD-berekeningen, de windstatistiek van de betreffende locatie en de grenswaarden zoals beschreven in de paragrafen 2.2.1 en 2.2.2 betreffende windhinder en windgevaar.

De resultaten worden beoordeeld door in een horizontale doorsnede op hoofdhoogte (1,75 meter boven plaatselijk maaiveldniveau) de berekende hinderkans met kleurcontouren voor de geplande bebouwingssituatie weergegeven. De kleuren zijn afgestemd op de beoordelingscriteria uit de NEN 8100. Bij de beoordeling van het windklimaat wordt onderscheid gemaakt tussen de categorieën doorlopen en slenteren. Het criterium voor slenteren is van toepassing bij bijvoorbeeld gebouwentrees. Op de meeste plaatsen zal het gebied beoordeeld worden voor doorlopen. De resultaten kunnen gebruikt worden voor het bepalen waar windgevoelige functies zonder aanvullende maatregelen mogelijk zijn.

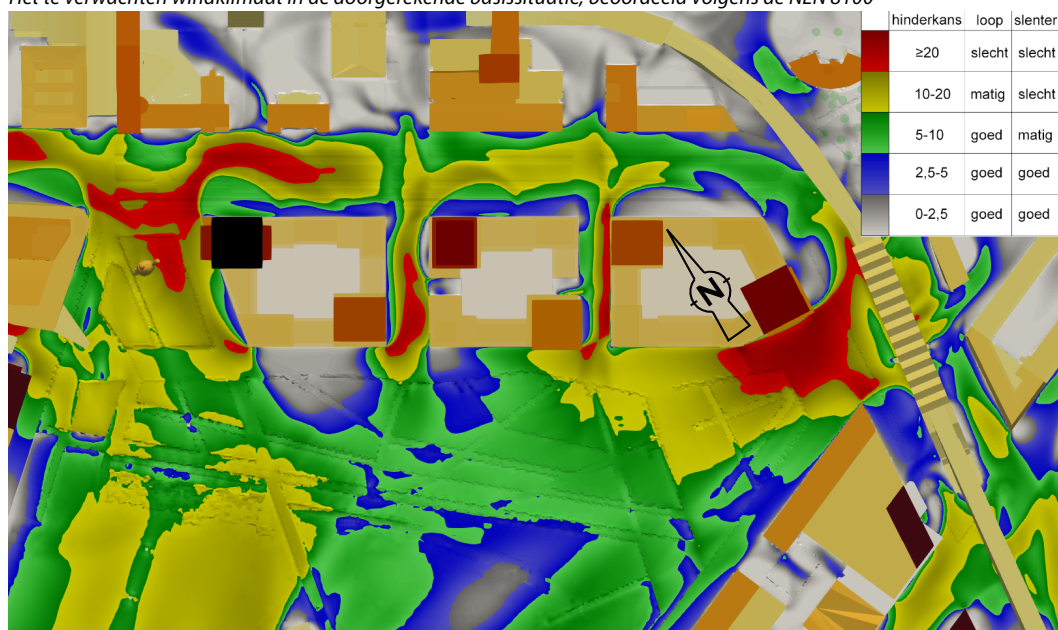
Naast het aspect windhinder is ook het aspect windgevaar beoordeeld.

3.1 Basissituatie

In de basissituatie is een realistische invulling van de mogelijke bebouwing met een hoogte van 200 meter in het plangebied aangehouden.

In figuur 3.2 wordt het resulterende windklimaat weergegeven. Figuur 3.3 geeft een beeld van de te verwachten mate van windgevaar rond de bouwplannen.

f3.2 Het te verwachten windklimaat in de doorgerekende basissituatie, beoordeeld volgens de NEN 8100



f3.3 De te verwachten kans op windgevaar in de doorgerekende basissituatie, beoordeeld volgens de NEN 8100



Bij het beoordelen van het windklimaat moet bedacht worden dat het uitgangspunt voor het windklimaat ongunstig is. Door de ligging aan de Rijnhaven komt de overheersende, zuidwesten wind vrij aanstromen over een fors water oppervlak. Ook zonder de aanwezigheid van enige vorm van (extra) bebouwing is het windklimaat op veel plekken al matig voor doorlopen. Mede door de ligging aan open water zal het publiek ook meer wind accepteren dan bijvoorbeeld in een meer binnenstedelijke situatie. Mede in verband met deze effecten biedt de NEN 8100 ook de mogelijkheid om in kustgebieden het windklimaat minder streng te beoordelen.

Door niet het bestemmingsplanvolume maar een mogelijke uitwerking door te rekenen, wordt voorkomen dat doordat een bestemmingsplanvolume soms significant groter is dan het te realiseren bouwvolume een te ongunstig beeld van het te verwachten windklimaat wordt gevormd. Desondanks blijkt dat er op een aantal punten significante gebieden zijn waar er een slecht windklimaat te verwachten is (rood in figuur 3.2), waarbij er ook sprake is van een overschrijding van het criterium voor windgevaar (rood in figuur 3.3). De gebieden met een slecht windklimaat worden met name gevonden in de invloedsgebieden van de torens aan de zuidwestzijde van de blokken. Valwinden van de torens stromen op laag niveau rond de torens waardoor hogere windsnelheden ontstaan.

Wat met name bij de oostelijke toegang tot het gebied mee speelt is dat door geleiding van de wind door de huidige en de geplande bebouwing, die samen een trechtervorm hebben, in combinatie met de open ligging aan de haven, ook zonder de torens al een ongunstig windklimaat te verwachten is. Dit verklaart voor een deel het grote gebied met een slecht windklimaat voor doorlopen op deze locatie. Dat het uitgangspunt ongunstig is, blijkt ook uit het feit dat het windklimaat boven de haven zelf, waar er geen invloed is van de bebouwing, ook reeds matig voor doorlopen is.

Het windklimaat bij de noordelijke toegang wordt voor een groot deel bepaald door de 200 m hoge toren op de hoek van het bouwblok. Wat hierbij mee speelt is dat de toren zijn brede gevel op het zuidwesten heeft, waardoor deze bij de overheersende windrichtingen veel wind vangt. Dit leidt dan ook tot een groot gebied met een slecht windklimaat, waarbij er sprake is van een overschrijding van het criterium voor windgevaar.

De vorm van de gebieden met een slecht windklimaat in de tussen straatjes tussen de blokken wordt voor een deel verklaard door de windstatistiek: de grootste kans op hogere windsnelheden is bij westen tot zuidwesten wind. Dit in combinatie met de valwinden van torens leidt tot het ongunstige windklimaat zoals dat uit de berekeningen volgt.

Zeker het optreden van windgevaar in het openbaar gebied toont de noodzaak aan de vorm en/of positie van de torens aan te passen, gericht op het verbeteren van het windklimaat.

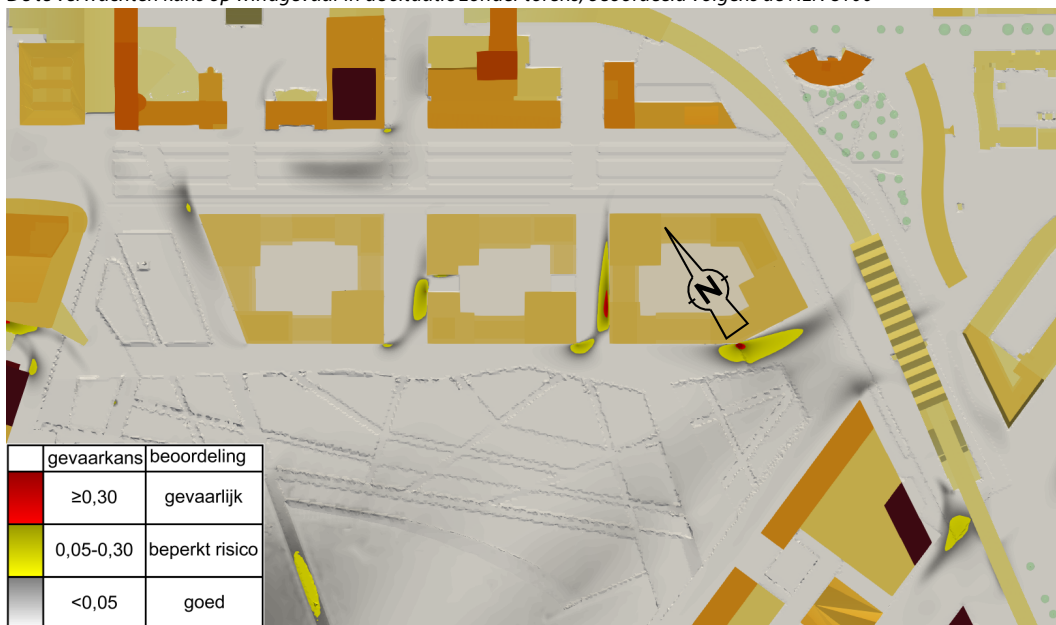
3.2 Situatie zonder torens

Om vast te kunnen stellen tot in hoeverre het windklimaat bepaald wordt door de open ligging, is een berekening uitgevoerd, waarbij er geen torens in het model zijn opgenomen. In figuur 3.4 wordt het resulterende windklimaat weergegeven. Figuur 3.5 geeft een beeld van de te verwachten mate van windgevaar rond de bouwplannen.

f3.4 Het te verwachten windklimaat in de situatie zonder torens, beoordeeld volgens de NEN 8100



f3.5 De te verwachten kans op windgevaar in de situatie zonder torens, beoordeeld volgens de NEN 8100



Uit de resultaten blijkt dat zonder de torens het slechte windklimaat voor doorlopen vrijwel volledig verdwenen is. Alleen lokaal bij het oostelijke blok is er nog sprake van een slecht windklimaat, waarbij er zeer lokaal nog sprake is van een overschrijding van het criterium voor windgevaar.

In forse gebieden is nog sprake van een matig eindklimaat voor doorlopen. Wat verder opvalt is dat boven de haven het windklimaat veelal wat achteruit gaat. Op deze afstand van de torens hebben deze een windremmende werking. Uiteindelijk fungeren ze op wat grotere afstand als ruwheid die het windklimaat verbetert.

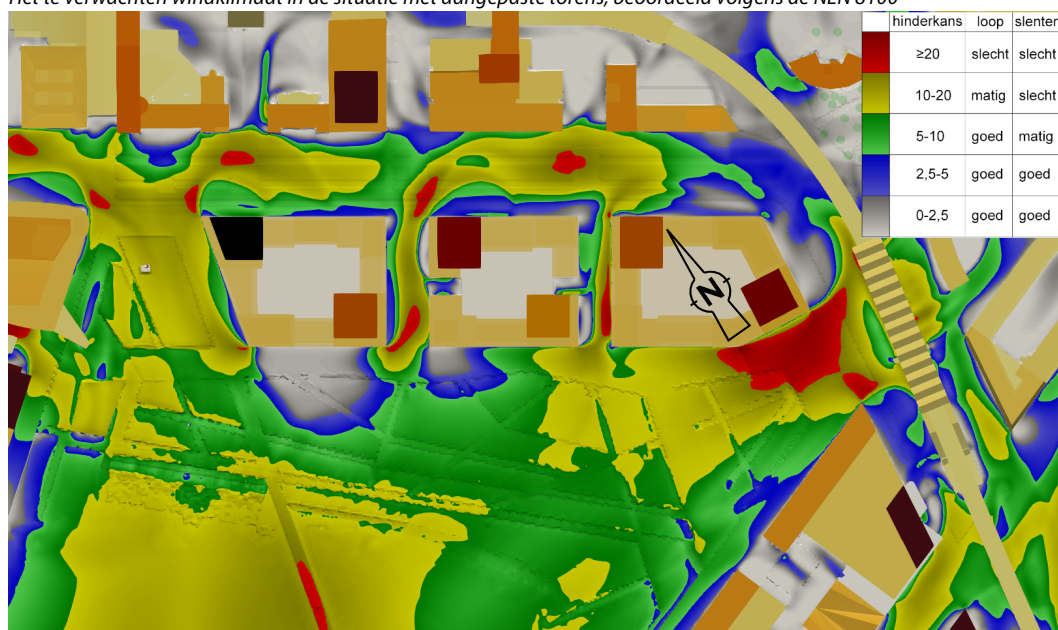
Er kan geconcludeerd worden dat de torens dus verantwoordelijk zijn voor een groot deel van het slechte windklimaat en windgevaar. Er ligt daarmee een opgave bij het ontwerpen van de torens teneinde de negatieve effecten van de torens zo veel als mogelijk te beperken.

3.3 Situatie met aangepaste torens met set-backs

Om een beeld te krijgen wat binnen de huidige planopbouw mogelijk is, is de torenvorm geoptimaliseerd en zijn waar mogelijk set-backs toegepast.

In figuur 3.6 wordt het resulterende windklimaat weergegeven. Figuur 3.7 geeft een beeld van de te verwachten mate van windgevaar rond deze configuratie.

f3.6 Het te verwachten windklimaat in de situatie met aangepaste torens, beoordeeld volgens de NEN 8100



f3.7 De te verwachten kans op windgevaar in de situatie met aangepaste torens, beoordeeld volgens de NEN 8100





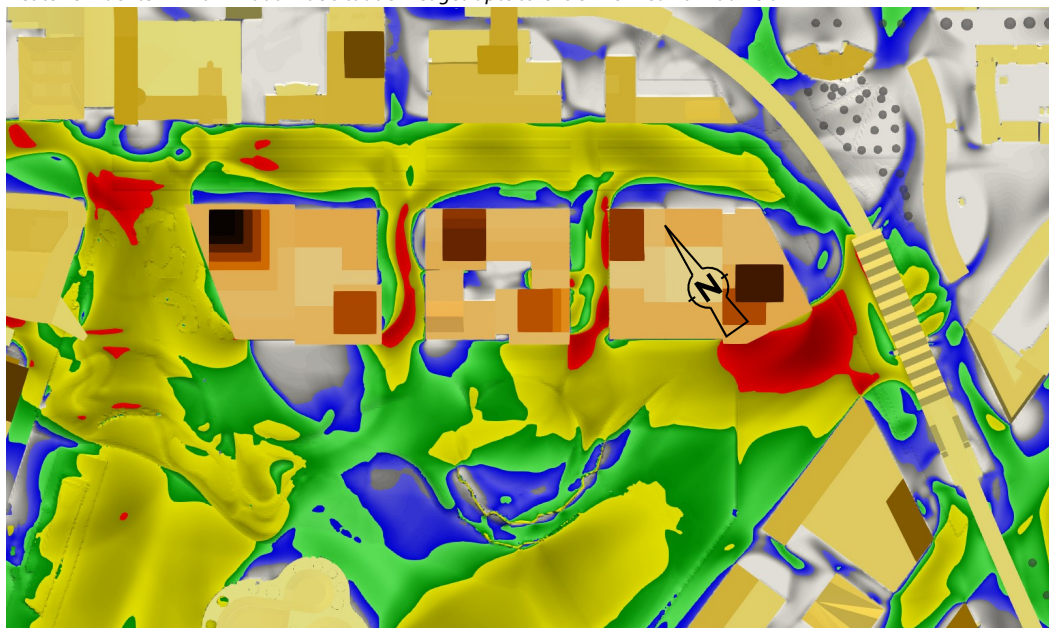
De resultaten tonen aan dat door een meer geoptimaliseerde torenvorm, waarbij het aangestroomde oppervlak van de torens bij zuidwesten wind verkleind is en de valwinden van de torens door het toepassen van set-backs zo goed mogelijk worden gebroken, het windklimaat significant verbetert. Wel blijft er bij de oostelijke toegang tot het gebied een groot gebied met een slecht windklimaat. Er is op een aantal punten lokaal nog sprake van een overschrijding van het criterium voor windgevaar. Daarnaast zijn er een paar gebiedjes met een beperkt risico op windgevaar.

De wijzigingen aan de torens en de toegepaste set-backs hebben wel een significant positief effect op het windklimaat, maar zijn nog onvoldoende om windgevaar geheel te voorkomen en het windklimaat te laten voldoen aan de ambities van de gemeente. Een verdere optimalisatie van de torens en de laagbouw is derhalve noodzakelijk.

3.4 Situatie met getrapte torens en vernieuwd maaiveld

Ter aanvulling op het voorgaande onderzoek is in januari 2022 de situatie met getrapte torens (voorbeeld verkaveling gemeente) tot 250 meter hoogte, en een aangepast maaiveld onderzocht. Het recent vastgestelde schetsontwerp Rijnhavenpark is ingevoegd in het maaiveld, maar zonder de geplande begroeiing. Daarnaast is het nieuwe gebouw in de haven mee gemodelleerd. In figuur 3.8 wordt het resulterende windklimaat weergegeven. Figuur 3.9 geeft een beeld van de te verwachten mate van windgevaar rond de bouwplannen.

f3.8 Het te verwachten windklimaat in de situatie met getrapte torens en vernieuwd maaiveld



f3.9 De te verwachten kans op windgevaar in de situatie met getrapte torens en vernieuwd maaiveld



Vergeleken met de resultaten van de basissituatie vallen de hinderkansen in aan de noord- en zuidhoek van het plan iets gunstiger uit. Op de meeste plekken blijft de kans op hinder vergelijkbaar met de basissituatie. Tussen de verschillende bouwdelen van het plan verplaatst het slechte windklimaat zich meer naar het midden van de doorloop. De verhoging van 200 meter in de basissituatie naar 250 meter geeft weinig verslechtering van het windklimaat.

Door het gebouw in het water in combinatie met de nieuwe terreinverschillen is het windklimaat op een deel van het terrein gunstiger geworden.

De gevaarkansen zijn grotendeels vergelijkbaar met die in de basissituatie, met een lichte verbetering van de hinderkansen aan de zuidhoek van het plan, en een toename van de gevaarkans op de straat aan de noordoostzijde van het plan.

Gezien de te verwachten hinder- en gevaarkansen is een verdere optimalisatie van het windklimaat noodzakelijk. Indien windgevaar optreedt op plekken waar geen publiek komt is dat acceptabel. Indien windgevaar optreedt op locaties waar publiek kan komen is dit niet acceptabel, en is het treffen van maatregelen noodzakelijk. Een beperkt risico op windgevaar mag volgens de norm geaccepteerd worden in doorloopgebieden, niet in slentergebieden of gebieden voor langdurig zitten.

3.5 Mogelijkheden tot verbetering van het windklimaat

De berekening aan de situatie zonder toren leert dat een deel van het ongunstige windklimaat veroorzaakt wordt door de plint van de bebouwing. Ook deze heeft een relatief grote hoogte, en ligt volledig open voor de overheersende, zuidwesten wind. Een verbetering van het windklimaat kan dan tot stand komen door de laagbouw aan de

zuidwestkant van het plan lager te maken, zodat de wind meer over de gebouwen weg kan stromen, en daardoor minder tussen de gebouwen doorstroomt en om de hoeken heen naar beneden slaat.

Een andere mogelijke oplossingsrichting is het sterk afronden van de torens, om zo de afstroming van de wind rond te toren te verbeteren. Op basis van kennis en ervaring kan worden gesteld dat deze aanpassing een fors positief effect op de te verwachten windhinder en het te verwachten windgevaar zal hebben. Binnen de bestemmingsplanvolumes is er met name voor de meest oostelijke toren daarvoor ook ruimte.

Voor de torens de overige torens wordt geadviseerd deze gezien vanuit het zuidwesten zo slank mogelijk te maken en zo goed mogelijk te voorzien van een set-back voor de zuiden tot westen wind.

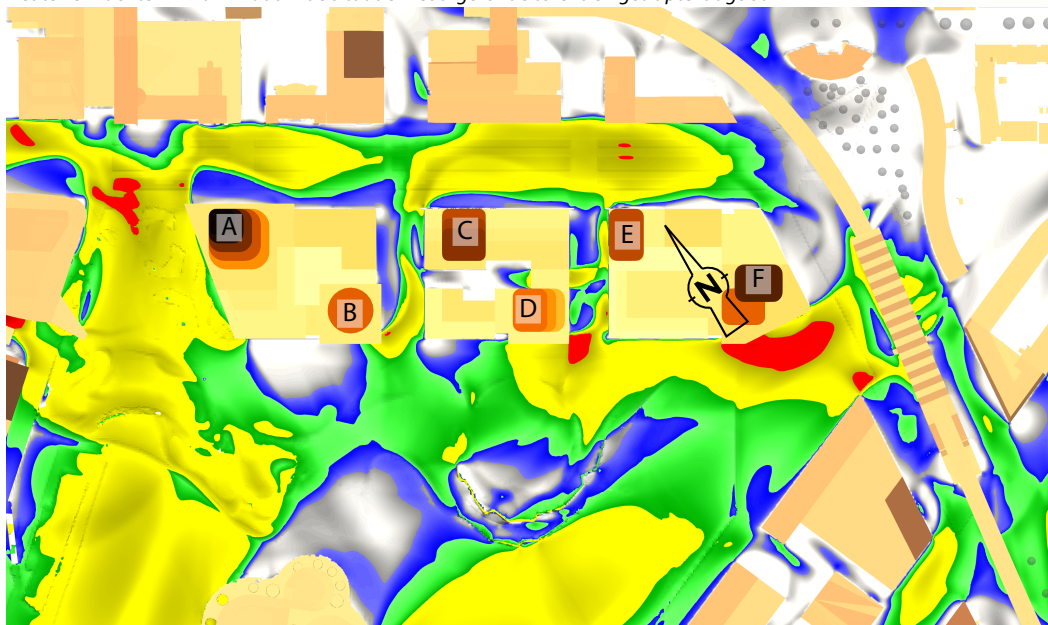
Bij de oostelijke toegang tot het gebied is het slechte windklimaat voor een deel het gevolg van de trechtervorm gevormd door de bestaande en de geplande bebouwing, en niet zo zeer door valwinden van de gevels. Dit geldt in mindere mate ook voor de entree tot het gebied bij het Luxor theater. Verbeteren van het windklimaat kan hier door het plaatsen van voldoende windremmende elementen in het maaiveld. Bij het plaatsen van begroeiing zal deze zorgvuldig gekozen moeten worden: door de hoge hinderkans zullen veel soorten het niet overleven. Het plaatsen van schermen of bouwkundige elementen, zoals kiosken, heeft daarom windtechnisch gezien de voorkeur.

3.6 Situatie met afgeronde torens, getrapte laagbouw

Ter aanvulling op het voorgaande onderzoek is in mei 2022 de situatie met afgeronde torens tot 250 meter hoogte, en een getrapte laagbouw onderzocht. De hoeken van de toren A, bij het Luxorplein, is afgerond met een straal gelijk aan 30% van de breedte van de toren. Toren B is volledig rond, torens D en F zijn afgerond met een straal gelijk aan 20% van de breedte van de toren. Toren D is ook 2,5 meter naar links verschoven op de laagbouw. Torens C en E zijn afgerond met een straal gelijk aan 15% van de breedte van de toren. De laagbouw van de het middelste en het rechterblok is getrapt.

Daarnaast is het nieuwe gebouw in de haven, en het vastgestelde schetsontwerp Rijnhavenpark, zonder de geplande begroeiing, mee gemodelleerd. In figuur 3.10 wordt het resulterende windklimaat weergegeven. Figuur 3.11 geeft een beeld van de te verwachten mate van windgevaar rond de bouwplannen.

f3.10 Het te verwachten windklimaat in de situatie met afgeronde torens en getrapte laagbouw



Door de aanpassingen zijn de gebieden met een slecht windklimaat significant in omvang afgenomen. In de tussenstraten is het windklimaat nu vrijwel overal minimaal klasse D, matig voor doorlopen. Het gebied met een slecht windklimaat bij toren F is fors in omvang afgenomen. Er is nu een route door het gebied mogelijk waarbij er geen slecht windklimaat is. Gezien de ligging aan de Rijnhaven en het feit dat er in de berekening nog helemaal geen rekening is gehouden met de invloed van de geplande begroeiing op het windklimaat, zou dit resultaat als acceptabel kunnen worden gezien.

f3.11 De te verwachten kans op windgevaar in de situatie met afgeronde torens en getrapte laagbouw



De resultaten laten zien dat het afronden van de torens een aanpassen van de laagbouw zorgen voor een aanzienlijke afname van de te verwachten mate van windgevaar. Alleen nog in doorgang tussen het middelste en rechter blok is zeer lokaal sprake van een overschrijding van het gevaarcriterium, waar de omstroming van de toren midden voor en de wind door de doorgang in het middelste blok samen komen. Het gebied waar windgevaar optreedt is in dit resultaat echter zo klein, dat het te verwaarlozen is. Met zeer kleine aanpassingen in de gebouwwolumes of openbare ruimte, is het optreden van windgevaar daarmee al te voorkomen. Het is zelfs goed mogelijk dat gezien de locatie vlak voor de gevel, bij een ontwerp, waarbij er enige gevelruwheid is in de vorm van bijvoorbeeld balkons, er al geen windgevaar meer is. Op basis van deze studie kan daarom geconcludeerd worden dat de hier doorgerekende maatregelen op overtuigende wijze zorgen voor het wegnemen van het windgevaar in en rondom de Rijnhavenontwikkeling.

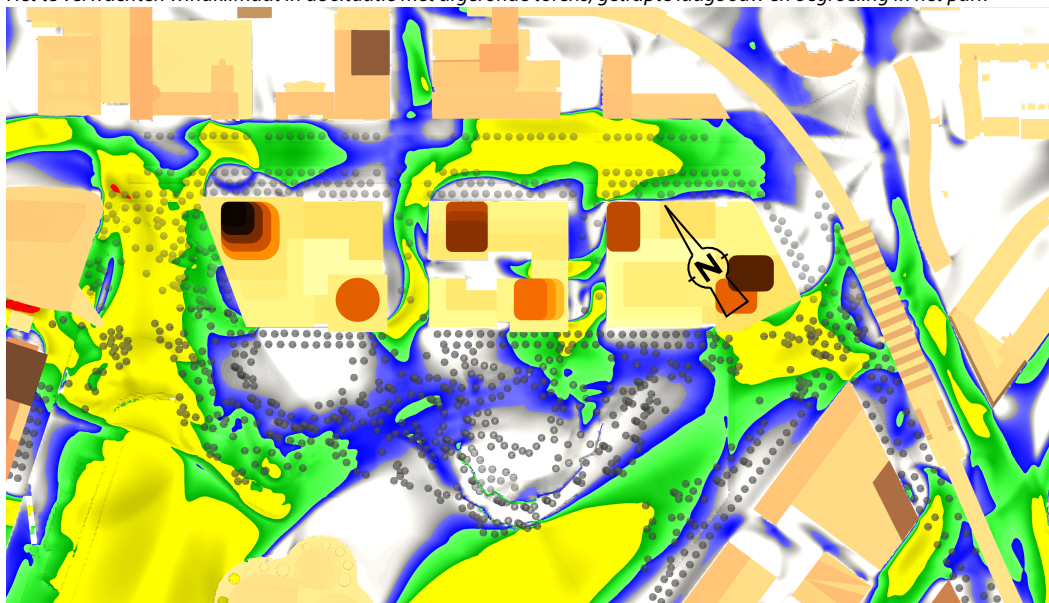
Bij de andere torens is sprake van beperkt risico op windgevaar. Mede gezien de locatie en de opzet van de berekeningen, waarin begroeiing nog niet is meegenomen, kan een 'beperkt risico op windgevaar' hier als acceptabel beoordeeld kan worden gezien:

- door de ligging aan de Rijnhaven op het zuidwesten (dominante windrichting) zijn de aanstromende windsnelheden groot. Dit wordt ook geïllustreerd door het feit dat zelfs bij het drijvende paviljoen, wat slechts een zeer beperkte hoogte heeft, al een beperkt risico op windgevaar aanwezig is.
- de berekening is een absolute worst-case situatie, waarbij er geen enkele vegetatie in het Rijnhavenpark is, terwijl er wel veel begroeiing gepland is.

3.7 Situatie met afgeronde torens, getrapte laagbouw

Ter aanvulling op het voorgaande onderzoek is in september 2022 de situatie met begroeiing in het park onderzocht. De begroeiing is hierbij overgenomen uit het voorlopig ontwerp van het park. De gebouwvorm is hetzelfde als in de variant onderzocht in mei 2022. In figuur 3.10 wordt het resulterende windklimaat weergegeven. Figuur 3.11 geeft een beeld van de te verwachten mate van windgevaar rond de bouwplannen.

f3.12 Het te verwachten windklimaat in de situatie met afgeronde torens, getrapte laagbouw en begroeiing in het park



f3.13 De te verwachten kans op windgevaar in de situatie met afgeronde torens en getrapte laagbouw en begroeiing in het park



De resultaten laten zien dat het toevoegen van de begroeiing in het park het windklimaat rond het plan aanzienlijk verbetert. Door het toevoegen van de begroeiing neemt het risico op windgevaar sterk af: er is nergens meer sprake van een gevaarlijk windklimaat en alleen ten noorden van het plan en in de doorgangen is lokaal nog sprake van beperkt risico op windgevaar. Gezien de ligging van het plan aan de Rijnhaven en het feit dat deze plekken liggen in doorloopgebieden is dit een zeer acceptabel resultaat.

In het park verbetert het windklimaat waar de bomen gepland zijn. Er is overwegend sprake van een goed tot matig windklimaat voor de activiteit doorlopen. Zeer lokaal is er nog sprake van een slecht windklimaat voor doorlopen, maar het windklimaat op deze plekken kan door het nemen van lokale maatregelen in de bebouwing of in de terreininrichting verder worden verbeterd.

Bij het gebruik van bomen als mitigerende maatregel moet wel worden bedacht dat deze pas effectief zijn als de bomen voldoende volgroeid zijn. Dit houdt in dat de bomen òf voldoende groot moeten zijn bij aanplant òf dat het afschermde effect pas na enige tijd zal worden bereikt.

4 Samenvatting en conclusies

In opdracht van Gemeente Rotterdam is met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) een indicatief onderzoek verricht naar de te verwachten windklimaatssituatie rondom de geplande bebouwing van het plangebied Rijnhaven Rotterdam. Doel van het onderzoek was het vaststellen en beoordelen van het te verwachten windklimaat in de directe omgeving van de geplande bebouwing. Hierbij gaat het in eerste instantie om het verkrijgen van inzicht in de te verwachten knelpunten en de invloed van keuzes in de volume opbouw op het windklimaat.

Voor de opzet van het onderzoek en de beoordeling van het windklimaat is uitgegaan van de Nederlandse norm NEN 8100:2006 *Windhinder en windgevaar in de gebouwde omgeving*. In samenwerking met de gemeente zijn een aantal iteraties uitgevoerd, gericht op het verkrijgen van inzicht in het optreden van de hinder en het verbeteren van het windklimaat, waarvan de meest relevante de volgende zijn:

1. Basissituatie voorbeeldinvulling
2. Situatie zonder torens
3. Situatie geoptimaliseerd (afgeronde torens, getrapte laagbouw)
4. Situatie geoptimaliseerd met vegetatie (alle eerdere studies waren zonder vegetatie)

Hierbij is in de iteraties 1, 2 en 3 helemaal geen vegetatie is meegenomen in het plangebied. Dat betekent dat het absolute worst-case scenario is onderzocht. Dit is conform de Handleiding Windhinder en Windgevaar Rotterdam. De belangrijkste conclusies die uit het onderzoek getrokken kunnen worden zijn:

- Met de in de basissituatie doorgerekende voorbeeldinvulling van de gebouwen (iteratie 1) is het windklimaat op veel punten slecht waarbij er sprake is van een overschrijding van het criterium voor windgevaar. Aangezien deze situatie een onacceptabel windklimaat oplevert, is er verder geoptimaliseerd.
- Uit iteratie 2, de situatie zonder torens, blijkt dat niet alleen de torenvolumes, maar ook de vormen van de bouwblokken zelf geoptimaliseerd moesten worden. Dit is gedaan in iteratie 3: de torens zijn op strategische plekken afgerond (zodat er minder valwinden ontstaan) en de bouwblokken zijn meer getrapte vormgegeven (zodat er meer wind over de bouwblokken stroomt in plaats van in de tussenstraten en pleinen).
- Uit iteratie 3 kan worden geconcludeerd dat de optimalisatie succesvol is geweest. Deze iteratie toont aan dat het mogelijk is om het windgevaar ('gevaarlijk' zoals gedefinieerd in de NEN 8100) weg te nemen, terwijl de stedenbouwkundige uitgangspunten overeind blijven. Er zijn nog wel gebieden met 'beperkt risico op windgevaar' volgens de NEN 8100. Om bovengenoemde locatiegebonden redenen (andere eisen voor kustgebieden volgens de NEN 8100) wordt dit beoordeeld als acceptabel. Ten opzichte van de basissituatie is het windklimaat duidelijk een stuk gunstiger. Binnen Rotterdam wordt voor het windklimaat veelal de ondergrens van minimaal klasse D (matig voor doorlopen) gehanteerd. In deze geoptimaliseerde situatie is, zonder de aanwezigheid van begroeiing, lokaal nog wel sprake van windhinderklasse E. Om bovengenoemde locatiegebonden redenen (andere eisen voor kustgebieden volgens de NEN 8100) wordt dit beoordeeld als acceptabel.

- In iteratie 4 zijn de gebouvvolumes uit iteratie 3 opgenomen en is het parkontwerp met vegetatie hieraan toegevoegd. Hieruit blijkt dat, wanneer de beoogde vegetatie wordt meegenomen, windhinderklasse E in het gebied niet meer voorkomt en de gebieden met beperkt risico op windgevaar significant afnemen.
- Iteratie 4 toont aan dat het doorlopen van een planontwikkelingsproces, waarbij wind als belangrijke parameter meegenomen wordt conform het rotterdamse beleid, er een situatie gecreëerd kan worden waarin er:
 - geen windgevaar optreed
 - het 'beperkt risico op windgevaar' volgens de NEN 8100 zeer beperkt is
 - geen sprake meer is van windhinderklasse E in het gebied.

Er kan dan ook geconcludeerd worden dat het mogelijk is om met de gekozen stedenbouwkundige randvoorwaarden door het zorgvuldig optimaliseren van de bouvvolumes het mogelijk is om een acceptabel windklimaat te creëren in rond het plangebied Rijnhaven en dat door het toepassen van een goede terreininrichting dit windklimaat verder is te optimaliseren.

Mook,



Dit rapport bevat 25 pagina's

Bijlage 1: Technisch inlegvel numerieke simulatie

Bijlage 1 Technisch inlegvel

Project	Projectgegevens			
Projectnaam	Rijnhaven Rotterdam			
Opdrachtgever	Gemeente Rotterdam			
Projectleider	ir. J. Groot Zevert / Dr. ir. L. Aanen			
Datum	26 september 2024			
Model	Algemene gegevens van het model			
Omvang gemodelleerd gebied	1400 x 1400 meter			
Kerngebied	het gebied rondom de geplande nieuwbouw			
Omgeving	bebouwing/begroeiing/open water			
Afmetingen model	1500 x 1500 x 500 meter			
Blokkeringsgraad	<10%			
Gemodelleerd groen	jaargemiddelde situatie			
Onderzochte windrichtingen	12 (rondom in stappen van 30 graden)			
Onderzochte configuraties	basissituatie en 3 varianten			
Computeropstelling	Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur			
Programmatuur	OpenFoam 6			
	✓	FVM (eindige volume methode)		
	—	FEM (eindige elementen methode)		
	—	anders		
Algemeen	✓	drie-dimensionaal	—	twee-dimensionaal
	✓	tijd-onafhankelijk	—	tijd-afhankelijk
	✓	isothermisch	—	thermisch
	—	passieve scalairs	—	actieve scalairs
Rekenrooster	circa 21 miljoen cellen; verfijning t.p.v. de geplande bebouwing			
Turbulentiemodellering	k-ε-RNG-turbulentiemodel			
Convectieve differentieschema's	snelheidscomponenten: Gauss			
	turbulentie grootheden: Gauss			
	scalaire variabelen: -			
Randvoorwaarden	Gebruikte randvoorwaarden			
Instroomprofiel	logaritmisch snelheidsprofiel, windrichtingen 0° en 240° t/m 270°: z ₀ =0,3 m; overige windrichtingen z ₀ =0,7 m en bijbehorende profielen voor k en ε			
Uitlaat	constante druk			
Boven-/zijwanden	gesloten, wrijvingsloos			
Gegevensverwerking en -beoordeling	Informatie voor locatie en beoordeling windklimaat			
Amersfoortse coördinaten van de locatie	X = 93540 Y = 435644			
Toegepaste eisen	V _{DR} [m/s]	Gewenste kwaliteitsklasse	Overschrijdingskans [%]	Beoordeling
Voor comfort			p(v _{LOK} > v _{DR,H})	
Doorlopen	5,0	≤ D	< 20	≤ matig
Slenteren	5,0	≤ C	< 10	≤ matig
Zitten	5,0	≤ B	< 5	≤ matig
Regionale correctie	Geen correctie			
Voor gevaar			p(v _{LOK} > v _{DR,G})	
	15	n.v.t	0,05 < p < 0,30	beperkt risico
	15	n.v.t	p ≥ 0,30	gevaarlijk
Gepresenteerde resultaten		windhinder: figuren met p (v _{LOK} > v _{DR,H})-waarden, gevaar: tekstuele beoordeling		
Opmerkingen				