

NOTITIE

Onderwerp	Analyse windhinder en -gevaar
Project	M.e.r.-beoordeling Molenstraat-Centrum 258 - 272
Opdrachtgever	Gemeente Apeldoorn
Projectcode	133729
Status	Concept 01
Datum	21 juli 2023
Referentie	133729/23-012.329
Auteur(s)	B. Gradussen MSc

Gecontroleerd door	C. Berkhout MSc
Goedgekeurd door	P.A. Feij MSc (b/a F.D. Kesmer MSc)
Paraaf	



Bijlage(n)	I Technisch inlegvel numerieke simulatie II Numerieke modellering
------------	--

1 INLEIDING

Aanleiding

Een onderdeel van de m.e.r.-beoordeling is de beschouwing van wind. Volgens het beleid nota Hoogbouw - Ruimte door Hoogte (2008) van de gemeente Apeldoorn moet bij gebouwen hoger dan 24 m in het stedelijk gebied van Apeldoorn een onderzoek gedaan worden naar onder andere het aspect windhinder. Specifiek moet worden aangetoond of het voornemen leidt tot (een toename van) windhinder en -gevaar. Gemeente Apeldoorn heeft daarom het verzoek ingediend een windklimaatonderzoek uit te voeren voor het voornemen dat langs de Molenstraat-Centrum wordt gerealiseerd.

Uitgangspunten onderzoek

Het voornemen bestaat uit twee gebouwen (afbeelding 1.1). Het hoogste gebouw heeft een hoogte van meer dan 30 m. De locaties van de balkons die in dit ontwerp zijn opgenomen zijn op het moment van het uitvoeren van het windklimaatonderzoek nog onzeker. In dit windklimaatonderzoek wordt daarom de situatie zonder balkons beschouwd, wat een conservatieve benadering is van een toekomstig ontwerp waarin balkons worden opgenomen (Zheng et al, 2021¹).

Dit windklimaatonderzoek wordt uitgevoerd conform de Nederlandse norm voor windhinder onderzoek in de gebouwde omgeving, NEN 8100:2006NL. Hier wordt standaard mee gewerkt in windhinder onderzoek in Nederland. Deze norm schrijft voor dat voor nieuwbouw hoger dan 30 m niet kan worden volstaan met een

¹ X. Zheng, H. Montazeri, B. Blocken (2021). CFD analysis of the impact of geometrical characteristics of building balconies on near-façade wind flow and surface pressure. *Building and Environment*. Vol 200. 107904

kwalitatief onderzoek, maar door middel van Computational Fluid Dynamics (CFD) kwantitatief moet worden aangetoond wat de kans op windhinder en -gevaar is rondom de nieuwbouw. Hiervoor moeten twaalf windrichtingen worden beschouwd, met een interval van 30 graden.

CFD is een methode waarin een gediscretiseerde omgeving wordt opgenomen in een computermodel dat met behulp van numerieke wiskunde stromingsvergelijkingen oplost. Hierdoor kan in drie dimensies, en door de tijd, inzicht worden verkregen in (complexe) luchtstroming.

Afbeelding 1.1 Sfeerbeeld van de nieuwbouw, vanuit de Molenstraat-Centrum gezien 258 - 272



2 METHODE

2.1 Classificering activiteiten en criteria windhinder en -gevaar NEN 8100:2006NL

De nieuwbouw kan het lokale windklimaat dusdanig beïnvloeden dat dit hinderlijk of zelfs gevaarlijk kan zijn voor gebruikers van de omliggende (openbare) ruimte. De criteria voor windhinder en -gevaar zijn vastgelegd in NEN 8100:2006NL, waarin wordt gesteld dat het ondervinden van windhinder of -gevaar afhankelijk is van de activiteit van het individu. Er wordt hiervoor onderscheid gemaakt tussen drie typen activiteiten:

- I. Doorlopen;
- II. Slenteren;
- III. Zitten.

De beoordeling van het windklimaat vindt plaats aan de hand van de overschrijdingskans (in procenten van het aantal uren per jaar) dat op 1,75 m hoogte een drempelniveau van de windsnelheid wordt overschreden. Voor windhinder is dit drempelniveau 5 m/s, hierboven wordt de wind dus als 'hinderlijk' ervaren.

De beoordelingsclassificatie is samengevat in tabel 2.1. In de linker kolom staat de overschrijdingskans. v_{LOK} is hierin de lokale windsnelheid. $v_{DR,H}$ is de drempelsnelheid voor hinder, 5 m/s in dit geval. De relevante statistiek is dus de kans dat de lokale windsnelheid hoger is dan de drempelsnelheid.

Tabel 2.1 Beoordelingstabel voor windhinder - drempelniveau windsnelheid: 5 m/s

Overschrijdingskans [%] $p(v_{LOK} > v_{DR,H})$	Kwaliteitsklasse	Activiteit		
		I. Doorlopen	II. Slenteren	III. Langdurig zitten
< 2,5	A	Goed	Goed	Goed
2,5 - 5,0	B	Goed	Goed	Matig
5,0 - 10,0	C	Goed	Matig	Slecht
10,0 - 20,0	D	Matig	Slecht	Slecht
>20,0	E	Slecht	Slecht	Slecht

De eisen voor de beoordeling van windgevaar worden beschreven in tabel 2.2. De drempelwindsnelheid waar naar wordt gekeken bij windgevaar is 15 m/s. De kwalificatie *beperkt risico* mag alleen worden geaccepteerd als deze valt binnen activiteitenklasse I. Doorlopen. Voor activiteitenklassen II. Slenteren en III. Langdurig zitten, geldt de eis $p \leq 0,05$. ter illustratie: deze kans van $p = 0,05$ komt overeen met ongeveer 4 uur per jaar.

Tabel 2.2 Beoordelingstabel voor windgevaar - drempelniveau windsnelheid: 15 m/s

Overschrijdingskans [%] $p(v_{LOK} > v_{DR,G})$	Kwalificatie
$0,05 < p < 0,30$	Beperkt risico
$p \geq 0,30$	Gevaarlijk

De ruimtes rondom de gebouwen zijn op basis van openbare gegevens voorzien van een classificatie. 'zitten' is bijvoorbeeld afgeleid uit de aanwezigheid van parken/bankjes, 'slenteren' door de aanwezigheid van winkels.

Afbeelding 2.1 toont de classificatie van de (openbare) ruimte rondom de nieuwbouw.

Afbeelding 2.1 Classificatie van de (openbare) ruimte rondom de nieuwbouw



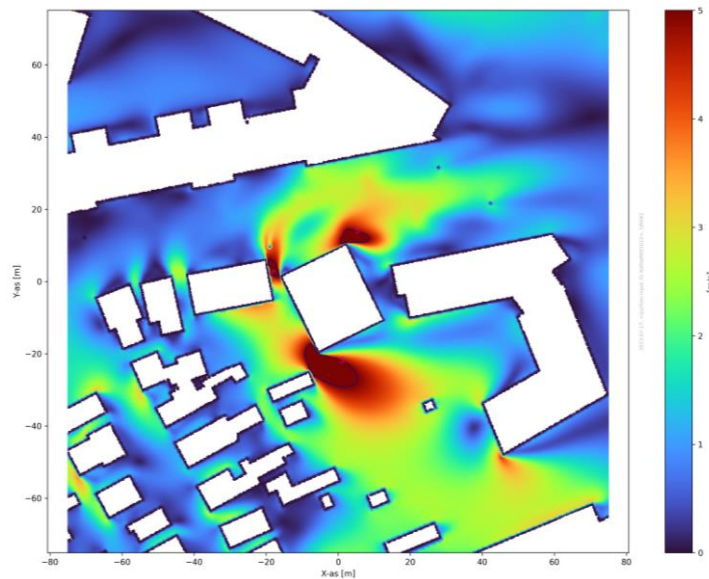
3 MODELRESULTATEN

In 3.1 is ter illustratie een typisch modelresultaat van één casus weergegeven. Dit is het resultaat van de simulatie voor oosten wind met 14 m/s en dient als voorbeeld. Door alle berekende casussen samen te nemen met de statistieken uit tabel 2.4 kan een algemeen resultaat gegeven worden wat geldt voor een typisch jaar. Dit resultaat staat in 3.2 en is dus het cumulatieve resultaat van alle casussen.

3.1 Resultaat bij windrichting $\alpha = 270^\circ$ en referentie windsnelheid 14 m/s

Een voorbeeld van een windveld dat is beschouwd in de analyse wordt getoond in afbeelding 3.1. Ter plaatse van de hoeken van het gebouw ontstaan bij extreme windcondities zones waar de grens van 5 m/s wordt overschreden. Hoeken zijn bij hoogbouw over het algemeen locaties waar problematische windsnelheden, in combinatie met een kans van voorkomen, kunnen optreden. Dat er in deze casus zones zijn waar de 5 m/s wordt overschreden, betekent niet automatisch dat dit leidt tot een negatieve beoordeling. De zeer lage kans van voorkomen van deze combinatie van windrichting en windsnelheid leidt er in dit geval toe dat er nog steeds een positieve beoordeling is.

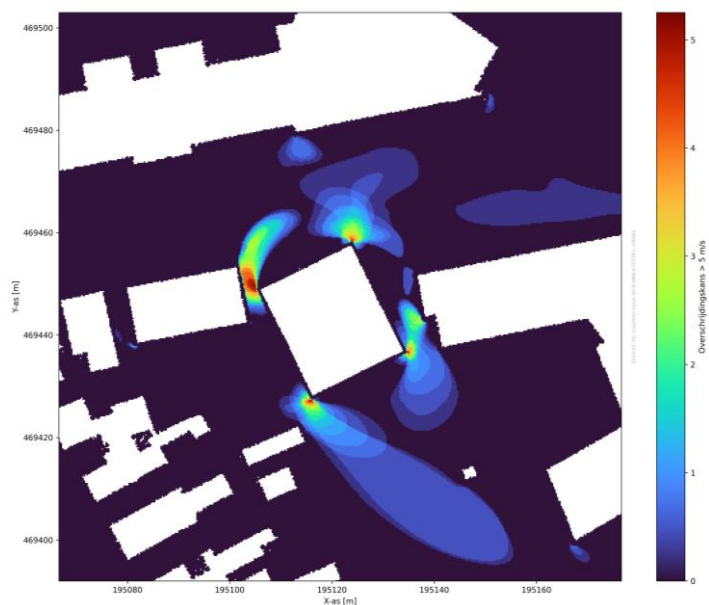
Afbeelding 3.1 Windveld bij $\alpha = 270^\circ$ en 14 m/s



3.2 Resultaten windhinder

De cumulatieve kans [%] waarvoor de grenswaarde van 5 m/s wordt overschreden is weergegeven in afbeelding 3.2. Ook uit deze figuur volgt dat met name ter plaatse van de hoeken van de nieuwbouw de kans op hoge windsnelheden het grootst is.

Afbeelding 3.2 Cumulatieve kans [%] waarbij de grenswaarde van 5 m/s wordt overschreden



De kansen uit bovenstaande figuur worden vergeleken met de grenzen van de kwaliteitsklassen uit Tabel 2.1. De classificering met betrekking tot windhinder is samengevat in Afbeelding 3.3. Ter plaatse van de hoeken komt over het algemeen kwaliteitsklasse B voor. Op zones waar deze overlapt met de activiteiten III, Lopen en II, Slenteren levert dit een goede kwaliteit van de omgeving op. Ten zuiden van de nieuwbouw treedt

kwaliteitsklasse B op ter plaatse van de gemeenschappelijke tuin. Aan deze tuin is de activiteit I. Zitten toegekend. In combinatie met kwaliteitsklasse B, levert het voor deze locatie een matige beoordeling op.

Zeer lokaal treedt ook kwaliteitsklasse C op. Echter is dit dermate lokaal, dat dit niet als problematisch wordt gezien.

Afbeelding 3.3 Resultaten van het windhinderonderzoek



3.3 Resultaten windgevaar

Het onderzoek toont aan dat er op geen locatie windgevaar kan optreden.

4 CONCLUSIE

Het windklimaatonderzoek toont aan dat met name ter plaatse van de hoeken van het hoogste gebouw zones ontstaan waar windsnelheden hinder kunnen vormen. Hier ontstaan zones met kwaliteitsklasse B. Rondom dit gebouw vindt voornamelijk de activiteit III (doorlopen) plaats. In combinatie met kwaliteitsklasse B zijn de omstandigheden hier goed (zie ook nogmaals tabel 2.1). Het is geen aandachtspunt hier omdat het niet leidt tot matige of slechte omstandigheden. Ter plekke van de zuidelijke hoek, grenzend aan de gemeenschappelijke tuin, vormt de combinatie tussen kwaliteitsklasse B en verblijfsfunctie I. Zitten, een matige kwaliteit. Dit is echter voor slechts een zeer klein gebied zoals ook te zien in afbeelding 3.3. Voor het lage gebouw zijn er geen aandachtspunten met betrekking tot windhinder, hier veroorzaakt het gebouw geen situaties waarbij significante windhinder optreedt.

Uit de analyse die is uitgevoerd volgt niet dat er windgevaar ontstaat rondom de nieuwbouw.



BIJLAGE: TECHNISCH INLEGVEL NUMERIEKE SIMULATIE

Technisch inlegvel numerieke simulatie

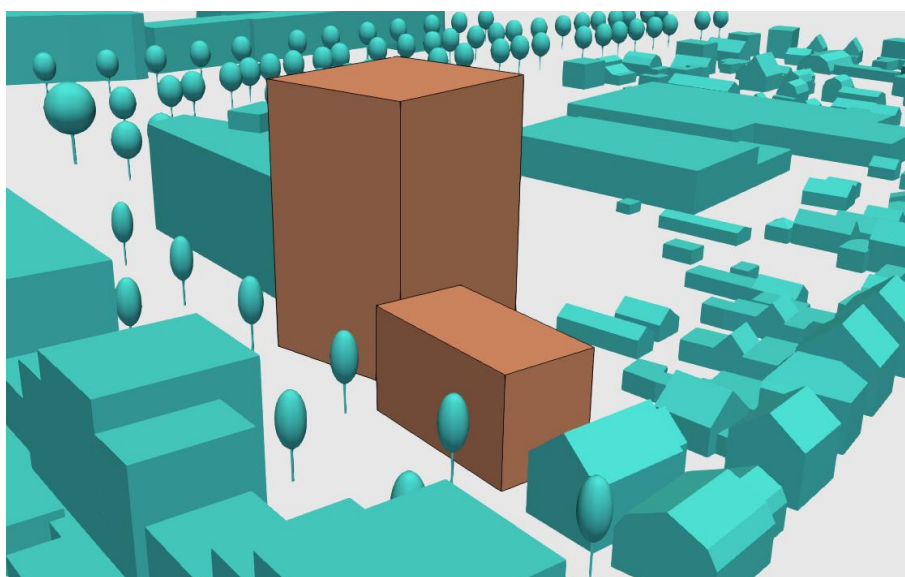
Project	Projectgegevens			
Projectnaam	M.E.R.-beoordeling Molenstraat-Centrum en Condorweg			
Opdrachtgever	Gemeente Apeldoorn			
Projectleider	F. Kesmer MSc			
Datum	21 juli 2023			
Model	Algemene gegevens van het model			
Omvang gemodelleerd gebied	Tot een straal van 300m rondom nieuwbouw			
Kerngebied	Centrum Apeldoorn			
Omgeving	Apeldoorn			
Afmetingen model	1200m x 1200m x 500m			
Blokkeringsgraad	<3%			
Gemodelleerd groen	Schematische weergave van bomen			
Onderzochte windrichtingen (minimaal 12 over de windroos)	12, met een interval van 30 graden. Noord is 345 - 15 graden etc.			
Onderzochte configuraties	1 Configuratie			
Computeropstelling	Specifieke gegevens van gebruikte programmatuur			
Programmatuur	☒ FVM (eindige volume methode) ☐ FEM (eindige elementen methode) ☐ anders Programmatuur: OpenFOAM Versie: v2212			
Algemeen	☒ drie-dimensionaal ☒ tijd-onafhankelijk ☒ isothermisch ☐ passieve scalars ☐ twee-dimensionaal ☐ tijd-afhankelijk ☐ thermisch ☐ actieve scalars Overige:			
Rekenrooster	Zes-vlakken. Circa 7,5 miljoen rekencellen			
Turbulentiemodellering	RANS - Realizable k-Epsilon			
Convectieve differentieschema's	Snelheidscomponenten: bounded Gauss linear UpwindV Turbulentie grootheden: bounded Gauss linear Upwind Scalaire variabelen: bounded Gauss linear Upwind			
Randvoorwaarden	Gebruikte randvoorwaarden			
Instroomprofiel	Logaritmisch conform Richards & Hoxey (1993)			
Uitlaat	zeroGradiënt i.c.m. gefixeerde druk			
Boven-/zijwanden	zeroGradient			
Vloer/bodem	ruwheidslengte conform NPR6097 - in evenwicht met instroomprofiel			
Overige	wallfunctions, met ruwheidshoogte 0,10 m			
Gegevensverwerking en -beoordeling	Informatie voor locatie en berekening windklimaat			
Amersfoortse coördinaten van de locatie	[195116; 469454]			
Toegepaste eisen	V_{DR} m/s	Gewenste kwaliteits-klasse	Overschrijdings-kans %	Beoordeling
Voor comfort			$p(V_{LOK} > V_{DR,H})$	
Doorlopen	5,0	A/B(/C)	$p < 10$	Goed
Slenteren	5,0	n.v.t.		
Zitten	5,0	A/B	$p < 10$	Goed/matig
Regionale correctie	n.v.t.			
Voor gevaar			$p(V_{LOK} > V_{DR,G})$	
	15	n.v.t.	$0,05 < p < 0,30$	beperkt risico
	15	n.v.t.	$p \geq 0,3$	gevaarlijk
Gepresenteerde resultaten	Windhinder tekstueel toegelicht. Geen windgevaar			
Opmerkingen en eventuele conclusies van proefoverschrijdend belang				

BIJLAGE: NUMERIEKE MODELLERING

Geometrie

De CFD-analyse is uitgevoerd met behulp van de meest recente uitgave van het pakket OpenFOAM (v2212). Het model maakt gebruik van een 3D-geometrie van de nieuwbouw en de omgeving, waarin bebouwing tot een straal van 300 m rondom het interessegebied is opgenomen. Daarnaast zijn bomen op een schematische wijze opgenomen. Een detail van de geometrie in de directe omgeving van de nieuwbouw is opgenomen in II.1. De geometrie is door de gemeente Apeldoorn aangeleverd en waar nodig aangepast om deze geschikt te maken voor de simulatie. Onder andere de balkons zijn verwijderd in het model.

Afbeelding II.1 3D-modelgeometrie, met de omgeving (blauw) en de nieuwbouw (oranje)

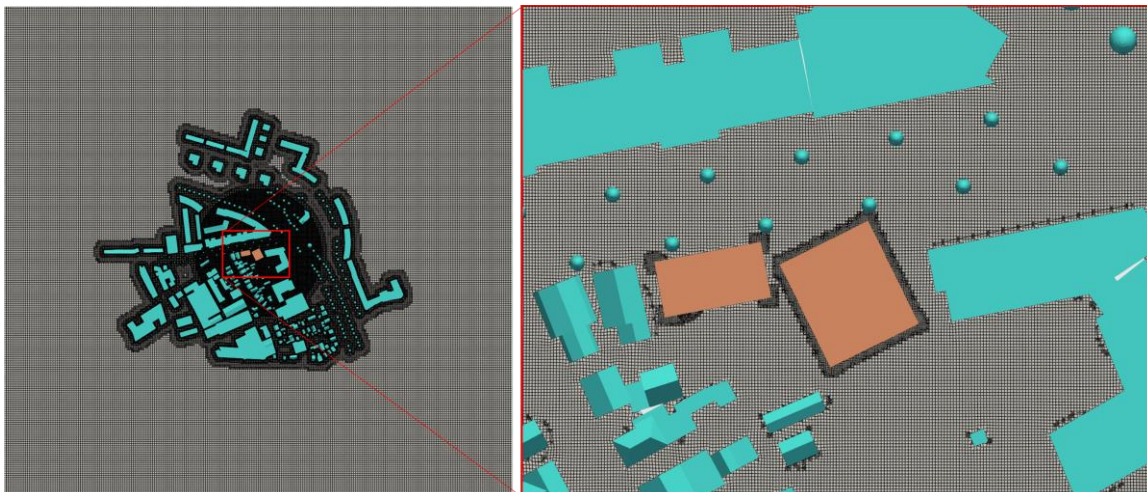


Rekenrooster

Als basis voor het rekenrooster zijn kubusvorming roostercellen toegepast. Dicht bij de grond is de resolutie relatief hoger dan hoger in de atmosfeer. Binnen het interessegebied is de roosterresolutie verhoogd. Langs het oppervlak van de objecten is de roosterresolutie extra verhoogd. Binnen het interessegebied is de roosterresolutie 60 cm per cel, tot een hoogte van 4 m. Op die manier valt de rekencel waarop de analyse wordt uitgevoerd in de derde cel boven het grondoppervlak, conform Franke et al. (2004)¹. Een rekenrooster op een doorsnede op 1,75 m hoogte is weergegeven in afbeelding II.2. In totaal bevat het numerieke model circa 7,5 miljoen rekencellen.

¹ J. Franke, C. Hirsch, H. Krüs, M. Schatzmann, P.S. Westburgy, S.D. Miles, J.A. Wisse, N.G. Wright (2004). Recommendations on the use of CFD in wind engineering.

Afbeelding II.2 Links: totale rekendomein; Rechts: detail rondom het interessegebied



Turbulentiemodel

Voor de modellering is uitgegaan van de Reynolds-averaged Navier-Stokes vergelijkingen. Voor het sluitend maken van het systeem van de vergelijkingen wordt het Realizable k-Epsilon turbulentiemodel toegepast.

Randvoorwaarden

Op de inlaatopening is een logaritmisch windprofiel opgelegd, conform Richards & Hoxey (1993)¹, waarbij de windsnelheid op een referentiehoogte van 60 m wordt opgegeven. Daarnaast wordt als z_0 een richtingsafhankelijke ruwheidslengte opgegeven, die volgt uit de NPR6097 (zie volgende paragraaf). Op de ondergrond zijn randvoorwaarden opgelegd die in overeenstemming zijn met het inlaatprofiel, waardoor het verticale windprofiel in een leeg domein niet vervormt. Op de zij- en bovenrand is een zero-gradient randvoorwaarde opgelegd, met uitzondering van het snelheidsprofiel. Voor deze laatste is een snelheidsgradiënt opgelegd aan de bovenkant van het domein, die overeenkomt met de analytische gradiënt volgens Richards & Hoxey (1993). Deze opgelegde gradiënt zorgt, samen met de randvoorwaarde aan de grond, voor een constant snelheidsprofiel door het domein heen. Ten slotte is op de uitstroomrand een vaste druk opgelegd, en voor andere variabelen een zero-gradient randvoorwaarde.

De gebouwen zijn geschematiseerd door middel van een no-slip randvoorwaarde, in combinatie met een ruwheidshoogte van 0,10 m, analoog aan Blocken et al. (2012)², in combinatie met wallfuncties voor k en Epsilon.

Numerieke schema's en convergentie

De simulaties worden tijdsafhankelijk (steady-state) en met constante dichtheid uitgevoerd waarbij het SIMPLE algoritme zorgt voor druk-snelheid koppeling.

¹ P.J. Richards & R.P. Hoxey (1993). Appropriate boundary conditions for computational wind engineering models using the k-epsilon turbulence model. *Journ. Of Wind Eng. And Ind. Aer.* Vol 46 & 47. Pp145-153.

² B. Blocken, W.D. Janssen, T. van Hooff (2012). CFD simulation for pedestrian wind comfort and wind safety in urban areas: General decision framework and case study for the Eindhoven University campus.

Voor de verschillende parameters die tijdens de simulatie worden opgelost, zijn de volgende numerieke schema's geselecteerd:

Tabel II.1 Overzicht van parameters en differentieschema's voor het oplossen van de parameters

Parameter term	Schema	Numerieke orde
$\nabla \cdot$ (divergence)	bounded Gauss linear Upwind	2 ^e orde
∇ (gradient)	Gauss linear	2 ^e orde
∇^2 (laplacian)	Gauss linear	2 ^e orde

De simulaties zijn als geconvergeerd beschouwd bij een residu van 1E-5 voor de druk, turbulentie, en snelheidsvariabelen.

Wind en ruwheid uit NPR6097

Aan de hand van NPR6097 is de lokale windstatistiek afgeleid voor de projectlocatie (RD-coördinaten; [195116; 469454]). Hieruit volgt de bijhorende windroos (afbeelding II.3) en de windstatistiek, zoals samengevat in afbeelding II.2. De tabel toont de twaalf windrichtingen die zijn meegenomen in deze analyse.

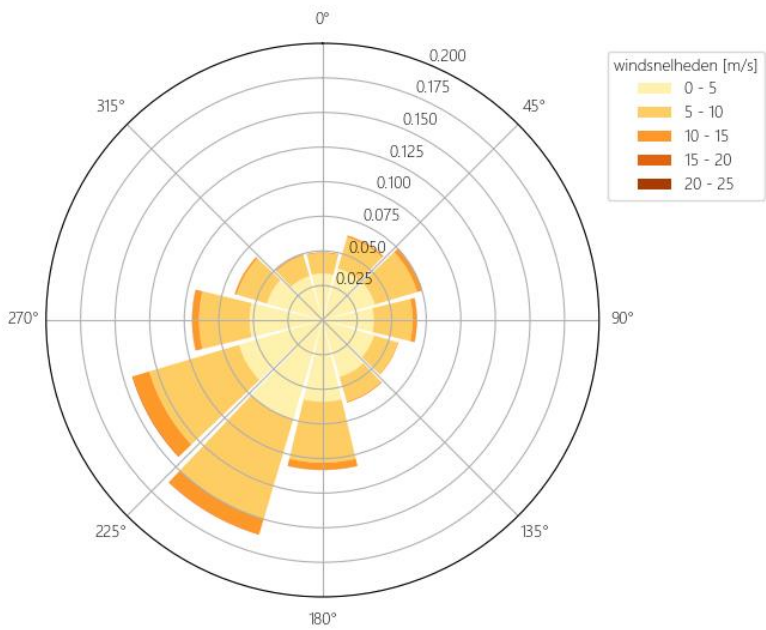
Ten slotte volgt uit NPR6097 ook een ruwheidsclassificatie op macroschaal van het landschap rondom de projectlocatie. Deze, in combinatie met de ruwheidsclassificatie van Wieringa (1992)¹, leiden tot een richtingsafhankelijke ruwheidslengte. De ruwheidslengte is een parameter die, samen met de referentiesnelheid, de vorm van het snelheidsprofiel van de atmosferische grenslaag aangeeft. Een kleine ruwheidslengte zoals 0.5 m is van toepassing voor uitgestrekt, open landelijk gebied. Stedelijk gebied, met meer bebouwing heeft een ruwheidslengte van ongeveer 1 m. Verschillen in de ruwheidslengte geven een verschil aan in hoe erg het landschap de wind afremt. Dit uit zich in het snelheidsprofiel dat als randvoorwaarde wordt opgelegd aan het model. De ruwheidslengte z_0 is voor de twaalf windrichtingen samengevat in afbeelding II.3.

Simulatie casussen

Om tot een uiteindelijke statistiek te komen met overschrijdingskans zijn er simulaties uitgevoerd voor de twaalf windrichtingen met verschillende snelheden. Om de simulatietijd te beperken zijn niet alle combinaties zoals in tabel II.2 gesimuleerd. Er is een selectie gemaakt van alle situaties die 1) tenminste 2 uur per jaar voorkomen en 2) een referentie windsnelheid hebben van tenminste 8 m/s. Dit brengt het aantal casussen terug met ongeveer de helft tot circa 70. Per windrichting is de juiste ruwheidslengte gekozen voor de inlaatsnelheid randvoorwaarde conform afbeelding II.3.

¹ J. Wieringa (1992). Updating the Davenport roughness classification. *Journ. Of Wind. Eng. And Ind. Aer.* Vol 41. pp357-368.

Afbeelding II.3 Windroos voor de kans van voorkomen op RD-coördinaten: [195116; 469454] aan de hand van NPR6097



Tabel II.2 Windstatistiek op RD-coördinaten: [195116; 469454] aan de hand van NPR6097

		windrichting [°]												
		- 345-15	- 15-45	- 45-75	- 75-105	- 105-135	- 135-165	- 165-195	- 195-225	- 225-255	- 255-285	- 285-315	- 315-345	
windsnelheid [m/s]	0,0- 0,9 -	18	20	18	17	22	21	26	30	30	27	24	20	aantal uren per jaar
	1,0- 1,9 -	60	57	53	50	58	68	92	95	91	83	72	61	
	2,0- 2,9 -	74	77	77	74	86	97	125	141	119	113	94	74	
	3,0- 3,9 -	78	98	92	91	92	99	136	184	147	120	93	70	
	4,0- 4,9 -	65	88	106	93	84	91	138	205	166	120	86	66	
	5,0- 5,9 -	54	76	93	84	61	65	120	186	158	103	71	53	
	6,0- 6,9 -	38	58	68	64	44	43	98	167	150	85	54	35	
	7,0- 7,9 -	20	36	51	45	28	29	77	131	125	63	39	24	
	8,0- 8,9 -	12	23	39	35	16	16	54	101	91	40	22	16	
	9,0- 9,9 -	6	14	28	19	7	9	36	72	70	30	12	8	
	10,0- 10,9 -	3	7	15	13	2	4	23	49	47	18	7	4	
	11,0- 11,9 -	2	3	10	8	1	2	12	28	30	12	3	2	
	12,0- 12,9 -	1	2	6	5	0	1	7	15	17	7	1	1	
	13,0- 13,9 -	0	1	2	1	0	0	3	8	9	4	1	0	
	14,0- 14,9 -		0	1	1	0		1	4	5	2	0	0	
	15,0- 15,9 -			0	0			1	2	3	1	0	0	
	16,0- 16,9 -			0	0			0	1	1	1	0	0	
	17,0- 17,9 -				0			0	0	1	0	0		
	18,0- 18,9 -									0	0			
	19,0- 19,9 -								0	0	0			
	20,0- 20,9 -								0	0				
	21,0- 21,9 -										0			
	22,0- 22,9 -											0		

Afbeelding II.4 Classificatie van het terrein en de bijbehorende ruwheidsclassificatie volgens Wieringa (1993) voor de twaalf beschouwde windrichtingen

