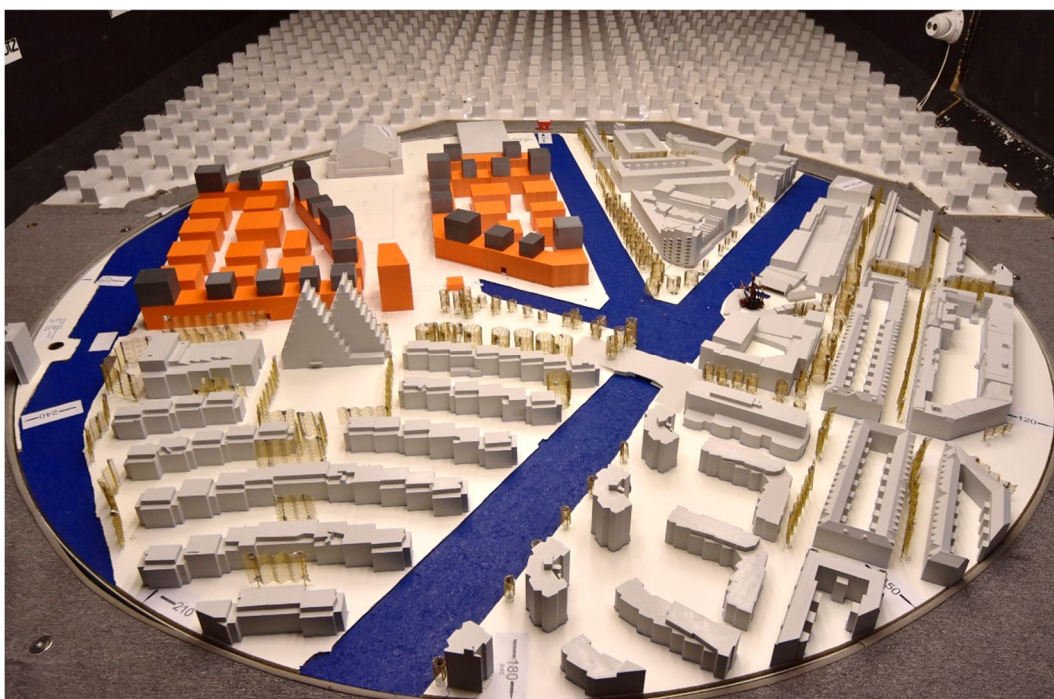


Windtunnelonderzoek molen De Otter Amsterdam

Analyse naar invloed ontwikkelingsplan Marktkwartier West op de windvang van molen De Otter





Windtunnelonderzoek molen De Otter Amsterdam

*Analyse naar invloed ontwikkelingsplan Marktkwartier West
op de windvang van molen De Otter*

Opdrachtgever: Marktkwartier CV
Rapportnummer: OB 16238-3-RA-004
Datum: 28 mei 2024
Referentie: OO/lvdW/OB 16238-3-RA-004
Verantwoordelijke: O.E. Otten
Opsteller: ir. A.G. van de Weijer
+31 85 8228 609
i.vandeweijer@peutz.nl

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Leeswijzer	4
2	Molen en molenbiotoop	5
2.1	Regelgeving en beoordeling windvang	6
3	Opzet windtunnelonderzoek	7
3.1	Schaalmodel	7
3.2	Simulatie in de windtunnel	11
3.3	Windklimaat op de locatie	12
3.4	Meetpunten en metingen	14
3.5	Analyse windvang molen De Otter	15
3.5.1	Windsnelheidscoëfficiënten en jaargemiddelde windsnelheid	15
3.5.2	Balans windbelasting op basis van de windsnelheidsverhouding	16
3.5.3	Turbulentie-intensiteit	16
3.5.4	Theoretisch bruikbare wind	17
4	Resultaten	19
4.1	Windsnelheidscoëfficiënten	19
4.2	Jaargemiddelde windsnelheid	21
4.3	Balans windbelasting	22
4.4	Turbulentie-intensiteit	24
4.5	Theoretisch bruikbare wind	26
4.5.1	Molenfunctie draaien	26
4.5.2	Molenfunctie zagen	28
4.5.3	Beoordeling aanvaardbaarheid windsituatie	30
5	Conclusie	32

1 Inleiding

In opdracht van Marktkwartier CV heeft Peutz begin 2022 een indicatief onderzoek verricht, op basis van statistische windgegevens, omtrent de mogelijke invloed van nieuwbouwplan Marktkwartier West op de windvang van molen De Otter te Amsterdam. De uitkomsten van dit indicatieve onderzoek zijn gedocumenteerd in het rapport "Invloed plan Food Center op windvang molen De Otter te Amsterdam" (O16238-2-RA-005) d.d. 4 februari 2022.

In opdracht van de eigenaar van de molen heeft Windsafe in de loop van 2022 CFD-onderzoek verricht naar het effect van Marktkwartier West op de windvang van De Otter. De uitkomsten van dit onderzoek zijn vastgelegd in de rapportages P21821462e106 (d.d. 1 april 2022) en P32422593e101 (d.d. 25 oktober 2022).

In navolging op de uitkomsten van deze onderzoeken heeft Marktkwartier CV aan Peutz gevraagd om een integrale windvanganalyse uit te voeren middels windtunnelonderzoek. Met deze analyse wenst de projectontwikkelaar een nauwkeuriger inzicht te verkrijgen in de effecten van de nieuwbouw in Marktkwartier West op de windvang van molen De Otter. De resultaten van het windtunnelonderzoek met bijbehorende analyse zijn beschreven in dit rapport.

De analyse richt zich op het gecombineerde effect van de westelijke en de oostelijke fase van het bouwplan Marktkwartier West en het nieuwe Food Center Amsterdam op de windvang van De Otter t.o.v. de referentie situatie. Voor de referentie situatie wordt uitgegaan van de feitelijke omgeving in de molenbiotoop van De Otter voor aanvang van de sloop van Food Center Amsterdam.

Doel van het onderzoek is om de theoretisch bruikbare wind voor molen De Otter vast te stellen voor de situatie na realisatie van de nieuwbouw. De theoretisch bruikbare wind kan worden gezien als de meest nauwkeurige maat voor de windvang op een Hollandse windmolen. Reden hiervoor is dat de theoretisch bruikbare wind rekening houdt met de (veranderende) snelheid en turbulentie van de wind welke gecombineerd wordt met windstatistiek. De theoretisch bruikbare wind wordt vastgesteld voor windsnelheden waarbij de molen kan draaien en waarbij de molen kan zagen.

Met de huidige technieken is de theoretisch bruikbare wind niet vast te stellen met behulp van indicatieve onderzoeken of CFD-onderzoeken. Dit kan enkel nauwkeurig worden gedaan met behulp van een windtunnelonderzoek zoals beschreven in dit rapport.

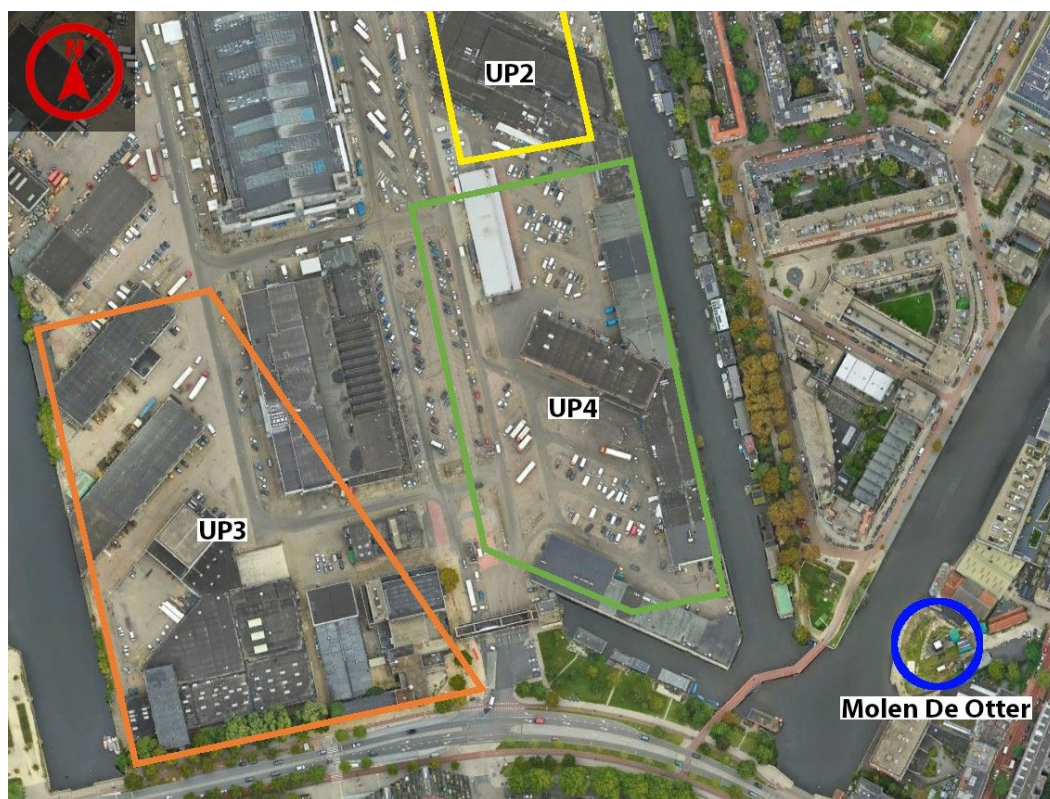
1.1 Leeswijzer

In dit rapport wordt in hoofdstuk 2 ingegaan op de situering van de molen en de planlocaties, en op de regelgeving rondom de windvang van molen De Otter. Vervolgens wordt nader ingegaan op het windklimaat bij de molen en de opzet van het windtunnelonderzoek in hoofdstuk 3. Nadien worden de resultaten van het onderzoek in hoofdstuk 4 gepresenteerd en wordt middels een analyse de invloed van de realisatie van de nieuwbouwplannen op de windvang van de molen in kaart gebracht. Tot slot worden de resultaten met de bijbehorende analyse samengevat in een conclusie in hoofdstuk 5.

2 Molen en molenbiotoop

De Otter is een paltrokmolen daterend uit 1631 en een rijksmonument met monumentnummer 1198. Volgens molendatabase.nl is de zaagmolen herbouwd in 1996 en maalvaardig (op vrijwillige basis in gebruik). De molen is sinds 2019 in eigendom van Houthandel Gt. Van Der Bijl.

Molen De Otter is gelegen aan de Gillis van Ledenberchstraat, nummer 78A. Het plangebied Food Center Amsterdam bevindt zich in het gebied westelijk tot noordnoordwestelijk van de molen. Het zuidelijk deel van dit plangebied betreft de planlocatie Marktkwartier West. De ligging van De Otter en de planlocatie Marktkwartier West is weergegeven in figuur f 2.1. Binnen het figuur zijn de relevante onderdelen van de planlocaties aangeduid met UP3 en UP4 (UP2 maakt onderdeel uit van het plangebied Food Center, maar is geen onderdeel van de planlocatie Marktkwartier West).



f 2.1 Ligging van molen De Otter en planlocatie Marktkwartier West (UP2, UP3 en UP4) [bron: Google Earth Pro]

De minimale afstand tussen de planlocatie (UP4) en het hart van molen De Otter is gelijk aan circa 119 m. De lokale maaiveldhoogte van de planlocatie is vrijwel gelijk aan de maaiveldhoogte van De Otter. De geplande bebouwing, zoals getest in het windtunnelonderzoek, bestaat uit verschillende bouwdelen met basishoogtes van 18,5 meter. Meerdere gebouwvolumes worden gespreid geplaatst op de bouwdelen wat resulteert in maximale gebouwhoogte van 36,5 m t.o.v. maaiveldniveau. In figuur f 2.2 is een impressie gegeven van het bouwplan.



f 2.2 Impressie bouwplan Marktkwartier West

2.1 Regelgeving en beoordeling windvang

Voor de toetsing van het bouwplan op de molenbiotoop¹ kan in eerste instantie gebruik worden gemaakt van de regels zoals vastgelegd in het onherroepelijke bestemmingsplan “Food Center Amsterdam (2e Herstelbesluit)”, [NL.IMRO.0363.E1204BPSTD-VG03](#). In het bestemmingsplan staat onder artikel 11.2 Uitwerkregels, lid c vermeld: *“het uitwerkingsplan mag niet leiden tot een onaanvaardbare negatieve invloed op de windsituatie bij houtzaagmolen ‘De Otter’ aan de Gillis van Ledenberchstraat 78A”*.

In een procedure over molen De Otter (d.d. 2 november 2011) is een advies van de Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed ingebracht aangaande het behoud van de molen. In de jurisprudentie van de Raad van State ([ECLI:NL:RVS:2011:BU3118](#)) wordt hierover vermeld dat: *“een minimum van enkele tientallen draaiuren per maand noodzakelijk is om de molen te kunnen behouden”*.

Voor het bepalen van de windvang zal gebruik worden gemaakt van de theoretisch bruikbare wind. De theoretisch bruikbare wind kan worden gezien als de meest nauwkeurige maat voor de windvang op een Hollandse windmolen. Reden hiervoor is dat de theoretisch bruikbare wind rekening houdt met de (veranderende) snelheden en wervels (turbulentie) van de wind welke gecombineerd worden met windstatistiek (zie paragraaf 3.5.4 uit dit rapport voor verdere toelichting). De theoretisch bruikbare wind is uitgedrukt in het aantal uren per jaar en kan worden gebruikt voor het benaderen van het aantal uren per maand.

¹ Omgeving waarin molen De Otter functioneert

3 Opzet windtunnelonderzoek

3.1 Schaalmodel

Ten behoeve van het windtunnelonderzoek is een 1:300 schaalmodel van de omgeving rondom molen De Otter vervaardigd conform de volgende gegevens:

- gegevens "Marktkwartier West (UP2, UP3 en UP4 [ontwerp beeldkwaliteitsplan])" aangeleverd door Marktkwartier CV d.d. 17 oktober 2023,
- gegevens "Marktkwartier West (UP4 [aanpassing oorspronkelijke opzet])" aangeleverd door Marktkwartier CV d.d. 26 oktober 2023,
- gegevens uit diverse openbare bronnen, waaronder de BGT en AHN.

In totaal is een gebied gemodelleerd met een diameter van 690 meter. Molen De Otter is decentraal op de maquetteschijf gepositioneerd zodat de nieuwbouwplannen westelijk tot noordnoordwestelijk van molen De Otter binnen het bereik van de maquetteschijf vallen.

Voor het onderzoek zijn de zes volgende bebouwingssituaties onderzocht:

- De referentie situatie:
bestaande bebouwing molenbiotoop De Otter voor aanvang sloop Food Center Amsterdam (peildatum 16 juni 2022). Het gemodelleerde gebied op de maquetteschijf is weergegeven in figuur f 3.1, een situatietekening van deze referentie is weergegeven in figuur f 5.1 van bijlage 1.
- Variant 1:
de referentie situatie + planonderdeel UP2 van Food Center + planonderdeel UP3 en UP4 van Marktkwartier West. Ontwerp van UP2, UP3 en UP4 volgens het ontwerp van het beeldkwaliteitsplan (hierna: BKP). Het gemodelleerde gebied op de maquetteschijf is weergegeven in figuur f 3.2, een situatietekening van deze variant is weergegeven in figuur f 5.2 van bijlage 1.
- Variant 2:
de referentie situatie + planonderdeel UP2 van Food Center + planonderdeel UP3 en UP4 van Marktkwartier West. Ontwerp van UP2 en UP3 volgens het BKP-ontwerp, ontwerp van UP4 is een aanpassing van de oorspronkelijke opzet waarbij in overleg met de omgeving de positie van enkele bouwvolumes en hoogteaccenten verschoven zijn. Het gemodelleerde gebied op de maquetteschijf is weergegeven in figuur f 3.3, een situatietekening van deze variant is weergegeven in figuur f 5.3 van bijlage 1.
- Variant 3:
de referentie situatie + planonderdeel UP2 van Food Center + planonderdeel UP3 van Marktkwartier West. Ontwerp van UP2 en UP3 volgens het BKP-ontwerp. Voor het oostelijke deel van Marktkwartier West (locatie UP4) is uitgegaan van de feitelijke bebouwing voor aanvang van de sloop (peildatum 16 juni 2022). Het gemodelleerde gebied op de maquetteschijf is weergegeven in figuur f 3.4, een situatietekening van deze variant is weergegeven in figuur f 5.4 van bijlage 1.

- Variant 4:

de referentie situatie + planonderdeel UP2 van Food Center + planonderdeel UP3 en UP4 van Marktkwartier West. Ontwerp van UP2 en UP3 volgens het BKP-ontwerp, ontwerp van UP4 is een aanpassing van de oorspronkelijke opzet waarbij in overleg met de omgeving de positie van enkele bouwvolumes en hoogteaccenten verschoven zijn.

In aanpassing op dit ontwerp is de volgende wijziging doorgevoerd:

- De gebouwhoogte op de zuidoostelijke hoek van UP4 (zie rode omcirkeling in figuur f 3.5) is verlaagd met 2 bouwlagen van 36 m naar 30 m.

Het gemodelleerde gebied op de maquetteschijf is weergegeven in figuur f 3.5, een situatietekening van deze variant is weergegeven in figuur f 5.5 van bijlage 1.

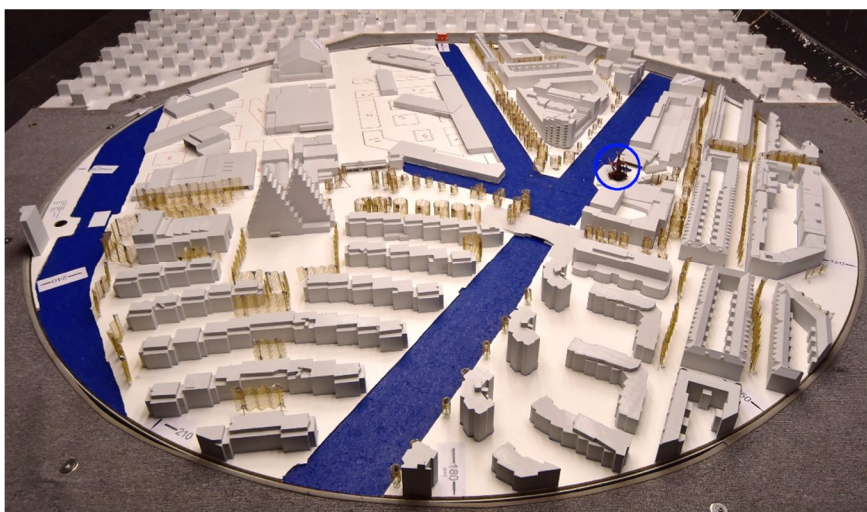
- Variant 5:

de referentie situatie + planonderdeel UP2 van Food Center + planonderdeel UP3 en UP4 van Marktkwartier West. Ontwerp van UP2 en UP3 volgens het BKP-ontwerp, ontwerp van UP4 is een aanpassing van de oorspronkelijke opzet waarbij in overleg met de omgeving de positie van enkele bouwvolumes en hoogteaccenten verschoven zijn.

In aanpassing op dit ontwerp zijn hierbij de volgende wijzigingen doorgevoerd:

- De gebouwhoogte op de zuidoostelijke hoek van UP4 (zie rode omcirkeling in figuur f 3.6) is verlaagd met 6 bouwlagen van 36 m naar de basishoogte van 18 m.
- Het gebouw S1 op de zuidoostelijke hoek van UP3 (zie paarse omcirkeling in figuur f 3.6) is verlaagd van 36 m naar de basishoogte van 18 m

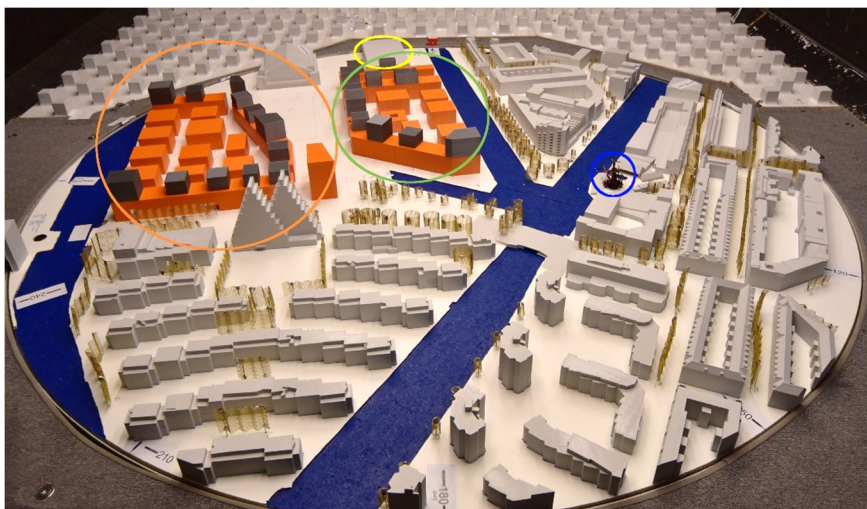
Het gemodelleerde gebied op de maquetteschijf is weergegeven in figuur f 3.6, een situatietekening van deze variant is weergegeven in figuur f 5.6 van bijlage 1.



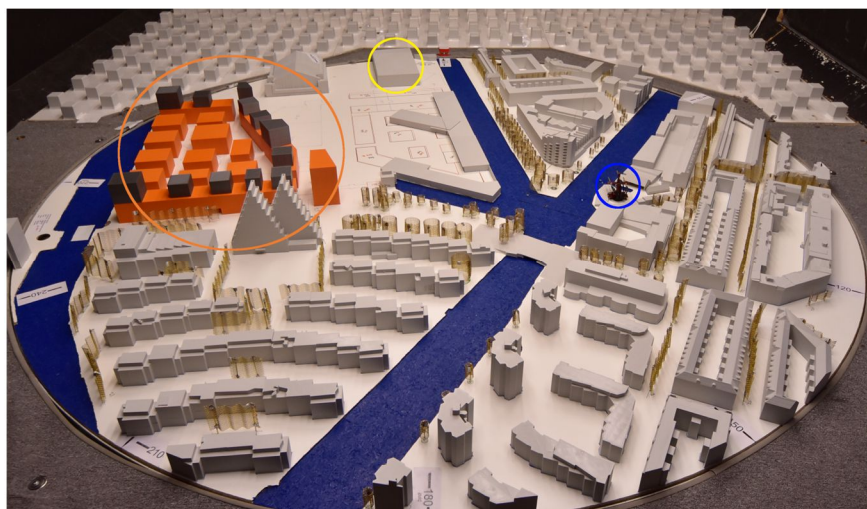
f 3.1 Windtunnel maquette: referentie situatie. Molen De Otter (blauw)



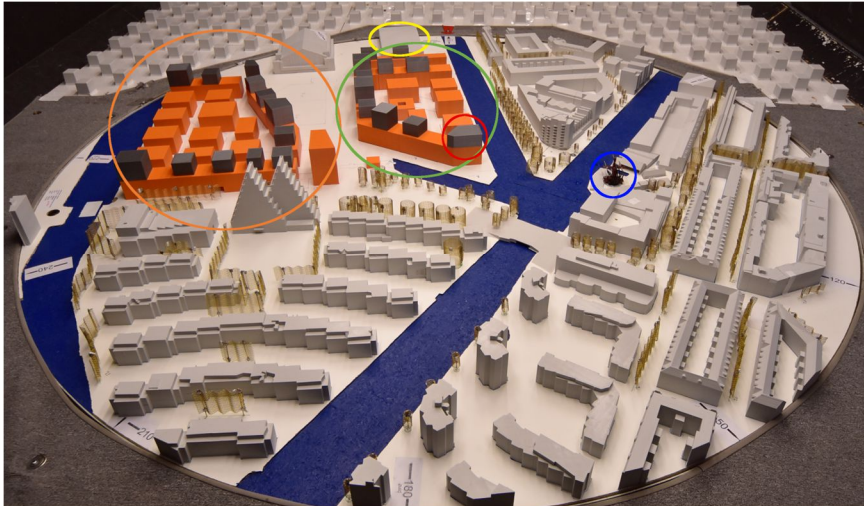
f 3.2 Windtunnel maquette: variant 1. Molen De Otter (blauw), UP2 (geel), UP3 (oranje) en UP4 (groen)



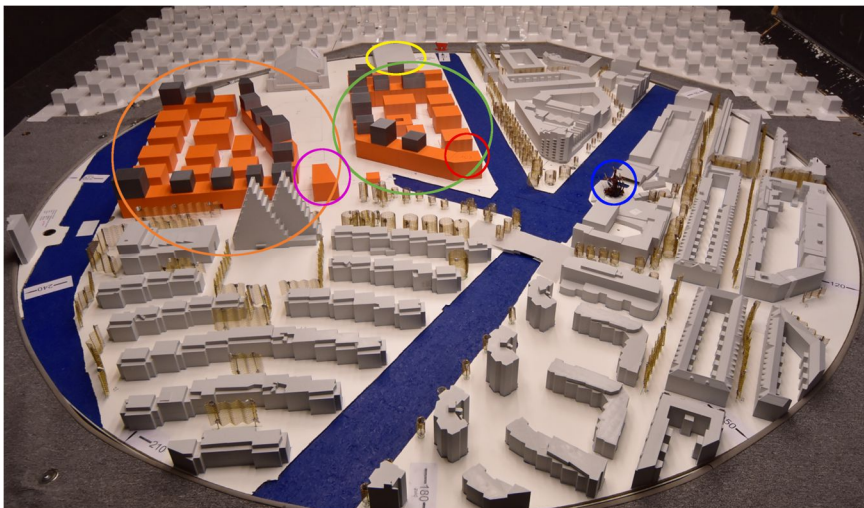
f 3.3 Windtunnel maquette: variant 2. Molen De Otter (blauw), UP2 (geel), UP3 (oranje) en UP4 (groen)



f 3.4 Windtunnel maquette: variant 3. Molen De Otter (blauw), UP2 (geel) en UP3 (oranje)



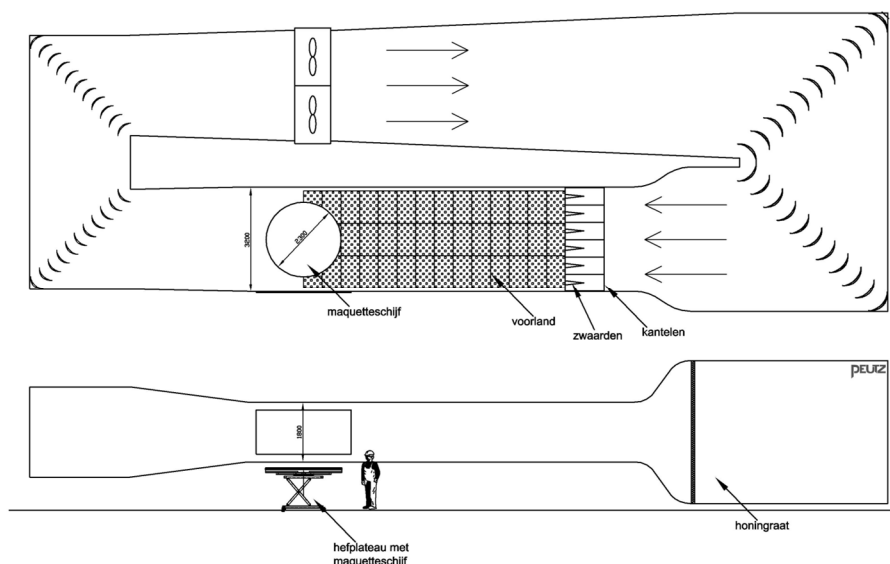
f 3.5 Windtunnel maquette: variant 4. Molen De Otter (blauw), UP2 (geel), UP3 (oranje), UP4 (groen) en aanpassing UP4 (rood)



f 3.6 Windtunnel maquette: variant 5. Molen De Otter (blauw), UP2 (geel), UP3 (oranje), aanpassing UP3 (paars), UP4 (groen) en aanpassing UP4 (rood)

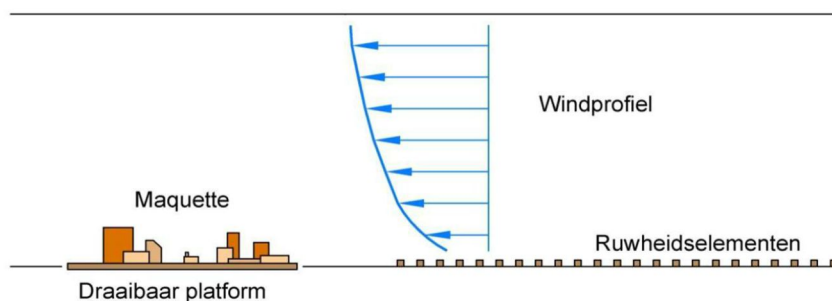
3.2 Simulatie in de windtunnel

Voor het uitvoeren van windtunnelonderzoek beschikt Peutz over een eigen windtunnel. Dit betreft een gesloten grenslaagtunnel, speciaal ontworpen voor het simuleren van een atmosferische grenslaag. In figuur f 3.7 is een schematische weergave van de windtunnel weergegeven.



f 3.7 Schematische weergave van de gesloten grenslaagtunnel

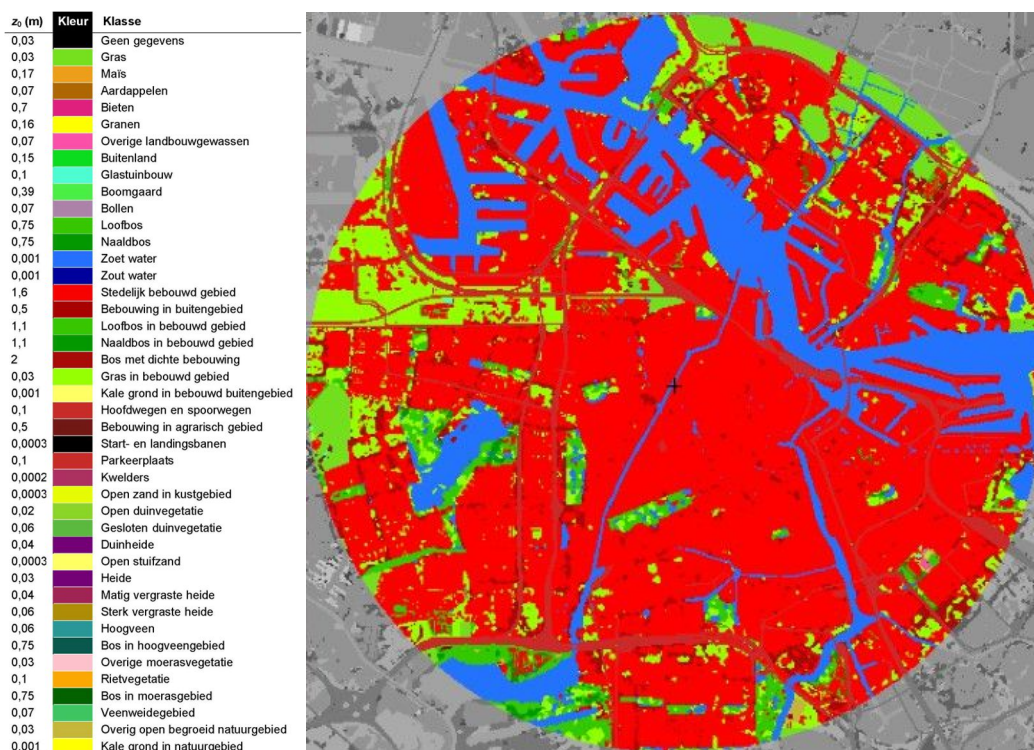
In de windtunnel wordt de grenslaagstroming die in de praktijk (bij neutrale stabiliteit t.a.v. het temperatuurprofiel) aanwezig is, op schaal opgewekt, zodat aan de rand van het schaalmodel het juiste windprofiel (afhankelijk van de terreinruwheid) wordt gesimuleerd. Dit gebeurt middels een zogenaamd 'voorland' van regelmatig verdeelde blokjes zoals zichtbaar in figuur f 3.8. Verfijning van de lokale windsituatie vindt plaats door het mee modelleren van de direct omliggende bebouwing. De meetsectie van de tunnel heeft een breedte van 3,2 m en een hoogte van 1,8 m. De draaischijf waarop de maquette geplaatst is heeft een diameter van 2,3 m.



f 3.8 Opwekken windprofiel in de windtunnel

3.3 Windklimaat op de locatie

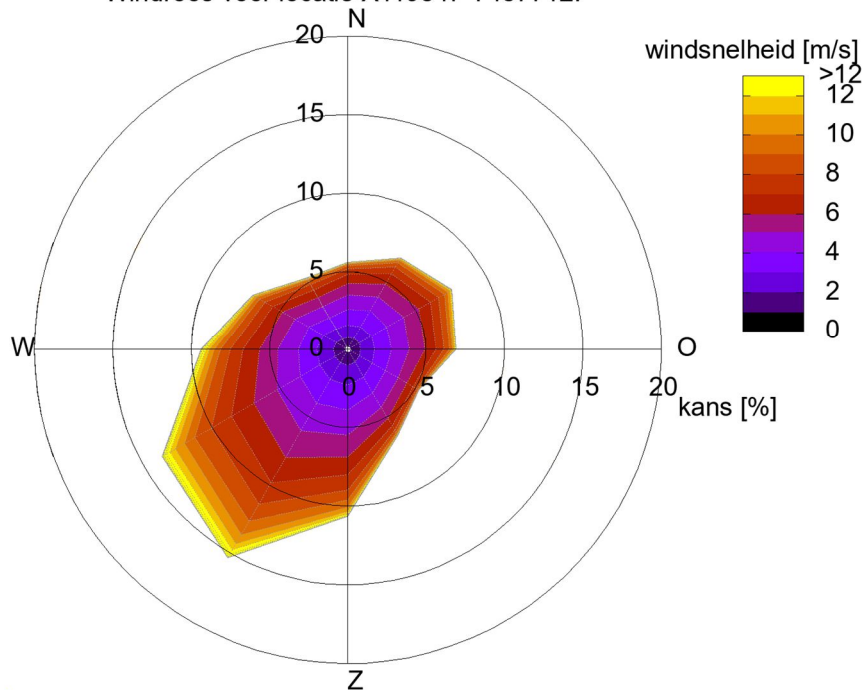
Voor beschouwingen van de windvang van molen De Otter wordt gebruik gemaakt van windstatistiek. Hiervoor wordt uitgegaan van de NPR 6097:2006 *Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland*. Met behulp van de bijbehorende software wordt voor de specifieke locatie een windstatistiek berekend op basis van meteogegevens van een groot aantal meteostations en gegevens omtrent terreinruwheden tot 6 km afstand van de molen. De terreinruwheden van het omliggende gebied worden per categorie weergegeven in figuur f 3.9. De kleur geeft de terreinruwheid aan. Rood staat bijvoorbeeld voor bebouwd gebied, met een zogeheten ruwheidslengte z_0 van 1,6 meter en blauw voor water met een z_0 van 0,001 meter.



f 3.9 Terreinruwheid tot 6 km afstand van molen De Otter volgens NPR 6097 (molen is gecentreerd in de cirkel)

In figuur f 3.10 wordt de windroos, gebaseerd op de middels de NPR 6097 berekende windstatistiek op 60 meter hoogte boven de molen, weergegeven. In de windroos wordt de kans op het voorkomen van wind uit een bepaalde richting aangegeven, alsmede de verdeling van windsnelheden binnen de betreffende richtingen. Uit de windroos en de in tabel t 3.1 opgenomen windstatistiek blijkt onder meer dat bij de molen de wind relatief vaak uit het zuidwesten komt. De bouwlocatie is gelegen in de westelijke tot noordnoordwestelijke windsector. Deze gegevens zijn van invloed op de beoordeling van de windaanvoer.

Windroos voor locatie X119847 Y487712.



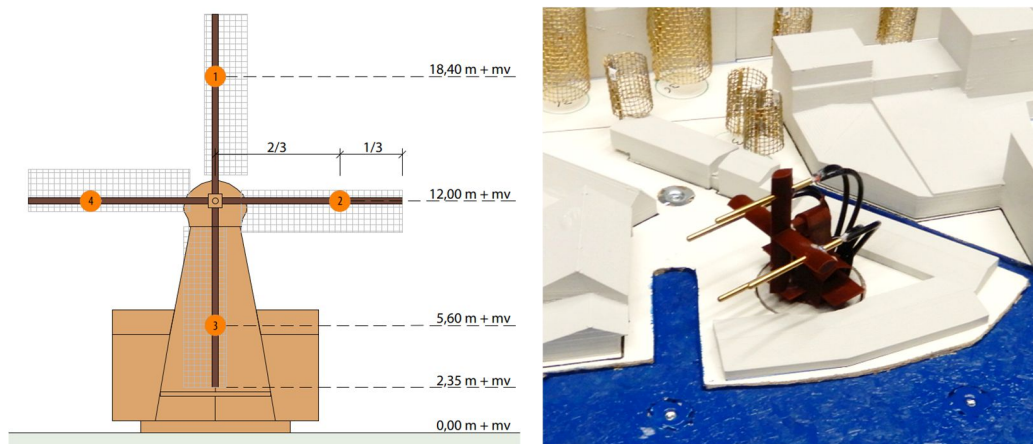
f 3.10 Windroos locatie molen De Otter volgens NPR 6097

t 3.1 Windstatistiek van de molenlocatie volgens NPR 6097 (60 meter hoogte)

Distributief overzicht windsnelheden 60 meter op basis van NPR 6097 in uren per jaar							totaal aantal uren: 8765.9					
Positie X119847 Y487712 Jaar 1963-2002							gemiddelde windsnelheid (m/s): 5.2					
wind snelheid	Noord 0°	30°	60°	Oost 90°	120°	150°	Zuid 180°	210°	240°	West 270°	300°	330°
0.0 - 0.9	14.6	15.7	17.2	17.7	19.7	20.0	20.1	19.6	19.3	19.8	18.1	16.3
1.0 - 1.9	51.3	55.0	57.8	53.9	55.7	64.0	72.3	67.2	67.6	65.4	60.0	50.5
2.0 - 2.9	73.2	76.4	81.0	79.9	84.3	96.9	111.2	112.6	96.2	89.9	82.7	66.9
3.0 - 3.9	86.5	105.4	97.4	95.9	85.8	102.8	138.4	149.8	125.3	103.7	91.8	73.3
4.0 - 4.9	81.9	91.1	110.7	98.4	80.6	96.1	138.6	178.4	149.4	113.3	91.5	73.4
5.0 - 5.9	65.4	82.8	96.9	87.7	57.4	70.6	121.3	173.5	151.6	103.2	78.1	59.7
6.0 - 6.9	48.7	66.9	74.7	62.0	39.6	45.3	101.4	159.6	143.6	92.3	65.5	47.7
7.0 - 7.9	31.8	42.3	51.3	44.4	23.7	30.0	81.7	138.6	130.9	71.8	48.5	33.0
8.0 - 8.9	18.2	27.2	38.1	30.7	8.2	17.0	55.9	110.5	103.2	52.8	34.3	19.3
9.0 - 9.9	9.3	16.1	22.3	17.3	3.1	9.4	40.3	84.8	70.3	35.4	20.4	12.6
10.0 - 10.9	4.8	8.4	13.8	9.4	1.0	4.0	24.9	58.8	57.6	28.2	11.6	6.0
11.0 - 11.9	2.5	3.7	8.8	6.3	0.4	1.3	13.6	41.2	35.1	17.5	7.7	3.2
12.0 - 12.9	1.3	2.1	2.7	2.3	0.2	0.7	7.8	24.5	22.1	13.0	3.0	1.8
13.0 - 13.9	0.9	1.0	1.2	0.8		0.2	3.5	13.2	12.9	6.9	1.3	0.9
14.0 - 14.9	0.3	0.2	0.3	0.4			1.4	6.4	6.5	4.3	1.0	0.3
15.0 - 15.9			0.1	0.2			0.8	3.5	3.2	2.3	0.3	0.2
16.0 - 16.9							0.6	1.5	2.1	1.2	0.1	
17.0 - 17.9								1.1	1.0	0.6	0.2	
18.0 - 18.9								0.2	0.3	0.3	0.1	
19.0 - 19.9								0.1	0.2	0.1	0.1	
20.0 - 20.9									0.2	0.1		
21.0 - 21.9									0.1	0.1		
22.0 - 22.9									0.1			
23.0 - 23.9												
24.0 - 24.9												
25.0 - 25.9												
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	490.7	594.3	674.3	607.3	459.7	558.3	933.8	1345.1	1198.8	822.2	616.3	465.1
gemiddelde snelheid	4.5	4.8	5.0	4.8	4.0	4.2	5.3	6.1	6.2	5.6	4.9	4.6

3.4 Meetpunten en metingen

De windtunnelmetingen vinden plaats op enkele meters stroomopwaarts voor de molen. Er wordt gebruik gemaakt van pitotbuizen om de snelheid en turbulentie op de wieken te bepalen. De pitotbuizen worden op twee derde van de wielengte vanaf de as bevestigd aan de molen. In figuur f 3.11 zijn de posities van de meetpunten en de meethoogtes aangegeven, en is een detailfoto van de geïstrumenteerde molen weergegeven.



f 3.11 Overzicht meetpunten en detailfoto geïstrumenteerde molen

De gehele maquetteschijf kan in de windtunnel op een draaiplateau in iedere gewenste windrichting worden ingesteld. Het schaalmodel van de molen is eveneens voorzien van een draaiplateau waarmee de molen met de opgebouwde pitotbuizen op de aanstromende wind wordt gericht.

Naast de 12 hoofdwindrichtingen die gedefinieerd zijn in de windstatistiek, zie tabel t 3.1, zijn aanvullende windrichtingen onderzocht welke corresponderen met de westelijk tot noordnoordwestelijk gelegen geplande ontwikkelingen ten opzichte van molen De Otter. Op deze manier wordt een hogere mate van nauwkeurigheid verkregen bij het analyseren van de windvang op de molen. In onderstaande tabel, t 3.2, zijn de onderzochte windrichtingen gedefinieerd. Elke windrichting representeert een bepaalde windsector, deze windsectoren variëren van 5° tot 30° in grootte. De windstatistiek is opgesplitst middels lineaire interpolatie om de windtunnel resultaten van de tussenliggende windrichtingen te evalueren.

t 3.2 Onderzochte windrichtingen met bijbehorende windsector

Windrichting	Windsector	Sectorgrootte
0°	345° – 15°	30°
30°	15° – 45°	30°
60°	45° – 75°	30°
90°	75° – 105°	30°
120°	105° – 135°	30°
150°	135° – 165°	30°
180°	165° – 195°	30°
210°	195° – 225°	30°
240°	225° – 243°	18°
246°	243° – 249,5°	6,5°
253°	249,5° – 256,5°	7°
260°	256,5° – 262,5°	6°
265°	262,5° – 267,5°	5°
270°	267,5° – 272,5°	5°
275°	272,5° – 277,5°	5°
280°	277,5° – 282,5°	5°
285°	282,5° – 289°	6,5°
293°	289° – 296,5°	7,5°
300°	296,5° – 305°	8,5°
310°	305° – 315°	10°
320°	315° – 325°	10°
330°	325° – 345°	20°

3.5 Analyse windvang molen De Otter

3.5.1 Windsnelheidscoëfficiënten en jaargemiddelde windsnelheid

De gemiddelde waarden van de in de windtunnel gemeten windsnelheden worden gerelateerd aan een referentiewindsnelheid, de windsnelheid op 60 meter hoogte (op schaal) in de bebouwde situatie. Aldus ontstaan als tussenresultaat dimensieloze windsnelheidscoëfficiënten.

Per meetpositie en windrichting wordt met de vastgestelde windsnelheidscoëfficiënt en de windstatistiek, die eveneens uitgaat van 60 meter hoogte (zogeneten mesohoogte), de jaargemiddelde windsnelheid op de meetpositie berekend. Tevens wordt de gemiddelde windsnelheid over alle windrichtingen en vervolgens van alle meetposities samen berekend.

De weging van de windstatistiek komt tot uiting door het verschil tussen de coëfficiënten en de jaargemiddelde windsnelheden. Een vergelijking van de jaargemiddelde windsnelheden voor de verschillende bebouwingssituaties geeft een beeld van de te verwachten wijziging van het windklimaat.

3.5.2 Balans windbelasting op basis van de windsnelheidsverhouding

Om inzicht te verkrijgen in het verloop van de windsnelheid over de wieken (verticaal: hoog/laag en horizontaal: links/rechts) wordt de verhouding tussen de jaargemiddelde windsnelheden op de betreffende meetpunten weergegeven. Een verslechtering van de balans, dat wil zeggen een toename boven de 1 of een afname onder de 1, kan duiden op extra slijtage van het mechaniek van de molen.

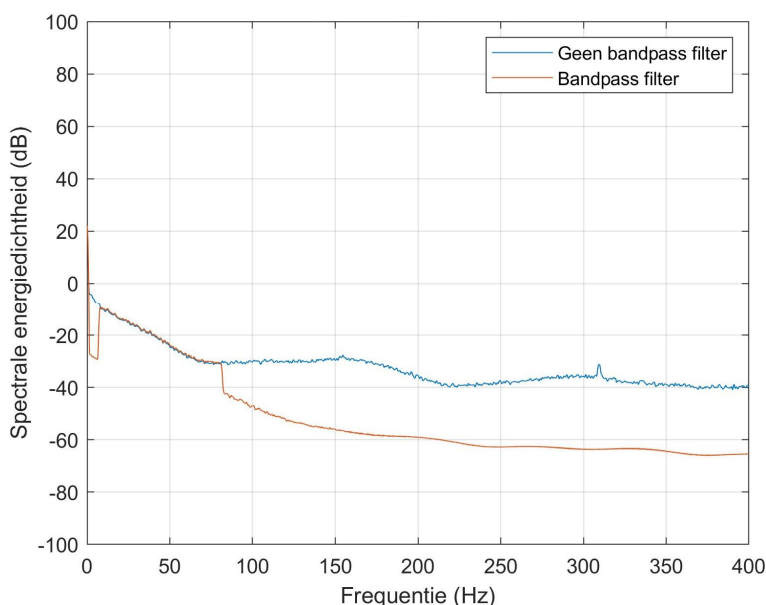
3.5.3 Turbulentie-intensiteit

Het turbulentie niveau van de wind is mede sterk bepalend voor de bedrijfsmogelijkheden van de molen. Turbulentie is een maat voor de werveling van de wind en de intensiteit hiervan, I_{turb} , is gedefinieerd door de fluctuerende windsnelheid (standaarddeviatie) te delen door de gemiddelde windsnelheid. Met andere woorden, grotere fluctuaties/wervels van de wind leiden tot een grotere turbulentie-intensiteit.

De meetresultaten worden qua frequentiebereik gefilterd omdat bij benadering alleen de windsnelheidswisselingen met een lengteschaal van globaal 20 tot 200 meter van invloed zijn op de molen. Volgens opgave van De Hollandsche Molen zijn molens minder gevoelig voor windsnelheidswisselingen buiten dit bereik. De frequenties voor de onder- en bovengrens van het doorlaatfilter worden bepaald met de volgende formule:

$$f = \frac{v_{\text{meetpunt}} \cdot S_{\text{model}}}{L_{\text{vlaag}}} \quad (3.1)$$

Voor de waarde van v_{meetpunt} worden de in de windtunnel gemiddelde windsnelheden gemeten van circa 5,4 m/s gehanteerd. De schaalfactor van het model S_{model} is gelijk aan 300 en de karakteristieke lengtes van de windvlagen L_{vlaag} zijn gelijk aan 20 en 200 meter. Hieruit volgt een frequentiebereik van circa 8 tot 81 Hz. Bij de verwerking van de meetdata worden deze grenswaarden globaal gehanteerd. Een voorbeeld van het bandfilter voor dit frequentiebereik is gegeven in figuur f 3.12.



f 3.12 Bandfilter 8 Hz – 81 Hz

3.5.4 Theoretisch bruikbare wind

Met de gegevens over de windsnelheid en de turbulentie-intensiteit wordt aan de hand van windstatistiek², de theoretisch bruikbare wind voor molen De Otter bepaald. Deze theoretisch bruikbare wind wordt uitgedrukt in het aantal uur voor een molenfunctie en wordt doorgaans als het eindresultaat van het onderzoek beschouwd.

De theoretisch bruikbare wind wordt bepaald voor windsnelheden waarbij het gevlucht van de molen kan draaien (molenfunctie draaien) en waarbij de molen kan zagen (molenfunctie zagen). Conform opgave van de moleneigenaar³ is een minimale windsnelheid van 2 Bft (1,6 m/s tot 3,3 m/s) nodig om de molen te laten draaien en is een minimale windsnelheid van 3 Bft (3,4 m/s tot 5,4 m/s) nodig om de molen te laten zagen. De bovengrens voor het zagen is vastgesteld op 7 Bft (13,9 m/s tot 17,1 m/s). Op basis van deze uitgangspunten zoals gedefinieerd in de Windsafe rapportages, wordt een windsnelheidsbereik van 1,6 m/s tot 13,8 m/s aangenomen voor de bepaling van de theoretisch bruikbare wind voor de molenfunctie draaien. Een windsnelheidsbereik van 3,4 m/s tot 13,8 m/s wordt aangenomen voor het bepalen van de theoretisch bruikbare wind voor de molenfunctie zagen.

De referentie situatie wordt qua turbulentie als nulsituatie gehanteerd. De gemiddelde windsnelheidscoëfficiënt over de 4 meetpunten op de vier wieken van de molen (zie figuur f 3.11), c_{as} , wordt als rekenwaarde gehanteerd voor de windsnelheid op ashoogte. Op basis van deze waarde wordt aan de hand van de windstatistiek² per windrichting vastgesteld wat het te verwachten aantal uren is binnen het gedefinieerde draaibereik voor de twee molenfuncties.

Voor het vaststellen van de theoretisch bruikbare wind in de nieuwbouwsituatie, wordt aanvullend op bovenstaande een wijziging van de turbulentie-intensiteit ten opzichte van de referentie situatie verrekend in de windsnelheidscoëfficiënten zoals vastgesteld per meetposities in deze bebouwingssituatie. Voor de volledigheid wordt opgemerkt dat het niveau van de turbulentie-intensiteit alleen betrokken wordt bij de berekening van de theoretisch bruikbare wind in de nieuwbouwsituaties. Verondersteld wordt dat de molen in de referentie situatie, met de optredende turbulentie van de wind, kan functioneren in het gestelde draaibereik.

Een wijziging van de turbulentie heeft als volgt invloed op de te hanteren onder- en bovengrens van het draaibereik van de molen. Hiertoe worden eerst de met de metingen vastgestelde windsnelheidscoëfficiënten met onderstaande formules gecorrigeerd.

$$\text{Correctie ondergrens draaibereik: } c_{\text{gepland(gecorrigeerd)}} = c_{\text{gepland}} \cdot \frac{I_{\text{turb,huidig}}}{I_{\text{turb,gepland}}}$$

$$\text{Correctie bovengrens draaibereik: } c_{\text{gepland(gecorrigeerd)}} = c_{\text{gepland}} \cdot \frac{I_{\text{turb,gepland}}}{I_{\text{turb,huidig}}}$$

Hierin zijn c_{gepland} en I_{turb} respectievelijk de windsnelheidscoëfficiënt en turbulentie-intensiteit per meetpunt.

Vervolgens wordt aan de hand van de (gecorrigeerde) windsnelheidscoëfficiënten bepaald welke windsnelheden in de windstatistiek, die geldig zijn op mesohoogte, corresponderen met het gestelde draaibereik op ashoogte van de molen:

² NPR 6097 - Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland

³ Windsafe rapport P21821462e106 en ref. P32422593e101

$$v_{\text{statistiek}} = \frac{v_{\text{as}}}{c_{\text{as}}} \quad (3.2)$$

Hier is $v_{\text{statistiek}}$ de onder- c.q. bovengrens van het draaibereik op 60 m hoogte t.b.v. windstatistiek in m/s, v_{as} de onder- c.q. bovengrens van het draaibereik op asniveau (respectievelijk 1,6 m/s en 13,8 m/s voor de functie draaien en 3,4 m/s en 13,8 m/s voor de functie zagen) en c_{as} de windsnelheidscoëfficiënt op ashoogte, al dan niet gecorrigeerd.

Na vaststelling van het corresponderende windsnelheidsbereik op 60 meter hoogte wordt met de windstatistiek het aantal uren bepaald dat de windsnelheid binnen het betreffende windsnelheidsbereik te verwachten is.

Bij deze wijze van berekenen wordt een toename van de turbulentie-intensiteit als gevolg van de geplande bebouwing in het draaibereik verdisconteerd door de ondergrens te verhogen en de bovengrens te verlagen. Een toename van de turbulentie-intensiteit resulteert daarmee in een kleiner draaibereik. Bij een toe- of afname van de windsnelheid na realisatie van de geplande bebouwing verlaagt c.q. verhoogt het gehele corresponderende draaibereik.

Bovenstaande methode voor het bepalen van de theoretisch bruikbare wind is niet vastgelegd in een norm of standaard, maar is in het verleden tot stand gekomen door samenwerking tussen De Hollandsche Molen en Peutz. Hierbij wordt opgemerkt dat de methode kan leiden tot een overschatting van het effect van het nieuwbouwplan op de theoretisch bruikbare wind van molen de Otter, vanwege de wijze waarop de verandering van de turbulentie-intensiteit in rekening wordt gebracht.

4 Resultaten

4.1 Windsnelheidscoëfficiënten

In onderstaande tabel, tabel t 4.1, zijn de vastgestelde windsnelheidscoëfficiënten voor alle onderzochte windrichtingen en meetposities weergegeven. De oranje en groen gemarkeerde windrichtingen in de tabel indexeren een directe afscherming van molen De Otter, op basis van de zichtlijn, door respectievelijk het westelijke (UP3) en oostelijke (UP4) deel van de planbebouwing Marktkwartier West. Daarbij wordt opgemerkt dat UP3 en UP4 overlap vertonen van windrichting 277° tot 295° wat betreft de directe afscherming van de molen op basis van zichtlijnen. Dit is niet expliciet aangegeven in de tabel.

In figuur f 4.1 zijn de gemiddelde waarden over de 4 meetpunten van zowel de referentie situatie als de nieuwbouwvarianten weergegeven. De waarden per meetpunt zijn omwille van de overzichtelijkheid niet in de grafiek opgenomen en derhalve ook niet gemarkeerd in de tabel. De achtergrond van de grafiek is gemarkeerd met dezelfde kleuren uit tabel t 4.1 voor de betreffende windrichtingen waarbij de molen op basis van zichtlijnen direct wordt afgeschermd.

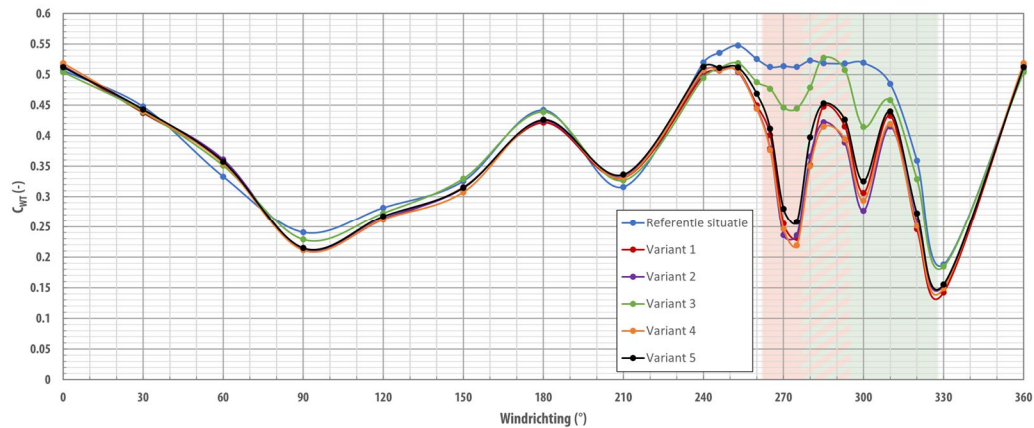
De windsnelheidscoëfficiënten geven een beeld van de windsnelheden bij verschillende windrichtingen zonder de weging van de windstatistiek. Dat wil zeggen dat de optredende windsnelheidsverschillen bij de verschillende windrichtingen alleen bepaald worden door de in het schaalmodel aanwezige bebouwing.

Wanneer de windsnelheidscoëfficiënten van de referentie situatie worden beschouwd in figuur f 4.1 (blauwe lijn in de grafiek), vindt men pieken en dalen van de windsnelheidscoëfficiënt als gevolg van de bestaande bebouwing in de molenbiotoop. Hierbij worden de grootste windsnelheden gemeten binnen het windrichtingsgebied van ca. 240° tot 300°, de laagste windsnelheid wordt gemeten bij windrichting 330°.

Er valt op te maken uit figuur f 4.1 dat de windsnelheid op de molen met name afneemt in het windrichtingsgebied van 240° tot 300° bij realisatie van Marktkwartier West (UP3 en UP4). Kijkende naar het gemiddelde over alle windrichtingen vindt men een reductie van de windsnelheid op het wiekenkruis van 8,7%. Bij het enkel realiseren van UP3 (variant 3) wordt voor westen- tot noordwestenwind een minder grote afname van de gemiddelde windsnelheid op het wiekenkruis gevonden. De gemiddelde reductie is hierbij gelijk aan 2,7%.

Voor de overige windrichtingen geldt dat de windsnelheid op molen De Otter in kleine mate verandert ten gevolge van het nieuwbouwplan. Voor deze windrichtingen neemt de windsnelheid zowel toe als af.

Een onderling verschil tussen variant 1 (rode lijn in grafiek) en variant 2 (paarse lijn in grafiek) t.o.v. de referentie situatie wordt waargenomen voor de windrichtingen van 285° tot 330°. Het verschil is echter dusdanig klein dat de gemiddelde windsnelheid op het wiekenkruis van de molen voor beide situaties afneemt met de eerdergenoemde 8,7% t.o.v. de referentie situatie.



f 4.1 Gemiddelde windsnelheidscoëfficiënt over 4 meetpunten
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

t 4.1 Windsnelheidscoëfficiënten per meetpunt
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

Windrichting	Referentie situatie					Variant 1					Variant 2				
	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld
0°	0,57	0,50	0,46	0,50	0,51	0,58	0,52	0,46	0,50	0,51	0,58	0,51	0,46	0,50	0,51
30°	0,64	0,53	0,09	0,53	0,45	0,63	0,52	0,10	0,51	0,44	0,63	0,52	0,11	0,52	0,44
60°	0,49	0,47	0,08	0,30	0,33	0,52	0,49	0,09	0,34	0,36	0,52	0,49	0,09	0,35	0,36
90°	0,44	0,17	0,08	0,27	0,24	0,40	0,15	0,07	0,23	0,21	0,40	0,14	0,07	0,24	0,21
120°	0,50	0,28	0,08	0,27	0,28	0,47	0,26	0,07	0,24	0,26	0,48	0,25	0,07	0,25	0,26
150°	0,55	0,33	0,12	0,30	0,33	0,54	0,34	0,11	0,28	0,32	0,54	0,33	0,10	0,29	0,31
180°	0,63	0,50	0,25	0,40	0,44	0,62	0,50	0,18	0,37	0,42	0,63	0,51	0,18	0,38	0,42
210°	0,46	0,27	0,20	0,34	0,32	0,46	0,27	0,23	0,36	0,33	0,45	0,28	0,24	0,35	0,33
240°	0,56	0,51	0,48	0,52	0,52	0,54	0,49	0,46	0,50	0,50	0,55	0,50	0,47	0,51	0,51
246°	0,58	0,53	0,50	0,53	0,54	0,56	0,49	0,47	0,51	0,51	0,56	0,50	0,47	0,51	0,51
253°	0,60	0,55	0,51	0,53	0,55	0,56	0,50	0,46	0,50	0,51	0,56	0,50	0,46	0,50	0,50
260°	0,58	0,53	0,49	0,50	0,53	0,51	0,45	0,40	0,44	0,45	0,51	0,44	0,39	0,44	0,44
265°	0,58	0,52	0,47	0,48	0,51	0,46	0,42	0,37	0,36	0,40	0,45	0,40	0,33	0,34	0,38
270°	0,59	0,52	0,46	0,49	0,51	0,31	0,29	0,22	0,21	0,26	0,29	0,27	0,20	0,19	0,24
275°	0,60	0,52	0,44	0,49	0,51	0,29	0,22	0,17	0,25	0,23	0,30	0,22	0,17	0,26	0,24
280°	0,63	0,52	0,43	0,51	0,52	0,43	0,33	0,27	0,37	0,35	0,45	0,36	0,28	0,37	0,37
285°	0,64	0,52	0,40	0,51	0,52	0,55	0,45	0,35	0,45	0,45	0,50	0,43	0,35	0,41	0,42
293°	0,66	0,52	0,38	0,52	0,52	0,51	0,43	0,32	0,40	0,41	0,47	0,41	0,32	0,36	0,39
300°	0,67	0,53	0,38	0,50	0,52	0,42	0,28	0,20	0,32	0,31	0,36	0,25	0,21	0,29	0,28
310°	0,63	0,50	0,35	0,45	0,48	0,56	0,43	0,30	0,44	0,43	0,53	0,39	0,32	0,43	0,41
320°	0,49	0,39	0,29	0,27	0,36	0,34	0,29	0,18	0,18	0,25	0,35	0,29	0,20	0,21	0,26
330°	0,23	0,22	0,15	0,15	0,19	0,18	0,12	0,10	0,17	0,14	0,19	0,14	0,12	0,18	0,15
Gemiddeld	0,54	0,41	0,24	0,38	0,39	0,49	0,37	0,21	0,35	0,36	0,49	0,37	0,21	0,36	0,36

Windrichting	Variant 3					Variant 4					Variant 5				
	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld
0°	0,57	0,50	0,45	0,49	0,50	0,59	0,52	0,45	0,51	0,52	0,59	0,51	0,44	0,51	0,51
30°	0,63	0,52	0,10	0,51	0,44	0,62	0,51	0,10	0,54	0,44	0,64	0,53	0,10	0,52	0,44
60°	0,51	0,48	0,09	0,33	0,35	0,52	0,48	0,09	0,34	0,35	0,52	0,49	0,09	0,34	0,36
90°	0,42	0,17	0,07	0,25	0,23	0,40	0,14	0,07	0,24	0,21	0,41	0,14	0,07	0,24	0,21
120°	0,48	0,28	0,07	0,26	0,27	0,48	0,26	0,07	0,26	0,26	0,48	0,26	0,07	0,26	0,27
150°	0,56	0,34	0,11	0,31	0,33	0,53	0,33	0,10	0,28	0,31	0,54	0,33	0,11	0,29	0,31
180°	0,63	0,51	0,24	0,39	0,44	0,63	0,51	0,19	0,38	0,43	0,62	0,50	0,21	0,38	0,43
210°	0,47	0,27	0,21	0,36	0,33	0,46	0,28	0,23	0,36	0,33	0,47	0,27	0,23	0,37	0,34
240°	0,54	0,49	0,46	0,49	0,49	0,55	0,50	0,47	0,51	0,51	0,56	0,50	0,47	0,52	0,51
246°	0,56	0,50	0,47	0,51	0,51	0,56	0,50	0,46	0,51	0,51	0,56	0,50	0,47	0,51	0,51
253°	0,57	0,52	0,48	0,51	0,52	0,56	0,50	0,46	0,50	0,51	0,57	0,50	0,47	0,51	0,51
260°	0,54	0,49	0,46	0,47	0,49	0,51	0,44	0,38	0,43	0,44	0,54	0,46	0,41	0,46	0,47
265°	0,53	0,48	0,45	0,45	0,48	0,45	0,40	0,32	0,34	0,38	0,48	0,43	0,36	0,38	0,41
270°	0,50	0,45	0,41	0,42	0,45	0,30	0,28	0,20	0,20	0,25	0,34	0,31	0,24	0,24	0,28
275°	0,51	0,44	0,39	0,43	0,44	0,28	0,22	0,15	0,24	0,22	0,32	0,25	0,19	0,27	0,26
280°	0,56	0,47	0,41	0,47	0,48	0,44	0,35	0,25	0,36	0,35	0,48	0,39	0,30	0,42	0,40
285°	0,63	0,52	0,43	0,53	0,53	0,50	0,42	0,33	0,42	0,41	0,55	0,45	0,35	0,47	0,45
293°	0,64	0,52	0,37	0,50	0,51	0,48	0,41	0,31	0,38	0,39	0,54	0,44	0,32	0,41	0,43
300°	0,56	0,43	0,27	0,40	0,41	0,38	0,27	0,21	0,31	0,29	0,42	0,30	0,24	0,35	0,33
310°	0,60	0,47	0,33	0,43	0,46	0,54	0,39	0,31	0,44	0,42	0,56	0,42	0,32	0,46	0,44
320°	0,43	0,37	0,28	0,23	0,33	0,34	0,28	0,18	0,20	0,25	0,36	0,30	0,20	0,22	0,27
330°	0,22	0,22	0,15	0,14	0,18	0,19	0,13	0,10	0,18	0,15	0,20	0,14	0,11	0,17	0,16
Gemiddeld	0,52	0,40	0,23	0,37	0,38	0,49	0,37	0,20	0,36	0,36	0,50	0,38	0,21	0,37	0,36

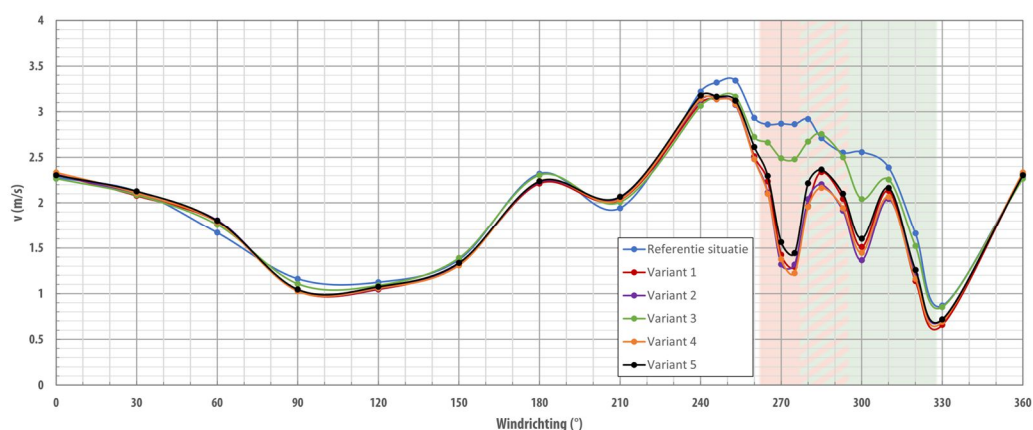
Voor de verlaging van het zuidoostelijk gebouw in UP4 met 2 bouwlagen, variant 4 (oranje lijn in de grafiek) t.o.v. variant 2 (paarse lijn), wordt geen significant effect op de gemiddelde windsnelheid gevonden. In vergelijking tot variant 2 wordt bij variant 5 voor westelijke wind een lichte toename van de windsnelheid op het wiekenkruis gevonden, ten gevolge van de verlaging van de zuidoostelijke gebouwen op zowel UP3 als UP4 tot de basishoogte.

Als laatste wordt er opgemerkt dat door afbuiging en omstromingseffecten, de wind niet altijd de zichtlijn volgt tussen de bebouwing en de molen, waardoor de optredende windsnelheidsverschillen qua windrichtingen niet exact overeenkomen met de ligging van de bebouwing zoals aangegeven in de situatietekeningen in bijlage 1.

4.2 Jaargemiddelde windsnelheid

Voor het bepalen van de totale jaargemiddelde windsnelheid heeft een weging plaatsgevonden naar rato van het aantal keren dat wind uit de betreffende windrichtingen in werkelijkheid voorkomt. In tabel t 4.2 is voor alle onderzochte windrichtingen en meetposities de jaargemiddelde windsnelheid weergegeven. In figuur f 4.2 zijn de jaargemiddelde windsnelheden gemiddeld over de 4 meetposities van de zes geteste varianten weergegeven. In deze grafiek is het effect van de windstatistiek zichtbaar door de hogere windsnelheden bij zuidwestelijke windrichtingen (240° - 253°) t.o.v. noordwestelijke windrichtingen (300°-310°).

In de referentie situatie bedraagt de jaargemiddelde windsnelheid op ashoogte bij de molen 1,98 m/s. De jaargemiddelde windsnelheid neemt met 8,8% af bij realisatie van het plan Marktkwartier West (variant 1 en 2) tot 1,81 m/s. Overeenkomstig met de bevindingen in paragraaf 4.1 aangaande de windsnelheidscoëfficiënten, worden er onderling geen grote verschillen waargenomen in de jaargemiddelde windsnelheid tussen de nieuwbouw varianten.



f 4.2 Jaargemiddelde windsnelheid, gemiddeld over de 4 meetpunten
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

t 4.2 Jaargemiddelde windsnelheid per meetpunt in m/s
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

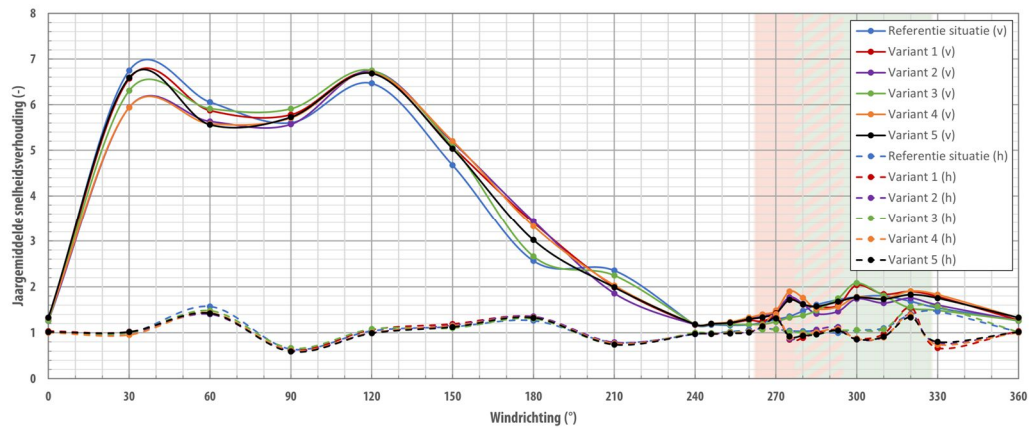
Windrichting	Referentie situatie					Variant 1					Variant 2				
	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld
0°	2,58	2,27	2,05	2,23	2,28	2,63	2,33	2,06	2,24	2,31	2,62	2,29	2,08	2,26	2,31
30°	3,04	2,51	0,45	2,51	2,13	2,98	2,47	0,45	2,42	2,08	2,97	2,45	0,50	2,45	2,10
60°	2,44	2,34	0,40	1,49	1,67	2,58	2,43	0,44	1,70	1,79	2,60	2,44	0,46	1,74	1,81
90°	2,13	0,84	0,38	1,30	1,16	1,94	0,70	0,34	1,13	1,03	1,94	0,69	0,35	1,14	1,03
120°	2,00	1,12	0,31	1,07	1,12	1,89	1,04	0,28	0,97	1,05	1,90	1,01	0,28	1,01	1,05
150°	2,33	1,41	0,50	1,24	1,37	2,26	1,42	0,45	1,19	1,33	2,25	1,40	0,43	1,21	1,32
180°	3,30	2,62	1,29	2,08	2,32	3,28	2,65	0,96	1,96	2,21	3,31	2,67	0,96	1,98	2,23
210°	2,83	1,65	1,20	2,09	1,94	2,85	1,69	1,42	2,18	2,03	2,79	1,72	1,50	2,18	2,05
240°	3,50	3,15	2,98	3,25	3,22	3,38	3,04	2,88	3,09	3,10	3,41	3,07	2,90	3,15	3,13
246°	3,62	3,27	3,08	3,30	3,32	3,45	3,06	2,90	3,14	3,14	3,49	3,09	2,91	3,17	3,16
253°	3,64	3,33	3,13	3,26	3,34	3,42	3,04	2,83	3,06	3,09	3,43	3,04	2,79	3,04	3,07
260°	3,23	2,96	2,75	2,79	2,93	2,86	2,49	2,24	2,45	2,51	2,84	2,47	2,18	2,43	2,48
265°	3,22	2,92	2,63	2,68	2,86	2,55	2,32	2,04	2,03	2,24	2,49	2,21	1,84	1,92	2,11
270°	3,29	2,92	2,55	2,71	2,87	1,71	1,62	1,21	1,15	1,42	1,60	1,49	1,10	1,07	1,32
275°	3,34	2,88	2,46	2,76	2,86	1,62	1,20	0,93	1,41	1,29	1,66	1,25	0,93	1,43	1,32
280°	3,52	2,93	2,39	2,84	2,92	2,41	1,86	1,50	2,09	1,96	2,51	2,03	1,54	2,08	2,04
285°	3,36	2,74	2,09	2,64	2,71	2,86	2,34	1,83	2,34	2,34	2,59	2,26	1,84	2,12	2,20
293°	3,23	2,54	1,88	2,55	2,55	2,53	2,10	1,58	1,97	2,04	2,29	2,01	1,57	1,79	1,92
300°	3,30	2,60	1,86	2,47	2,56	2,05	1,39	1,01	1,59	1,51	1,78	1,23	1,02	1,43	1,36
310°	3,12	2,46	1,73	2,24	2,39	2,76	2,11	1,50	2,16	2,13	2,60	1,90	1,58	2,10	2,04
320°	2,25	1,78	1,34	1,27	1,66	1,55	1,32	0,82	0,85	1,14	1,60	1,33	0,91	0,95	1,20
330°	1,09	1,00	0,70	0,68	0,87	0,83	0,53	0,47	0,80	0,66	0,86	0,64	0,54	0,82	0,71
Gemiddeld	2,69	2,06	1,24	1,95	1,98	2,48	1,88	1,08	1,80	1,81	2,46	1,87	1,10	1,81	1,81

Windrichting	Variant 3					Variant 4					Variant 5				
	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld
0°	2,57	2,25	2,03	2,22	2,27	2,67	2,32	2,02	2,31	2,33	2,64	2,31	1,99	2,27	2,30
30°	2,98	2,45	0,47	2,44	2,09	2,96	2,43	0,50	2,55	2,11	3,06	2,52	0,46	2,47	2,13
60°	2,55	2,42	0,43	1,63	1,76	2,58	2,42	0,46	1,69	1,79	2,60	2,43	0,47	1,71	1,80
90°	2,04	0,81	0,35	1,22	1,10	1,94	0,69	0,34	1,14	1,03	1,98	0,69	0,35	1,16	1,04
120°	1,93	1,11	0,29	1,03	1,09	1,91	1,02	0,28	1,02	1,06	1,92	1,04	0,29	1,05	1,07
150°	2,35	1,44	0,46	1,30	1,39	2,23	1,37	0,43	1,19	1,31	2,26	1,39	0,45	1,24	1,34
180°	3,30	2,65	1,24	2,03	2,31	3,29	2,67	0,99	2,00	2,24	3,27	2,62	1,08	1,97	2,24
210°	2,87	1,65	1,28	2,23	2,01	2,81	1,72	1,38	2,24	2,04	2,87	1,69	1,44	2,27	2,07
240°	3,34	3,05	2,83	3,04	3,06	3,42	3,10	2,89	3,17	3,14	3,46	3,12	2,93	3,19	3,18
246°	3,48	3,11	2,92	3,15	3,16	3,46	3,07	2,88	3,15	3,14	3,48	3,09	2,91	3,18	3,16
253°	3,47	3,14	2,93	3,10	3,16	3,43	3,06	2,79	3,06	3,08	3,47	3,07	2,85	3,11	3,12
260°	3,00	2,71	2,54	2,64	2,72	2,86	2,48	2,14	2,43	2,48	2,99	2,59	2,30	2,58	2,61
265°	2,94	2,69	2,49	2,52	2,66	2,49	2,21	1,78	1,91	2,10	2,69	2,39	2,01	2,10	2,30
270°	2,81	2,53	2,27	2,36	2,48	1,68	1,57	1,13	1,12	1,37	1,88	1,74	1,32	1,32	1,56
275°	2,86	2,48	2,16	2,43	2,48	1,54	1,20	0,81	1,33	1,22	1,79	1,41	1,04	1,53	1,44
280°	3,13	2,65	2,27	2,64	2,67	2,44	1,96	1,39	2,03	1,95	2,69	2,19	1,66	2,33	2,22
285°	3,32	2,70	2,23	2,77	2,75	2,59	2,20	1,70	2,18	2,17	2,86	2,34	1,82	2,44	2,37
293°	3,17	2,56	1,82	2,44	2,50	2,38	2,01	1,52	1,85	1,94	2,64	2,14	1,58	2,04	2,10
300°	2,74	2,11	1,32	2,00	2,04	1,87	1,33	1,05	1,53	1,45	2,08	1,46	1,17	1,70	1,60
310°	2,95	2,30	1,64	2,13	2,26	2,65	1,93	1,52	2,15	2,07	2,76	2,06	1,59	2,25	2,17
320°	2,00	1,69	1,31	1,08	1,52	1,57	1,31	0,83	0,94	1,16	1,69	1,39	0,92	1,04	1,26
330°	1,04	1,02	0,70	0,65	0,85	0,86	0,61	0,47	0,82	0,69	0,92	0,63	0,53	0,79	0,72
Gemiddeld	2,61	2,01	1,20	1,90	1,93	2,47	1,86	1,07	1,83	1,81	2,53	1,90	1,11	1,86	1,85

4.3 Balans windbelasting

De windbelasting op de wieken is idealiter zo gelijk mogelijk in verband met slijtage. De wieken in hoge positie vangen uiteraard meer wind dan in een lagere positie. In figuur f 4.3 en tabel t 4.3 zijn de windsnelheidsverhoudingen weergegeven tussen de wieken in een verticale lijn (meetpunt 1 over meetpunt 3) en in een horizontale lijn (meetpunt 2 over meetpunt 4). Bij een gelijke windbelasting op het wiekenkruis is de windsnelheidsverhouding gelijk aan 1, de onbalans neemt toe wanneer de windsnelheidsverhouding kleiner of groter is dan 1.

Figuur f 4.3 laat zien dat er in de referentie situatie in zowel de horizontale als de verticale richting een onbalans wordt gevonden op het wiekenkruis, zij het dat de maximale onbalans in de verticale richting een factor 4 groter is dan de maximale onbalans in de horizontale richting. Deze onbalans is een gevolg van de reeds in de molenbiotoop aanwezige bebouwing. Hierbij valt met name de onbalans in de verticale richting op bij de windrichtingen van 30° tot 210° ten gevolge van de bebouwing noordelijk, oostelijk en zuidelijk van de molen De Otter. Voor deze



f 4.3 Balans windbelasting: verticale balans [solide lijn, (v)], horizontale balans [stippellijn, (h)]
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

t 4.3 Balans windbelasting, horizontaal en verticaal
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

Windrichting	Horizontaal					
	Referentie situatie	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
0°	1.02	1.04	1.01	1.01	1.00	1.02
30°	1.00	1.02	1.00	1.00	0.95	1.02
60°	1.57	1.43	1.40	1.48	1.43	1.42
90°	0.64	0.62	0.61	0.67	0.61	0.59
120°	1.04	1.07	1.00	1.08	1.00	0.99
150°	1.13	1.19	1.16	1.10	1.15	1.12
180°	1.26	1.35	1.35	1.31	1.33	1.33
210°	0.79	0.77	0.79	0.74	0.77	0.74
240°	0.97	0.98	0.98	1.00	0.98	0.98
246°	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98	0.97
253°	1.02	1.00	1.00	1.02	1.00	0.99
260°	1.06	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01
265°	1.09	1.14	1.15	1.07	1.16	1.14
270°	1.08	1.41	1.39	1.07	1.41	1.31
275°	1.04	0.85	0.87	1.02	0.90	0.92
280°	1.03	0.89	0.98	1.00	0.96	0.94
285°	1.04	1.00	1.07	0.97	1.01	0.96
293°	1.00	1.07	1.12	1.05	1.09	1.05
300°	1.06	0.88	0.86	1.06	0.87	0.86
310°	1.10	0.98	0.90	1.08	0.90	0.92
320°	1.40	1.55	1.40	1.56	1.39	1.33
330°	1.46	0.67	0.77	1.57	0.74	0.80
Gemiddeld	1.08	1.04	1.03	1.09	1.02	1.02
Windrichting	Verticaal					
	Referentie situatie	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5
0°	1.26	1.27	1.26	1.27	1.32	1.33
30°	6.75	6.57	5.94	6.31	5.94	6.59
60°	6.06	5.87	5.63	5.91	5.58	5.56
90°	5.61	5.78	5.57	5.91	5.71	5.72
120°	6.47	6.71	6.74	6.75	6.70	6.68
150°	4.67	5.07	5.18	5.08	5.20	5.03
180°	2.56	3.40	3.44	2.66	3.32	3.02
210°	2.35	2.01	1.86	2.25	2.03	1.99
240°	1.17	1.17	1.18	1.18	1.18	1.18
246°	1.17	1.19	1.20	1.19	1.20	1.20
253°	1.16	1.21	1.23	1.18	1.23	1.22
260°	1.17	1.27	1.30	1.18	1.33	1.30
265°	1.23	1.25	1.36	1.18	1.40	1.34
270°	1.29	1.41	1.46	1.24	1.48	1.43
275°	1.36	1.74	1.77	1.33	1.90	1.72
280°	1.48	1.61	1.63	1.38	1.76	1.62
285°	1.61	1.57	1.41	1.48	1.52	1.57
293°	1.72	1.60	1.46	1.75	1.56	1.68
300°	1.78	2.04	1.74	2.08	1.78	1.77
310°	1.80	1.84	1.65	1.81	1.74	1.73
320°	1.68	1.90	1.75	1.53	1.91	1.83
330°	1.54	1.79	1.60	1.49	1.83	1.75
Gemiddeld	3.46	3.58	3.46	3.49	3.51	3.51

hele windsector geldt dat de windsnelheid op het bovenste gedeelte van het wiekenkruis minstens twee keer zo groot is dan de windsnelheid op het onderste gedeelte van het wiekenkruis. Een maximum wordt gevonden bij de windrichting van 30° waar de windsnelheid boven een factor 6,8 groter is dan de windsnelheid onder. De maximale windsnelheidsverhouding in de horizontale richting is gelijk aan 1,6 bij de windrichting van 60° als gevolg van de huidige bebouwing.

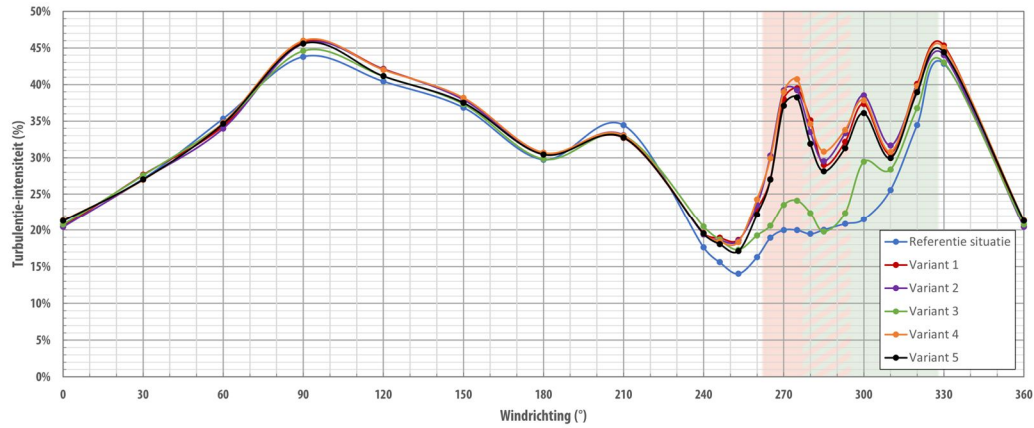
Op basis van tabel t 4.3 en figuur f 4.3 wordt er vastgesteld dat realisatie van het plan Marktkwartier West niet resulteert in grote veranderingen van de windsnelheidsbalans op het wiekenkruis van molen De Otter. Gemiddeld genomen wordt er een lichte verbetering van de balans op het wiekenkruis gevonden in horizontale richting met circa 4%. De verticale onbalans neemt gemiddeld toe met circa 1%.

4.4 Turbulentie-intensiteit

De turbulentie-intensiteit is specifiek vastgesteld voor vlaglengten⁴ van globaal 20 tot 200 meter. Doordat de turbulentie-intensiteit alleen betrekking heeft op een deel van het totale frequentiespectrum zijn de absolute waarden relatief kleiner dan voor turbulenties voor alle vlaglengten. In tabel t 4.4 is voor alle onderzochte windrichtingen en meetposities de turbulentie-intensiteit weergegeven. In figuur f 4.4 is de turbulentie-intensiteit gemiddeld over de 4 meetposities van de zes geteste varianten weergegeven.

De mate waarin de verandering van de turbulentie-intensiteit zich verhoudt tot de verandering van de windsnelheidscoëfficiënt is bijna omgekeerd evenredig, dat wil zeggen dat waar de windsnelheid afneemt een toename van de turbulentie te zien is. Een forse toename van de turbulentie-intensiteit wordt dan ook gevonden bij realisatie van Marktkwartier West (UP3 en UP4) voor windrichtingen van 240° tot 320° t.o.v. de referentie situatie. De grootste toename wordt gevonden bij windrichting 275° waar een turbulentie-intensiteit van 41% wordt vastgesteld voor variant 4 ten opzichte van $I_{\text{turb}} = 20\%$ in de referentie situatie. Over alle windrichtingen verandert de turbulentie-intensiteit op molen De Otter gemiddeld van 31% (referentie situatie) in 33% (variant 1, variant 2, variant 4 en variant 5). Het enkel realiseren van UP3 (variant 3) resulteert in een toename van de turbulentie-intensiteit voor een aantal westelijke windrichtingen. De gemiddelde turbulentie-intensiteit over alle windrichtingen blijft voor deze variant onveranderd t.o.v. de referentie situatie.

⁴ Karakteristieke lengte van een wervel van de wind



f 4.4 Turbulentie-intensiteit bij vlaaglengthen van 20 tot 200 m; gemiddelde over de 4 meetposities
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

t 4.4 Turbulentie-intensiteit bij vlaaglengthen 20 - 200 m, per meetpositie
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

Windrichting	Referentie situatie					Variant 1					Variant 2				
	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld
0°	19%	24%	19%	23%	21%	18%	23%	18%	23%	20%	18%	24%	18%	22%	20%
30°	13%	21%	51%	24%	27%	13%	21%	51%	26%	28%	13%	21%	49%	24%	27%
60°	23%	26%	56%	37%	35%	22%	25%	55%	36%	34%	21%	25%	54%	35%	34%
90°	35%	46%	52%	41%	44%	36%	49%	55%	43%	46%	36%	49%	54%	43%	46%
120°	28%	40%	53%	41%	40%	32%	40%	55%	42%	42%	31%	41%	55%	41%	42%
150°	23%	38%	48%	39%	37%	24%	38%	50%	40%	38%	24%	38%	51%	39%	38%
180°	16%	27%	40%	36%	30%	15%	26%	45%	37%	31%	15%	26%	45%	36%	31%
210°	26%	38%	39%	35%	34%	26%	38%	36%	31%	33%	26%	38%	36%	32%	33%
240°	18%	19%	15%	18%	18%	20%	21%	16%	21%	20%	20%	21%	16%	20%	19%
246°	15%	17%	13%	17%	16%	19%	21%	16%	20%	19%	18%	21%	16%	20%	19%
253°	13%	15%	12%	16%	14%	18%	21%	16%	20%	19%	17%	21%	17%	20%	19%
260°	15%	16%	14%	20%	16%	20%	25%	21%	25%	23%	21%	26%	22%	25%	23%
265°	16%	18%	17%	24%	19%	25%	27%	24%	32%	27%	26%	30%	30%	35%	30%
270°	17%	20%	18%	24%	20%	36%	37%	38%	42%	38%	37%	37%	40%	43%	39%
275°	17%	21%	19%	23%	20%	38%	40%	41%	39%	39%	37%	40%	42%	38%	39%
280°	15%	21%	19%	23%	19%	32%	36%	36%	35%	35%	29%	35%	36%	35%	34%
285°	14%	21%	21%	24%	20%	23%	29%	33%	32%	29%	25%	29%	29%	34%	30%
293°	13%	23%	23%	24%	21%	26%	34%	35%	35%	32%	30%	33%	35%	36%	33%
300°	12%	22%	26%	26%	21%	33%	39%	41%	37%	37%	36%	40%	40%	38%	39%
310°	16%	26%	30%	31%	26%	21%	34%	36%	31%	31%	23%	36%	35%	33%	32%
320°	28%	36%	36%	39%	34%	37%	39%	41%	43%	40%	36%	39%	40%	42%	39%
330°	41%	41%	44%	45%	43%	42%	47%	49%	43%	45%	42%	46%	46%	42%	44%
Gemiddeld	22%	30%	38%	32%	31%	25%	33%	41%	34%	33%	25%	33%	41%	34%	33%

Windrichting	Variant 3					Variant 4					Variant 5				
	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld	Meetpunt 1	Meetpunt 2	Meetpunt 3	Meetpunt 4	Gemiddeld
0°	18%	24%	19%	22%	21%	20%	27%	13%	26%	21%	19%	27%	13%	26%	21%
30°	13%	21%	50%	25%	28%	13%	21%	49%	25%	27%	13%	20%	51%	25%	27%
60°	22%	25%	56%	36%	35%	21%	25%	58%	36%	35%	21%	25%	57%	36%	35%
90°	36%	46%	54%	42%	45%	36%	48%	57%	43%	46%	36%	48%	56%	43%	46%
120°	29%	40%	55%	41%	41%	29%	40%	58%	41%	42%	29%	40%	55%	41%	41%
150°	23%	38%	50%	39%	37%	23%	38%	53%	39%	38%	23%	38%	51%	39%	38%
180°	16%	26%	41%	37%	30%	16%	26%	45%	36%	31%	15%	26%	44%	37%	30%
210°	25%	38%	38%	31%	33%	26%	38%	37%	31%	33%	26%	38%	37%	31%	33%
240°	21%	21%	17%	22%	20%	20%	21%	17%	20%	20%	20%	21%	17%	20%	20%
246°	19%	20%	16%	20%	19%	19%	21%	14%	20%	18%	18%	21%	14%	19%	18%
253°	16%	19%	15%	19%	17%	17%	21%	15%	20%	18%	16%	20%	14%	19%	17%
260°	18%	20%	17%	22%	19%	21%	27%	23%	26%	24%	19%	25%	21%	24%	22%
265°	19%	21%	18%	25%	21%	26%	29%	31%	35%	30%	22%	27%	27%	31%	27%
270°	22%	24%	21%	28%	24%	36%	37%	40%	43%	39%	35%	36%	38%	40%	37%
275°	22%	25%	22%	27%	24%	38%	40%	45%	40%	41%	37%	38%	40%	38%	38%
280°	18%	24%	20%	26%	22%	30%	35%	38%	36%	35%	26%	33%	35%	33%	32%
285°	14%	22%	20%	23%	20%	26%	32%	31%	34%	31%	22%	30%	30%	31%	28%
293°	14%	24%	26%	26%	22%	29%	35%	35%	36%	34%	24%	32%	35%	35%	31%
300°	19%	31%	35%	33%	29%	35%	40%	39%	37%	38%	32%	38%	38%	36%	36%
310°	18%	29%	34%	33%	28%	22%	35%	36%	31%	31%	20%	35%	36%	29%	30%
320°	34%	36%	36%	41%	37%	36%	39%	42%	43%	40%	36%	38%	40%	42%	39%
330°	41%	41%	44%	45%	43%	42%	47%	49%	42%	45%	42%	47%	46%	43%	44%
Gemiddeld	23%	31%	39%	33%	31%	25%	33%	42%	34%	33%	24%	33%	41%	34%	33%

4.5 Theoretisch bruikbare wind

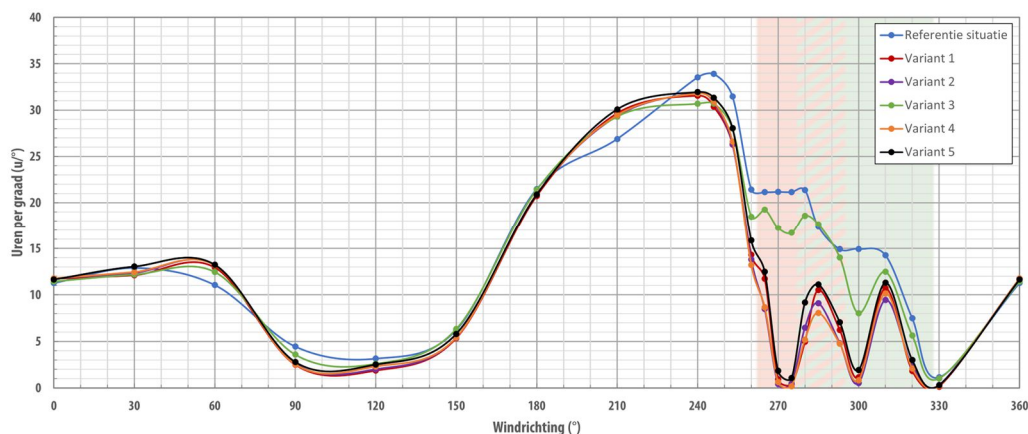
Op basis van de vastgestelde windsnelheden op ashoogte, de wijzigingen van de turbulentie-intensiteit en de windstatistiek⁵, is de theoretisch bruikbare wind vastgesteld in het aantal uren per jaar. De theoretisch bruikbare wind is bepaald voor windsnelheden van 1,6 m/s tot 13,8 m/s waarbij de molen kan draaien, en voor windsnelheden van 3,4 m/s tot 13,8 m/s waarbij de molen kan zagen.

Er wordt opgemerkt dat er gebruik wordt gemaakt van statistische meteogegevens (verkregen over een periode van 40 jaar), zonder uitsplitsing tussen dag en nacht of verschillende seizoenen. Dit impliceert dat het theoretisch aantal bruikbare uren voor de molen kan afwijken van de werkelijk bruikbare wind. De aard van de windstatistiek impliceert daarmee ook dat er voor de bepaling van de theoretisch bruikbare wind geen rekening gehouden kan worden met de beschikbaarheid van de molenaar.

4.5.1 Molenfunctie draaien

Voor de molenfunctie draaien is de theoretisch bruikbare wind bepaald voor het windsnelheidsbereik van 1,6 m/s tot 13,8 m/s. De theoretisch bruikbare wind wordt in tabel t 4.5 zowel in uren per sector weergegeven als in uren per graad ($u/^\circ$). Voor een vergelijking van de theoretisch bruikbare wind tussen sectoren kan gekeken worden naar het aantal uren per graad. In figuur f 4.5 is de theoretisch bruikbare wind per graad weergegeven.

Voor de referentie situatie volgt dat de theoretisch bruikbare wind per jaar, een sommatie van het aantal uren per sector, gelijk is aan 5110 uur (58,3% van het totaal aantal uren per jaar). Uit figuur f 4.5 en tabel t 4.5 valt op te maken dat een groot deel van dit aantal uren een resultaat is van zuidzuidwesten- tot westenwind (windrichting 210° t/m 270°).



f 4.5 Theoretisch bruikbare wind molenfunctie draaien genormeerd naar uren per graad
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

⁵ NPR 6097 - Toepassing van de statistiek van de uurgemiddelde windsnelheden voor Nederland

t 4.5 Theoretisch bruikbare wind molenfunctie draaien per sector en per graad
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

		Referentie situatie		Variant 1				Variant 2			
Windrichting	Sectorgrootte	Uren cumulatief (u)	Uren per graad (u/°)	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil
0°	30°	338	11.3	352	14	11.7	0.5	352	14	11.7	0.5
30°	30°	387	12.9	363	-24	12.1	-0.8	370	-16	12.3	-0.5
60°	30°	332	11.1	388	56	12.9	1.9	396	65	13.2	2.2
90°	30°	134	4.5	75	-59	2.5	-2.0	78	-56	2.6	-1.9
120°	30°	94	3.1	56	-39	1.9	-1.3	60	-34	2.0	-1.1
150°	30°	187	6.2	160	-27	5.3	-0.9	162	-25	5.4	-0.8
180°	30°	644	21.5	622	-22	20.7	-0.7	628	-16	20.9	-0.5
210°	30°	807	26.9	889	83	29.6	2.8	881	74	29.4	2.5
240°	18°	604	33.5	568	-36	31.5	-2.0	573	-30	31.8	-1.7
246°	6,5°	220	33.9	197	-23	30.4	-3.5	200	-20	30.8	-3.1
253°	7°	220	31.5	184	-36	26.3	-5.2	184	-36	26.3	-5.1
260°	6°	128	21.4	86	-43	14.3	-7.1	83	-46	13.8	-7.6
265°	5°	106	21.1	59	-47	11.7	-9.4	42	-63	8.5	-12.7
270°	5°	106	21.2	5	-101	0.9	-20.2	2	-104	0.4	-20.7
275°	5°	106	21.2	2	-104	0.4	-20.8	2	-103	0.5	-20.7
280°	5°	107	21.4	25	-82	5.0	-16.4	32	-74	6.5	-14.9
285°	6,5°	113	17.4	68	-45	10.5	-6.9	59	-54	9.1	-8.3
293°	7,5°	112	14.9	47	-65	6.2	-8.7	36	-76	4.8	-10.1
300°	8,5°	127	14.9	10	-117	1.1	-13.8	4	-122	0.5	-14.4
310°	10°	143	14.3	107	-36	10.7	-3.6	94	-48	9.4	-4.8
320°	10°	75	7.5	18	-57	1.8	-5.7	24	-51	2.4	-5.1
330°	20°	23	1.1	3	-20	0.1	-1.0	6	-17	0.3	-0.8
Totaal, procentueel		5110		4282	-16.2%	(afname t.o.v. referentie situatie)		4272	-16.4%	(afname t.o.v. referentie situatie)	

Variant 3					Variant 4				Variant 5				
Windrichting	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil	
0°	343	5	11.4	0.2	353	14	11.8	0.5	349	11	11.6	0.4	
30°	365	-21	12.2	-0.7	373	-13	12.4	-0.4	391	5	13.0	0.2	
60°	374	42	12.5	1.4	395	64	13.2	2.1	397	65	13.2	2.2	
90°	108	-26	3.6	-0.9	76	-58	2.5	-1.9	84	-50	2.8	-1.7	
120°	78	-17	2.6	-0.6	69	-25	2.3	-0.8	75	-19	2.5	-0.6	
150°	190	3	6.3	0.1	162	-25	5.4	-0.8	174	-13	5.8	-0.4	
180°	642	-2	21.4	-0.1	627	-17	20.9	-0.6	626	-18	20.9	-0.6	
210°	879	72	29.3	2.4	883	77	29.4	2.6	902	96	30.1	3.2	
240°	552	-51	30.7	-2.8	572	-31	31.8	-1.7	575	-29	31.9	-1.6	
246°	200	-21	30.7	-3.2	201	-20	30.9	-3.0	204	-17	31.3	-2.6	
253°	196	-24	28.0	-3.5	186	-34	26.6	-4.9	196	-24	28.1	-3.4	
260°	111	-18	18.5	-2.9	79	-49	13.2	-8.2	95	-33	15.9	-5.6	
265°	96	-10	19.2	-1.9	43	-62	8.7	-12.5	62	-43	12.5	-8.7	
270°	86	-20	17.2	-3.9	3	-103	0.6	-20.5	9	-97	1.8	-19.3	
275°	83	-22	16.7	-4.5	1	-105	0.2	-21.0	5	-100	1.1	-20.1	
280°	93	-14	18.6	-2.8	26	-81	5.2	-16.2	46	-61	9.2	-12.2	
285°	115	2	17.6	0.3	52	-60	8.1	-9.3	72	-41	11.1	-6.2	
293°	105	-7	14.0	-0.9	36	-76	4.7	-10.2	53	-59	7.1	-7.9	
300°	68	-59	8.0	-6.9	7	-120	0.8	-14.1	16	-110	1.9	-13.0	
310°	125	-18	12.5	-1.8	101	-41	10.1	-4.1	113	-30	11.3	-3.0	
320°	56	-18	5.6	-1.8	21	-54	2.1	-5.4	30	-45	3.0	-4.5	
330°	20	-2	1.0	-0.1	4	-19	0.2	-0.9	6	-17	0.3	-0.8	
Totaal		4884	-4.4%	(afname t.o.v. referentie situatie)		4272	-16.4%	(afname t.o.v. referentie situatie)		4483	-12.3%	(afname t.o.v. referentie situatie)	

Realisatie van het plan Marktkwartier West zal, afhankelijk van de windrichting, leiden tot een verhoging of verlaging van de theoretisch bruikbare wind per graad. Zo wordt voor wind uit het zuidzuidwesten (210°) een toename van de theoretisch bruikbare wind gevonden. Overwegend neemt de theoretisch bruikbare wind echter af voor wind uit het westzuidwesten (240°) t/m wind uit het noordwesten (320°), zie figuur f 4.5.

Voor variant 1 wordt een aantal van 4282 uren per jaar vastgesteld van de theoretisch bruikbare wind, ofwel, 48,8% van het totaal aantal uren per jaar. Voor variant 2 wordt een theoretisch bruikbare wind bepaald van 4272 uren per jaar, 48,7% van het totaal aantal uren per jaar. De procentuele afname van de theoretisch bruikbare wind voor variant 1 en 2 ten opzichte van de referentie situatie is daarmee gelijk aan respectievelijk 16,2% en 16,4%.

Het verlagen van het gebouw op de zuidoostelijke hoek van UP4 met 2 bouwlagen leidt niet tot een toe- of afname van de theoretisch bruikbare wind (variant 4 t.o.v. variant 2). Het verlagen van hetzelfde gebouw tot de basishoogte i.c.m. de verlaging van S1 op de zuidoostelijke hoek van UP3 resulteert in een toename van 211 uur per jaar (variant 5 t.o.v. variant 2).

Voor variant 3 wordt een aantal van 4884 uren per jaar vastgesteld van de theoretisch bruikbare wind, 55,7% van het totaal aantal uren per jaar. Deze toename van het windaanbod ten opzichte van variant 1 en 2 is toe te schrijven aan de gebouwvolumes van UP4 die ontbreken in deze variant.

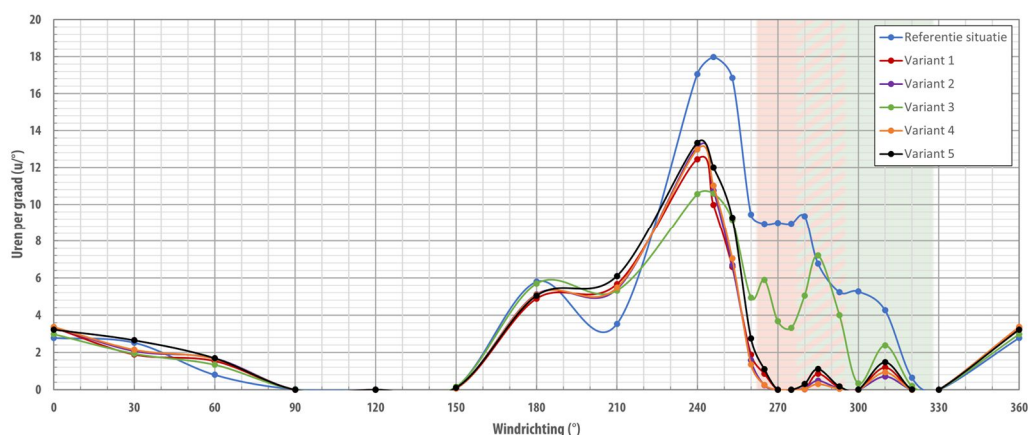
Het effect van enkel de verlaging van gebouw S1 tot de basishoogte is niet onderzocht in het windtunnelonderzoek. Op basis van de resultaten tussen variant 4 en variant 5 wordt er ingeschat dat enkel deze verlaging mogelijk leidt tot een toename van de theoretisch bruikbare wind van grofweg 45 tot 75 uur per jaar. Voor het daadwerkelijk kwantificeren van dit effect dient aanvullend onderzoek te worden uitgevoerd.

4.5.2 Molenfunctie zagen

Voor de molenfunctie zagen is de theoretisch bruikbare wind bepaald voor het windsnelheidsbereik van 3,4 m/s tot 13,8 m/s. De theoretisch bruikbare wind wordt in tabel t 4.6 zowel in uren per sector weergegeven als in uren per graad (u/°). In figuur f 4.6 is de theoretisch bruikbare wind per graad weergegeven.

Voor de referentie situatie volgt dat de theoretisch bruikbare wind voor de functie zagen gelijk is aan 1424 uur per jaar (16,2% van het totaal aantal uren per jaar). Net zoals voor de molenfunctie draaien, valt uit figuur f 4.6 en tabel t 4.6 op te maken dat een groot deel van dit aantal uren een resultaat is van zuidzuidwesten- tot westenwind (windrichting 210° t/m 270°). Op basis van figuur f 4.5 en f 4.6 wordt geconcludeerd dat het aandeel van zuidzuidwesten- tot westenwind in vergelijking tot de andere windrichtingen voor de molenfunctie zagen relatief nog groter is dan voor de molenfunctie draaien.

Realisatie van het plan Marktkwartier West zal, afhankelijk van de windrichting, leiden tot een verhoging of verlaging van de theoretisch bruikbare wind per graad. Zo wordt voor wind uit het zuidzuidwesten (210°) een toename van de theoretisch bruikbare wind gevonden. Overwegend neemt de theoretisch bruikbare wind echter af voor wind uit het westzuidwesten (240°) t/m wind uit het noordwesten (320°), zie figuur f 4.6.



f 4.6 Theoretisch bruikbare wind molenfunctie zagen genormeerd naar uren per graad
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

t 4.6 Theoretisch bruikbare wind molenfunctie zagen per sector en per graad
oranje achtergrond: directe afscherming door UP3, groene achtergrond: directe afscherming door UP4

		Referentie situatie		Variant 1				Variant 2			
Windrichting	Sectorgrootte	Uren cumulatief (u)	Uren per graad (u/°)	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil
0°	30°	83	2,8	100	17	3,3	0,6	101	17	3,4	0,6
30°	30°	76	2,5	57	-19	1,9	-0,6	62	-14	2,1	-0,5
60°	30°	24	0,8	46	22	1,5	0,7	50	26	1,7	0,9
90°	30°	1	0,0	0	-1	0,0	0,0	0	-1	0,0	0,0
120°	30°	0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
150°	30°	4	0,1	2	-2	0,1	-0,1	2	-2	0,1	-0,1
180°	30°	174	5,8	147	-27	4,9	-0,9	153	-20	5,1	-0,7
210°	30°	106	3,5	170	64	5,7	2,1	162	56	5,4	1,9
240°	18°	307	17,1	224	-83	12,4	-4,6	236	-71	13,1	-4,0
246°	6,5°	117	18,0	65	-52	10,0	-8,0	70	-47	10,8	-7,2
253°	7°	118	16,8	46	-72	6,6	-10,3	47	-71	6,7	-10,2
260°	6°	57	9,4	11	-45	1,9	-7,6	9	-47	1,6	-7,9
265°	5°	45	8,9	4	-40	0,9	-8,1	1	-44	0,2	-8,7
270°	5°	45	9,0	0	-45	0,0	-9,0	0	-45	0,0	-9,0
275°	5°	45	9,0	0	-45	0,0	-9,0	0	-45	0,0	-9,0
280°	5°	47	9,4	0	-47	0,0	-9,3	0	-46	0,1	-9,3
285°	6,5°	44	6,8	6	-38	0,9	-5,9	3	-41	0,5	-6,3
293°	7,5°	39	5,2	1	-39	0,1	-5,1	0	-39	0,0	-5,2
300°	8,5°	45	5,3	0	-45	0,0	-5,3	0	-45	0,0	-5,3
310°	10°	43	4,3	12	-31	1,2	-3,1	7	-36	0,7	-3,6
320°	10°	6	0,6	0	-6	0,0	-0,6	0	-6	0,0	-0,6
330°	20°	0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
Totaal, procentueel		1424		890	-37,5%	(afname t.o.v. referentie situatie)		904	-36,5%	(afname t.o.v. referentie situatie)	

Variant 3					Variant 4				Variant 5			
Windrichting	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil	Uren cumulatief (u)	Verschil	Uren per graad (u/°)	Verschil
0°	89	6	3,0	0,2	101	18	3,4	0,6	97	13	3,2	0,4
30°	58	-18	1,9	-0,6	64	-11	2,1	-0,4	80	4	2,7	0,1
60°	40	16	1,3	0,5	50	26	1,7	0,9	51	27	1,7	0,9
90°	0	0	0,0	0,0	0	-1	0,0	0,0	0	-1	0,0	0,0
120°	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
150°	5	0	0,2	0,0	2	-2	0,1	-0,1	3	-1	0,1	0,0
180°	171	-3	5,7	-0,1	153	-21	5,1	-0,7	151	-22	5,0	-0,7
210°	159	54	5,3	1,8	164	58	5,5	1,9	183	77	6,1	2,6
240°	190	-117	10,6	-6,5	234	-73	13,0	-4,1	240	-67	13,3	-3,7
246°	69	-48	10,6	-7,4	72	-45	11,0	-7,0	78	-39	12,0	-6,0
253°	64	-54	9,2	-7,7	49	-69	7,0	-9,8	65	-53	9,3	-7,6
260°	30	-27	4,9	-4,5	8	-49	1,4	-8,1	17	-40	2,8	-6,7
265°	29	-15	5,9	-3,1	1	-43	0,3	-8,7	5	-39	1,1	-7,8
270°	18	-27	3,7	-5,3	0	-45	0,0	-9,0	0	-45	0,0	-9,0
275°	17	-28	3,3	-5,6	0	-45	0,0	-9,0	0	-45	0,0	-9,0
280°	25	-22	5,0	-4,3	0	-47	0,0	-9,3	2	-45	0,3	-9,0
285°	47	3	7,2	0,4	2	-42	0,3	-6,5	7	-37	1,1	-5,7
293°	30	-9	4,0	-1,2	0	-39	0,0	-5,2	1	-38	0,2	-5,1
300°	3	-42	0,3	-4,9	0	-45	0,0	-5,3	0	-45	0,0	-5,3
310°	24	-19	2,4	-1,9	9	-33	0,9	-3,3	15	-28	1,5	-2,8
320°	2	-4	0,2	-0,4	0	-6	0,0	-0,6	0	-6	0,0	-0,6
330°	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
Totaal		1070	-24,9%	(afname t.o.v. referentie situatie)	909	-36,2%	(afname t.o.v. referentie situatie)		995	-30,2%	(afname t.o.v. referentie situatie)	

Voor variant 1 wordt een aantal van 890 uren per jaar vastgesteld van de theoretisch bruikbare wind, ofwel, 10,2% van het totaal aantal uren per jaar. Voor variant 2 wordt een theoretisch bruikbare wind bepaald van 904 uren per jaar, 10,3% van het totaal aantal uren per jaar. De procentuele afname van de theoretisch bruikbare wind voor variant 1 en 2 ten opzichte van de referentie situatie is daarmee gelijk aan respectievelijk 37,5% en 36,5%.

Het verlagen van het gebouw op de zuidoostelijke hoek van UP4 met 2 bouwlagen resulteert in een kleine toename van de theoretisch bruikbare wind met 5 uur per jaar (variant 4 t.o.v. variant 2). Het verlagen van hetzelfde gebouw tot de basishoogte i.c.m. de verlaging van S1 op de zuidoostelijke hoek van UP3 resulteert in een toename van 91 uur per jaar (variant 5 t.o.v. variant 2).

Voor variant 3 wordt een aantal van 1070 uren per jaar vastgesteld van de theoretisch bruikbare wind, 12,2% van het totaal aantal uren per jaar. Deze toename van het windaanbod ten opzichte van variant 1 en 2 is toe te schrijven aan de gebouwvolumes van UP4 die ontbreken in deze variant.

Het effect van enkel de verlaging van gebouw S1 tot de basishoogte is niet onderzocht in het windtunnelonderzoek. Op basis van de resultaten tussen variant 4 en variant 5 wordt er ingeschat dat enkel deze verlaging mogelijk leidt tot een toename van de theoretisch bruikbare wind voor de molenfunctie zagen van grofweg 15 tot 30 uur per jaar. Voor het daadwerkelijk kwantificeren van dit effect dient aanvullend onderzoek te worden uitgevoerd.

4.5.3 Beoordeling aanvaardbaarheid windsituatie

In tabel t 4.7 en t 4.8 is een overzicht gegeven met daarin de theoretisch bruikbare wind per gemeten bebouwingssituatie voor respectievelijk de molenfunctie draaien en zagen. De theoretisch bruikbare wind is gegeven in het aantal uren per jaar "Uren cumulatief (u)" en het corresponderende percentage t.o.v. van het totaal aantal uren per jaar: 8766 uur (inclusief schrikkeljaar). Tevens is het procentuele verschil van de theoretisch bruikbare wind voor variant 1 t/m 5 ten opzichte van de referentie situatie weergegeven.

t 4.7 Theoretisch bruikbare wind molenfunctie draaien per bebouwingssituatie

Snelheidsbereik: 1,6 m/s tot 13,8 m/s				
	Uren cumulatief (u)	Vershil t.o.v. referentie (%)	Uren per jaar (%)	Uren per maand (u)
Referentie situatie	5110		58,3%	426
Variant 1	4282	-16,2%	48,8%	357
Variant 2	4272	-16,4%	48,7%	356
Variant 3	4884	-4,4%	55,7%	407
Variant 4	4272	-16,4%	48,7%	356
Variant 5	4483	-12,3%	51,1%	374

t 4.8 Theoretisch bruikbare wind molenfunctie zagen per bebouwingssituatie

Snelheidsbereik: 3,4 m/s tot 13,8 m/s				
	Uren cumulatief (u)	Vershil t.o.v. referentie (%)	Uren per jaar (%)	Uren per maand (u)
Referentie situatie	1424		16,2%	119
Variant 1	890	-37,5%	10,2%	74
Variant 2	904	-36,5%	10,3%	75
Variant 3	1070	-24,9%	12,2%	89
Variant 4	909	-36,2%	10,4%	76
Variant 5	995	-30,2%	11,3%	83

Op basis van het totaal aantal uren per jaar is de theoretisch bruikbare wind per maand benaderd: *totaal aantal uren per jaar / 12 maanden per jaar*. De resultaten hiervan zijn weergegeven in de laatste kolom van tabel t 4.7 en t 4.8.

Zoals gesteld in paragraaf 2.1 is in de jurisprudentie van de Raad van State ([ECLI:NL:RVS:2011:BU3118](#)) aangaande molen de Otter vermeld dat "een minimum van enkele tientallen draaiuren per maand noodzakelijk is om de molen te kunnen behouden". Het bevoegd gezag kan op basis van de gegevens uit de laatste kolom van tabel t 4.7 (molenfunctie draaien) beoordelen of, bij realisatie van het plan Marktkwartier West, voldaan wordt aan dit advies.



Verder wordt er opgemerkt dat bovenstaande resultaten tevens beschouwd mogen worden voor de afwijkingsbevoegdheid in bouwhoogte conform het uitwerkingsplan. Dit als gevolg van het niet significante verschil van het totaal aantal uur per jaar tussen variant 1, variant 2 en variant 4 t.o.v. de referentie situatie. Op basis hiervan wordt er op kwalitatieve wijze vastgesteld dat de in het bestemmingsplan en de uitwerkingsplannen opgenomen afwijkingsbevoegdheid in bouwhoogte (t.o.v. de basishoogte), niet zal resulteren in een significant verschil van de theoretisch bruikbare wind in vergelijking tot de onderzochte nieuwbouw varianten.

5 Conclusie

In navolging van eerder indicatief onderzoek door Peutz (ref. O16238-2-RA-005 d.d. 4 februari 2022) en CFD-onderzoek door Windsafe (ref. P21821462e106 d.d. 1 april 2022 en ref. P32422593e101 d.d. 25 oktober 2022), heeft Peutz in opdracht van Marktkwartier CV windtunnelonderzoek verricht om een nauwkeuriger inzicht te verkrijgen in de effecten van het nieuwbouwplan Marktkwartier West op de windvang van molen De Otter te Amsterdam.

De resultaten van het windtunnelonderzoek met bijbehorende analyse zijn beschreven in dit rapport. De analyse richt zich op het gecombineerde effect van de westelijke en de oostelijke fase van het bouwplan Marktkwartier West op de windvang van De Otter t.o.v. de referentie situatie. De effecten worden beschouwd voor de volgende 5 onderdelen:

- Windsnelheidscoëfficiënt
- Jaargemiddelde windsnelheid
- Balans windbelasting
- Turbulentie-intensiteit
- Theoretisch bruikbare wind

De theoretisch bruikbare wind kan worden gezien als de meest nauwkeurige maat voor de windvang op een Hollandse windmolen. Reden hiervoor is dat de theoretisch bruikbare wind rekening houdt met de (veranderende) snelheid en turbulentie van de wind welke gecombineerd wordt met windstatistiek. Uiteindelijke doel van het onderzoek is dan ook om de theoretisch bruikbare wind voor molen De Otter vast te stellen per bebouwingssituatie.

In totaal zijn zes verschillende bebouwingssituaties onderzocht:

1. De referentie situatie:
feitelijke bebouwing in de molenbiotoop voor aanvang sloop Food Center Amsterdam.
2. Variant 1:
referentie situatie + planonderdelen UP2, UP3 en UP4 volgens beeldkwaliteitsplan.
3. Variant 2:
referentie situatie + planonderdelen UP2 en UP3 volgens beeldkwaliteitsplan + aanpassing oorspronkelijke opzet planonderdeel UP4.
4. Variant 3:
referentie situatie + planonderdelen UP2 en UP3 volgens beeldkwaliteitsplan.
5. Variant 4:
referentie situatie + planonderdelen UP2 en UP3 volgens beeldkwaliteitsplan + aanpassing oorspronkelijke opzet planonderdeel UP4 + plus verlaging zuidoostelijk gebouwwolume UP4 met 2 bouwlagen.
6. Variant 5:
referentie situatie + planonderdelen UP2 en UP3 volgens beeldkwaliteitsplan + aanpassing oorspronkelijke opzet planonderdeel UP4 + verlaging zuidoostelijk gebouwwolume UP4 met 6 bouwlagen tot basishoogte + verlaging S1 (zuidoostelijk gebouwwolume UP3) tot basishoogte.

De door het windtunnelonderzoek vastgestelde theoretisch bruikbare wind voor de molenfunctie draaien is samengevat in onderstaande tabel:

Snelheidsbereik: 1,6 m/s tot 13,8 m/s				
	Uren cumulatief (u)	Vershil t.o.v. referentie (%)	Uren per jaar (%)	Uren per maand (u)
Referentie situatie	5110		58,3%	426
Variant 1	4282	-16,2%	48,8%	357
Variant 2	4272	-16,4%	48,7%	356
Variant 3	4884	-4,4%	55,7%	407
Variant 4	4272	-16,4%	48,7%	356
Variant 5	4483	-12,3%	51,1%	374

Voor de toetsing van het bouwplan op de molenbiotoop kan in eerste instantie gebruik worden gemaakt van de regels zoals vastgelegd in het onherroepelijke bestemmingsplan "Food Center Amsterdam (2e Herstelbesluit)", [NL.IMRO.0363.E1204BPSTD-VG03](#). In het bestemmingsplan staat onder artikel 11.2 Uitwerkregels, lid c vermeld: "het uitwerkingsplan mag niet leiden tot een onaanvaardbare negatieve invloed op de windsituatie bij houtzaagmolen 'De Otter' aan de Gillis van Ledenberchstraat 78A". In de jurisprudentie van de Raad van State ([ECLI:NL:RVS:2011:BU3118](#) d.d. 2 november 2011) aangaande molen de Otter wordt vermeld dat "een minimum van enkele tientallen draaiuren per maand noodzakelijk is om de molen te kunnen behouden".

De theoretisch bruikbare wind, zoals gepresenteerd in dit rapport en in bovenstaande tabel, kan door het bevoegd gezag worden gebruikt om de aanvaardbaarheid van de windsituatie bij molen De Otter te toetsen.

Dit rapport bevat 33 pagina's

Bijlage 1 Situatietekening

PEUTZ



f 5.1 Referentie situatie

Bijlage 1 Situatietekening

PEUTZ



f 5.2 Variant 1: referentie situatie + planonderdeel UP2 (geel omcirkeld), UP3 (oranje omcirkeld) en UP4 (groen omcirkeld) volgens beeldkwaliteitsplan

Bijlage 1 Situatietekening

PEUTZ



f 5.3 Variant 2: referentie situatie + planonderdeel UP2 (geel omcirkeld) en UP3 (oranje omcirkeld) volgens beeldkwaliteitsplan + aanpassing oorspronkelijke opzet planonderdeel UP4 (groen omcirkeld)

Bijlage 1 Situatietekening

PEUTZ



f 5.4 Variant 3: referentie situatie + planonderdeel UP2 (geel omcirkeld) en UP3 (oranje omcirkeld) volgens beeldkwaliteitsplan

Bijlage 1 Situatietekening



f 5.5 Variant 4: referentie situatie + planonderdeel UP2 (geel omcirkeld) en UP3 (oranje omcirkeld) volgens beeldkwaliteitsplan + aanpassing oorspronkelijke opzet planonderdeel UP4 (groen omcirkeld) + verlaging zuidoostelijke hoek UP4 (rood omcirkeld)

Bijlage 1 Situatietekening



f 5.6 Variant 5: referentie situatie + planonderdeel UP2 (geel omcirkeld) en UP3 (oranje omcirkeld) volgens beeldkwaliteitsplan + aanpassing oorspronkelijke opzet planonderdeel UP4 (groen omcirkeld) + verlaging zuidoostelijke hoek UP4 (rood omcirkeld) + verlaging gebouw S1 (zuidoostelijke hoek UP3, paars omcirkeld)