

Windvangonderzoek Boezemmolen No. 6

Analyse van bouwplan varianten

De Boezemmolen No. 6:

Adres: Oost Vlisterdijk 1, 2851 ET Haastrecht

Eigenaar: Stichting Het Zuid-Hollands Landschap

Opdrachtgever: Timpaan B.V.

Opsteller: EAGM B.V. |

Projectnummer: 2026_55

Versienummer: 0.1 (concept)

Versiedatum: 1 mei 2026

Plaats: Montfoort, UT, Nederland

Copyright:

© EAGM B.V., projectnummer: 2026_55

Montfoort, mei 2026

Alle grafieken, data-analyse en visualisaties in dit rapport zijn opgesteld en gegenereerd door EAGM, tenzij anders vermeld.

Disclaimer:

De inhoud van dit rapport is met uiterste zorg samengesteld. De informatie in dit document wordt aangeboden zonder enige garantie. EAGM sluit alle aansprakelijkheid uit voor enigerlei directe of indirecte schade, van welke aard dan ook, die voortvloeit uit of verband houdt met het gebruik van dit document. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd of openbaar gemaakt door middel van drukwerk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder schriftelijke toestemming van EAGM en de opdrachtgever, noch zonder toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding en doel van het onderzoek

In het kader van de voorgenomen ruimtelijke ontwikkeling nabij de molen aan de Oost-Vlisterdijk (Boezemmolen No. 6) is onderzoek uitgevoerd naar de effecten van verschillende planvarianten op de windvang en het functioneren van de molen.

Aanleiding voor dit onderzoek is de wens om, binnen de geldende kaders van de molenbiotoop, inzicht te verkrijgen in de mate waarin de voorgestelde bebouwing invloed heeft op de windcondities rondom de molen. Deze inzichten zijn van belang voor de verdere afweging tussen de verschillende ruimtelijke varianten en het overleg met de provincie Zuid-Holland.

In eerdere fasen zijn meerdere varianten beschouwd. In voorliggend rapport is de analyse toegespitst op de varianten die relevant zijn voor de besluitvorming:

- de huidige situatie;
- variant 1;
- variant 4;
- variant 4a.

Het doel van dit rapport is het onderling vergelijken van deze varianten en het inzichtelijk maken van de verschillen in effect op de windvang van de molen. De nadruk ligt daarbij op de relatieve verschillen tussen de varianten, zodat een goed onderbouwde afweging kan worden gemaakt in het verdere planproces.

Dit rapport bouwt voort op het eerdere windvangonderzoek naar de huidige situatie van Boezemmolen No. 6 en de eerdere analyse van variant 1. In die onderzoeken is de huidige windvang van de molen in beeld gebracht en is vastgesteld dat bebouwing binnen de betreffende sector van de molenbiotoop een nadelig effect kan hebben op de windvang. Voorliggend rapport richt zich daarom niet op een volledige herbeoordeling van de molenbiotoop, maar op een gerichte onderlinge vergelijking van variant 1, variant 4 en variant 4a.

De technische onderbouwing van het onderzoek is gebaseerd op CFD-simulaties van het windveld. In dit rapport zijn de resultaten samengevat en geduid op een wijze die aansluit bij de besluitvorming.

Verdere technische details zijn opgenomen in de bijlagen.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het toetsingskader voor de molenbiotoop en de relatie tussen de formele regels en dit windvangonderzoek. Hoofdstuk 3 gaat kort in op de molen zelf en het windregime op de locatie. In hoofdstuk 4 is de onderzoeksaanpak beschreven.

Hoofdstuk 5 beschrijft de huidige situatie en de onderzochte ontwerpvarianten. De resultaten van de CFD-analyse zijn opgenomen in hoofdstuk 6. Daarbij wordt gekeken naar windsnelheid, turbulentie en de verdeling van de stroming over het wiekenkruis.

Hoofdstuk 7 bevat de conclusie van het onderzoek. In hoofdstuk 8 zijn de resultaten geplaatst in de bredere context van de molenbiotoop en de verdere besluitvorming. De gebruikte bronnen en technische bijlagen zijn opgenomen in hoofdstuk 9.

2. Toetsingskader

2.1 Bescherming van de molenbiotoop

De bescherming van de molenbiotoop is gericht op het waarborgen van een voldoende vrije windvang en het behoud van het functioneren van de molen. Bebouwing, beplanting en andere obstakels in de omgeving kunnen leiden tot afname van windsnelheid en verstoring van het stromingsbeeld, wat direct invloed heeft op het functioneren en de instandhouding van de molen.

Om deze reden zijn in regelgeving en beleid verschillende instrumenten ontwikkeld om de invloed van ruimtelijke ingrepen op de molenbiotoop te beoordelen. Deze instrumenten zijn in de basis vereenvoudigingen van een complex fysisch proces, waarbij de feitelijke stromingscondities afhankelijk zijn van meerdere factoren zoals hoogte, afstand, configuratie van obstakels en de ruwheid van het landschap.

2.2 Regelgeving en rekenregels

Binnen de provincie Zuid-Holland vindt de toetsing van ruimtelijke ontwikkelingen plaats op basis van de in de Omgevingsverordening opgenomen regels voor de molenbiotoop. Daarbij wordt gewerkt met de 1:30-regel binnen bestaand stedelijk gebied en de 1:100-regel daarbuiten. Deze regels leggen een relatie tussen de afstand tot de molen en de maximaal toelaatbare hoogte van obstakels.

De toetsing vindt plaats aan de hand van een geometrische benadering, waarbij wordt beoordeeld in welke mate bebouwing de toegestane hoogte overschrijdt en welk deel van de gradencirkel van de molen hierdoor wordt beïnvloed. Indien een plan niet binnen deze regels past, wordt in het vervolgproces bezien of compensatie mogelijk is of dat een ontheffing noodzakelijk is, waarbij de mate van aantasting mede wordt uitgedrukt in het percentage van de gradencirkel waarin belemmering optreedt.

Naast deze provinciale systematiek bestaat er een meer gedetailleerde benadering zoals ontwikkeld door De Hollandsche Molen (DHM), waarin de relatie tussen obstakels en molen afhankelijk is van aanvullende parameters, zoals een constante (0.2) en de askophoogte van de molen. Deze methode wordt landelijk gebruikt als richtlijn voor het beoordelen van molenbiotopen, maar is niet in alle bestemmingsplannen of verordeningen juridisch verankerd.

2.3 Relatie tot het voorliggende plan

Voor de voorgenomen ontwikkeling geldt dat uit een eerste toetsing blijkt dat delen van de bebouwing niet volledig passen binnen de generieke biotoopregels. Daarmee is sprake van een situatie waarin invloed op de windvang van de molen te verwachten is en een nadere afweging noodzakelijk is, zoals ook voorzien in de provinciale systematiek.

Het voorliggende onderzoek sluit hierop aan door inzicht te geven in de mate waarin de verschillende varianten effect hebben op het windveld rondom de molen. Daarbij wordt uitgegaan van het principe dat overschrijding van de generieke regels leidt tot een zekere mate van beïnvloeding van de windvang, maar dat de omvang en aard van deze beïnvloeding per variant kan verschillen.

De analyse richt zich daarom op het onderling vergelijken van de varianten en het inzichtelijk maken van deze verschillen. Het onderzoek doet geen uitspraken over de aanvaardbaarheid van de effecten en voorziet niet in voorstellen voor mitigerende of compenserende maatregelen. De resultaten zijn bedoeld als feitelijke onderbouwing voor de verdere afweging in het besluitvormingsproces.

3. De molen en het functioneren

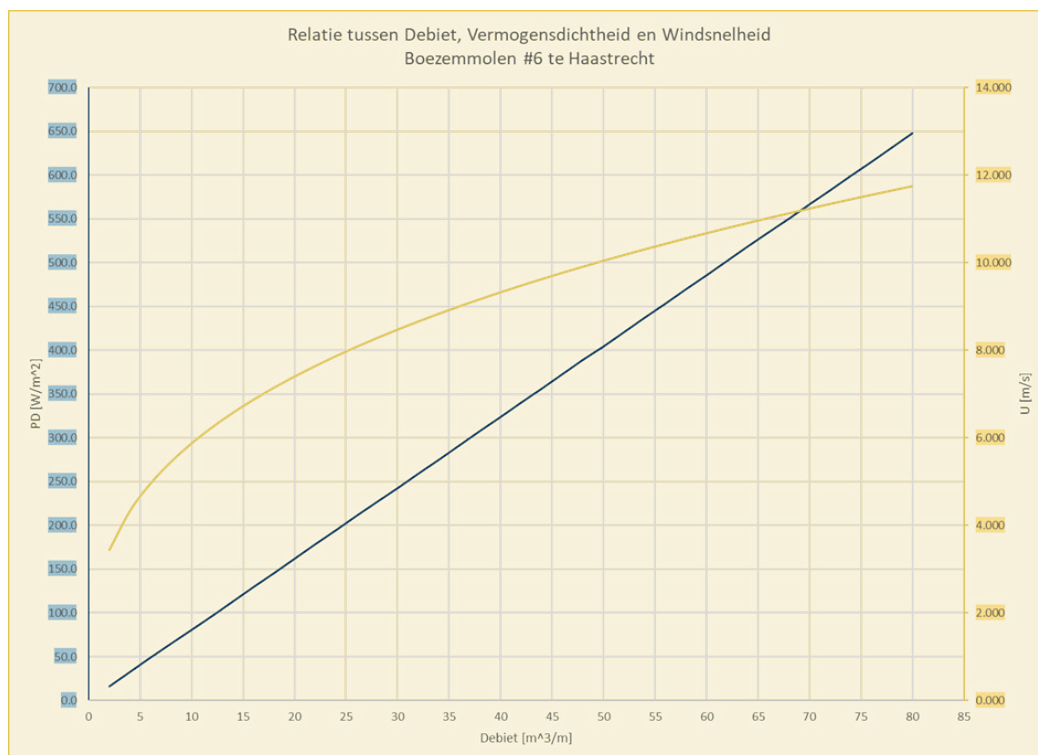
3.1 De molen

De Boezemmolen No. 6 is een rijksmonumentale poldermolen. Het functioneren van een windmolen is afhankelijk van een voldoende en gelijkmatige windstroming. Historische windmolens zijn ontworpen om bij relatief lage windsnelheden in bedrijf te zijn en zijn daarbij gevoelig voor verstoringen in het windveld.

Voor een goed functioneren is niet alleen de beschikbare windsnelheid van belang, maar ook de kwaliteit van de stroming. Verstoringen in de omgeving, zoals bebouwing of opgaande beplanting, kunnen leiden tot zowel een afname van de windsnelheid als tot een toename van turbulentie. Dit kan resulteren in een minder efficiënte werking van de molen en een verhoogde mechanische belasting.

De mate waarin dergelijke verstoringen effect hebben, is afhankelijk van de positie, hoogte en configuratie van obstakels in relatie tot de molen. Met name obstakels in de directe nabijheid van de molen (circa 0–200 meter) hebben naar verhouding een groter effect op het windveld. Daarbij geldt dat obstakels binnen de eerste 100 meter een relatief grote invloed hebben op de mate van turbulentie en verstoring van de stroming.

De huidige situatie rondom de molen (ca. 400 meter) wordt gekenmerkt door open polder met verspreid enkele gebouwen en begroeiing. Deze situatie vormt de referentie voor de beoordeling van de onderzochte varianten.



Figuur 3.1.1: Globale relatie tussen windsnelheid, vermogensdichtheid en debiet van Boezemmolen No. 6.

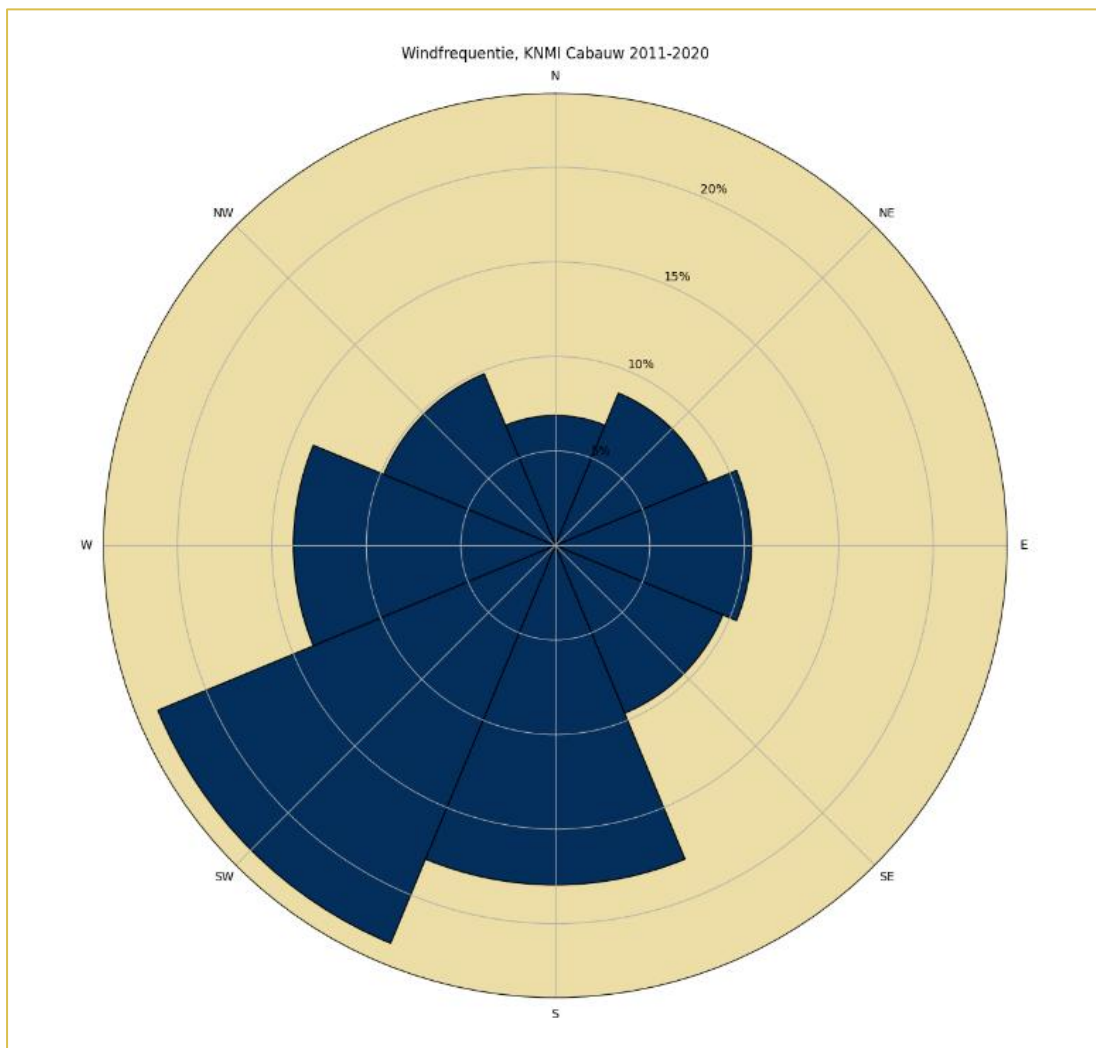
3.2 Windregime

Het functioneren van de molen wordt in belangrijke mate bepaald door het heersende windregime. In Nederland is sprake van een overwegend zuidwestelijk georiënteerde wind, waarbij de wind gedurende het grootste deel van de tijd uit richtingen tussen zuidwest en west komt.

Dit betekent dat verstoringen in deze richtingen relatief zwaar wegen in de beoordeling van de effecten op de molen, aangezien zij invloed hebben op de meest voorkomende stroming van de wind.

Tegelijkertijd kan niet worden gesteld dat uitsluitend deze dominante windrichtingen bepalend zijn. Voor poldermolens geldt van oudsher dat zij in staat moeten zijn om onder uiteenlopende windrichtingen te functioneren, zodat het waterpeil in de polder onder verschillende omstandigheden beheerst kan worden. Een goede windtoetreding vanuit alle richtingen is daarbij van belang voor een bedrijfszekere werking.

Voor de locatie is daarnaast een statistische beschrijving van de windsnelheden opgesteld op basis van langjarige meetgegevens (Weibull-verdeling).



Figuur 3.2.1: De windroos op basis van KNMI-metstation Cabauw, verdeeld in 8 hoofdwindrichtingen.

4. Aanpak onderzoek

4.1 Methode

Voor het bepalen van de effecten van de verschillende varianten op het windveld rondom de molen is gebruik gemaakt van CFD-simulaties (Computational Fluid Dynamics). Met deze methode wordt het windveld driedimensionaal berekend (virtuele windtunnel), waarbij rekening wordt gehouden met de invloed van bebouwing en andere obstakels op de stroming.

De simulaties geven inzicht in zowel de verandering van de gemiddelde windsnelheid als in de verstoring van het stromingsbeeld rondom de molen.

4.2 Uitgangspunten

De opdrachtgever heeft 3D-modellen van de onderzochte varianten aangeleverd in SketchUp-formaat. Deze modellen zijn geëxporteerd en als OBJ-bestanden ingeladen in de CFD-software, waarna ze zijn gebruikt als basis voor de simulaties.

De huidige situatie en de varianten zijn op gelijke wijze gemodelleerd, zodat een onderlinge vergelijking mogelijk is. De gehanteerde instelparameters zijn opgenomen in de bijlage.

4.3 Afbakening

Het onderzoek richt zich op het in beeld brengen van de relatieve verschillen tussen de onderzochte varianten ten aanzien van de windcondities rondom de molen.

Het onderzoek:

- geeft inzicht in veranderingen in windsnelheid en stromingsbeeld;
- vergelijkt de varianten onderling;
- gebruikt de huidige situatie als referentie;
- voorziet niet in een beoordeling van de aanvaardbaarheid van effecten;
- bevat geen voorstellen voor mitigerende of compenserende maatregelen.

5. Beschrijving varianten

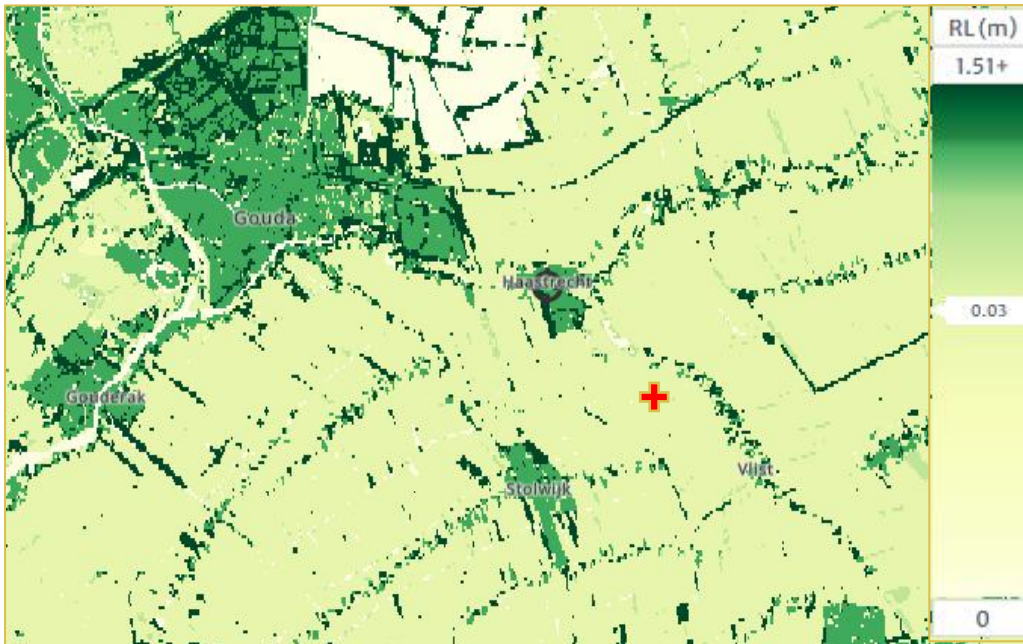
5.1 De huidige situatie

De molen is gelegen in een open polderlandschap, waarbij de directe omgeving wordt gekenmerkt door verspreide bebouwing en erfbeplanting. Binnen de molenbiotoop zijn reeds obstakels aanwezig die invloed hebben op het windveld rondom de molen.

De huidige situatie vormt de referentie voor de beoordeling van de onderzochte varianten.



Figuur 5.1.1: Overzicht van de molen en de directe omgeving binnen een straal van 400 meter. Bron: Google Earth.



Figuur 5.1.2: Ruwheidslengte (z_0) van het maaiveld in de omgeving van Haastrecht op basis van de Global Wind Atlas. De rode markering geeft de locatie van Boezemmolen No. 6 aan. Met een gemiddelde ruwheidslengte van circa 0,03 kan het terrein worden gekarakteriseerd als open landschap. Bron: Global Wind Atlas.

5.2 Context van het voorgenomen bouwplan

In de directe omgeving van de molen is een ruimtelijke ontwikkeling voorzien, bestaande uit woningbouw. Het plan bevindt zich binnen de molenbiotoop en omvat meerdere varianten met verschillen in positionering en bouwhoogte.

Het bouwplan ligt ten opzichte van de molen grofweg binnen de sector 275° – 312° . Daarmee bestrijkt het plan circa 10,3% van de volledige windroos. Aangezien de ontwikkeling deels plaatsvindt binnen een straal van 400 meter rondom de molen, met als dichtste punt circa 200 meter, kan de voorgenomen bebouwing effect hebben op de windcondities rondom de molen.

In het vervolg van dit hoofdstuk worden de verschillende varianten beschreven, waarna de effecten op het windveld onderling worden vergeleken.



Figuur 5.2.1: Ligging van de molen (gele markering) en het beoogde plangebied (geel gearceerd) binnen de directe omgeving. Bron: Google Earth.

5.3 Stedenbouwkundig ontwerpvarianten

De stedenbouwkundige ontwerpvarianten zijn aangeleverd door de opdrachtgever en opgesteld door Timpaan in samenwerking met Buro SRO. De varianten zijn gebaseerd op het project *Waardse Weelde* (april 2026) en vormen de ruimtelijke basis voor de in dit onderzoek beschouwde situaties.¹

In eerdere fasen zijn meerdere varianten ontwikkeld en besproken met de gemeente en de provincie Zuid-Holland. In het kader van de besluitvorming is de analyse in dit rapport toegespitst op drie varianten:

- Variant 1: een opzet die in eerdere overleggen als uitgangspunt is gehanteerd en aansluit bij de systematiek van de molenbiotoop;
- Variant 4: een stedenbouwkundig aangepast variant, waarbij de positionering van de bebouwing aanzienlijk afwijkt van variant 1;
- Variant 4a: een aangepaste variant op variant 4, waarin de bebouwing zodanig is herschikt dat beter wordt aangesloten bij het principe van opbouw van laag naar hoog ten opzichte van de molen.

Deze selectie sluit aan bij het bestuurlijke traject, waarin met name de onderlinge verschillen tussen deze varianten relevant zijn voor de verdere afweging.

Variant 1:



¹ *Ontwerpvarianten molenbiotoop_Waardse Weelde_20 april 2026.pdf*
-en-
diverse SKP-modellen.

Variant 4:



Variant 4a:



6. Resultaten

6.1 Effect op windvang

Uit de vergelijking blijkt dat alle varianten invloed hebben op de windvang ten opzichte van de huidige situatie. Dit effect is zichtbaar in zowel de windsnelheid als de turbulentie.

Bij de windsnelheid is in alle varianten sprake van een afname binnen de onderzochte windrichtingen. De omvang van deze afname verschilt per variant en per richting. Variant 1 laat gemiddeld de grootste snelheidsafname zien. Variant 4 en 4a liggen dicht bij de huidige situatie, waarbij variant 4 gemiddeld de kleinste snelheidsafname laat zien.

Bij de turbulentie is in alle varianten sprake van een toename ten opzichte van de huidige situatie. Ook hier verschilt de omvang per variant en per windrichting. Variant 1 laat gemiddeld de kleinste toename zien, terwijl variant 4 en 4a gemiddeld een grotere toename laten zien.

6.2 Vergelijking varianten

De CFD-analyse is uitgevoerd voor de representatieve windrichtingen 280°, 290° en 300°. Deze richtingen vallen binnen de bredere sector waarin het bouwplan ten opzichte van de molen is gelegen. Daarmee geeft de analyse een gericht beeld van de effecten binnen de windhoek waar de ontwikkeling invloed uitoefent. De nadruk is daarbij gelegd op een zorgvuldige modellering en verfijnde meshing van deze zone. Effecten buiten deze sector zijn niet nader uitgewerkt, omdat deze in verhouding tot het onderzochte plangebied beperkt en voor deze vergelijking van ondergeschikt belang zijn.

Gemiddeld bedraagt de windsnelheid ten opzichte van de huidige situatie 88% bij variant 1, 90% bij variant 4 en 89% bij variant 4a. Voor turbulentie bedraagt dit respectievelijk 130%, 149% en 150%.

Deze gemiddelden geven een globaal beeld, maar de effecten verschillen per windrichting. Daarom zijn naast de gemiddelde waarden ook de waarden per onderzochte windrichting weergegeven.

snelheid U t.o.v huidige situatie [gemeten over het hele rotoroppervlak]				
	Huidig	Var_1	Var_4	Var_4a
280	100%	100%	84%	81%
290	100%	84%	100%	100%
300	100%	78%	87%	85%
gemiddelde:	100%	88%	90%	89%

Noot 1: 100% betekent dat de berekende windsnelheid over de meetpunten op het rotoroppervlak in totale zin gelijk is aan de huidige situatie. Dit zegt echter niet dat de windvang als geheel onveranderd is; turbulentie en drukverdeling kunnen nog steeds afwijken. **Noot 2:** In de eerdere notitie voor variant 1 is voor 300° een waarde van 77% genoemd. In voorliggend rapport komt de herberekening uit op 78%. Dit verschil van één procentpunt valt binnen de afrondings- en verwerkingsmarge en verandert de interpretatie niet.

Turbulentie K t.o.v huidige situatie [gemeten over het hele rotoroppervlak]				
	Huidig	Var_1	Var_4	Var_4a
280	100%	92%	172%	188%
290	100%	155%	115%	120%
300	100%	144%	160%	143%
gemiddelde:	100%	130%	149%	150%

Uit de tabellen blijkt dat alle varianten invloed hebben op de windvang, maar dat de aard van de beïnvloeding verschilt per variant. Variant 4 en 4a laten gemiddeld een beperktere afname van windsnelheid zien dan variant 1, terwijl variant 1 gemiddeld een kleinere toename van turbulentie laat zien.

Indicatieve drukverdeling wiekenkruis t.o.v. huidige situatie				
	Huidig	Var_1	Var_4	Var_4a
280 - horizontaal	100%	97%	91%	93%
280 - verticaal	100%	93%	107%	111%
290 - horizontaal	100%	112%	102%	103%
290 - verticaal	100%	109%	102%	102%
300 - horizontaal	100%	122%	113%	99%
300 - verticaal	100%	104%	99%	99%

Naast windsnelheid en turbulentie is ook gekeken naar de verdeling van de winddruk over het wiekenkruis. Hiervoor is onderscheid gemaakt tussen de horizontale verdeling links/rechts en de verticale verdeling boven/onder. Per end zijn drie meetpunten gebruikt.

De tabel geeft geen absolute belasting weer, maar laat zien hoe de drukverdeling verandert ten opzichte van de huidige situatie. Een afwijking van 100% betekent dat de balans in het stromingsprofiel verandert.

De resultaten laten zien dat de varianten niet alleen invloed hebben op de hoeveelheid wind, maar ook op de verdeling daarvan over het wiekenkruis. Daarmee bevestigt deze tabel dat ook de gelijkmatigheid van de windvang verandert.

6.3 Kwaliteit van de stroming

Naast de afname van windsnelheid is ook de verstoring van het stromingsbeeld relevant. Turbulentie geeft aan in hoeverre de wind onrustig en ongelijkmatig bij de molen aankomt. Voor het functioneren van de molen is een gelijkmatige stroming van belang.

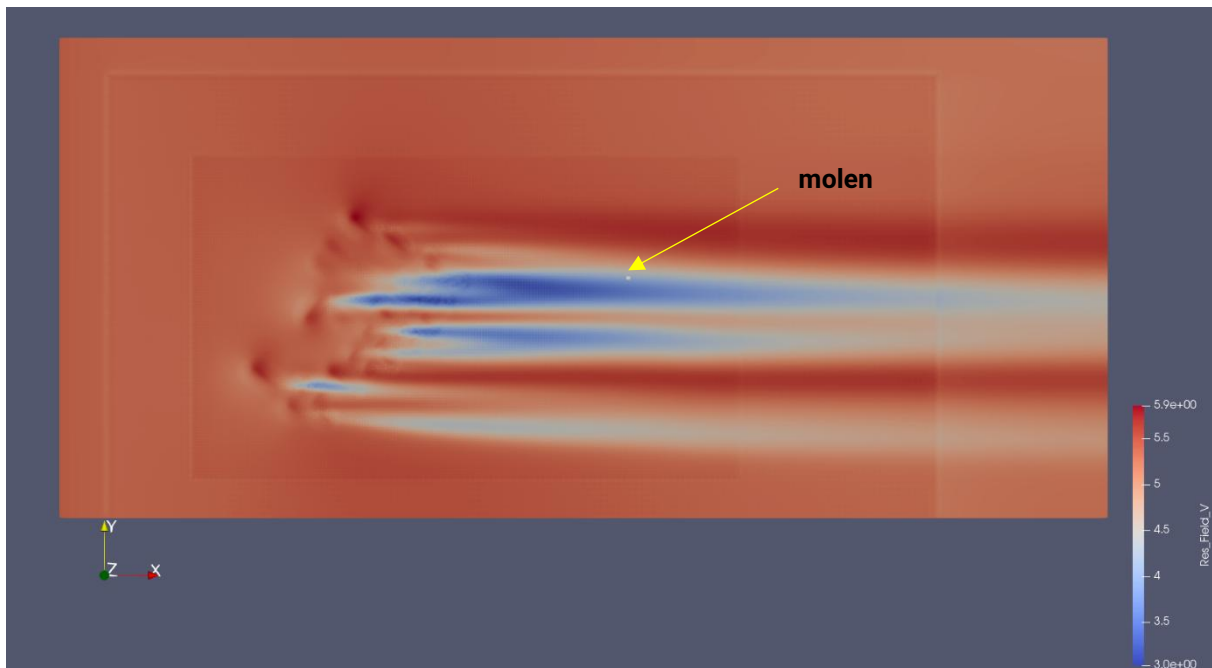
Daarnaast is gekeken naar de verdeling van de stroming over het wiekenkruis. Hiervoor is onderscheid gemaakt tussen de horizontale positie van de wieken, links en rechts, en de verticale positie, boven en onder. Deze waarden geven geen absolute belasting weer, maar laten zien in hoeverre de balans in de stroming verandert ten opzichte van de huidige situatie.

Uit de resultaten blijkt dat alle varianten leiden tot een verandering van de windcondities ten opzichte van de huidige situatie. Dit is zichtbaar in de windsnelheid, de turbulentie en de drukverdeling over het wiekenkruis. De mate waarin dit optreedt verschilt per variant en per windrichting.

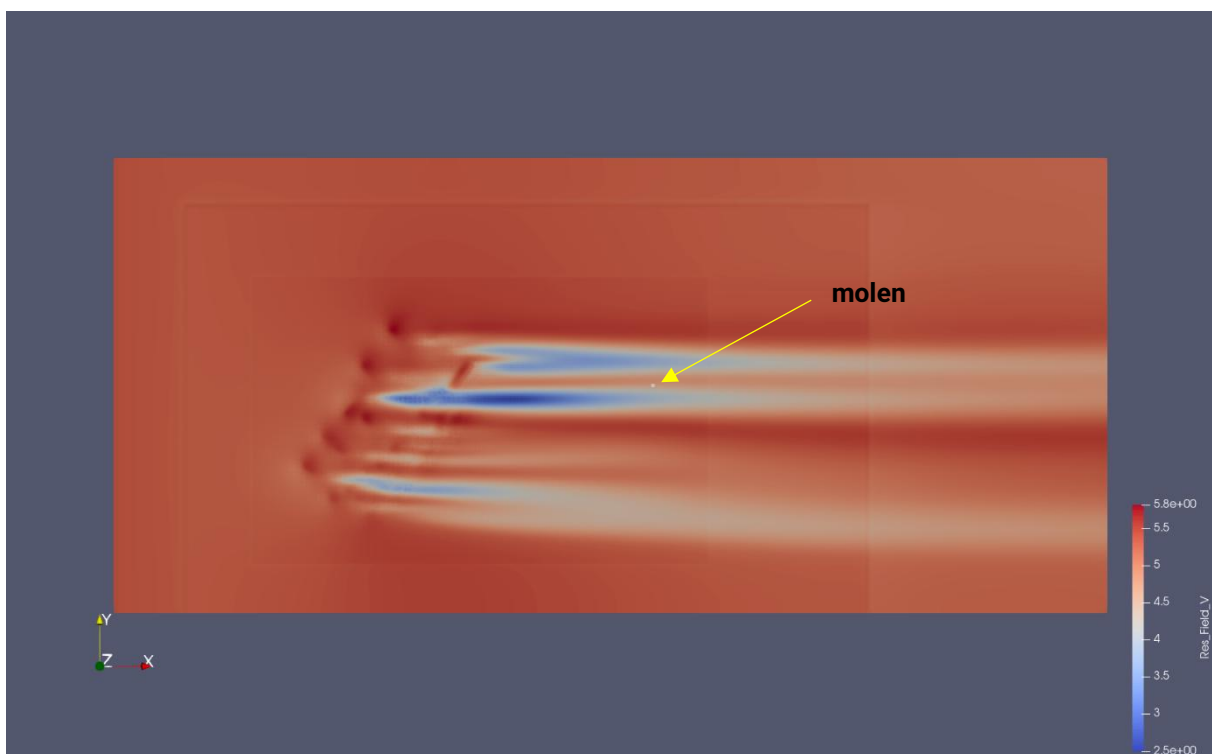
De resultaten moeten daarom worden gelezen als een gerichte vergelijking binnen de windsector waarin het bouwplan is gelegen. Windsnelheid, turbulentie en drukverdeling geven samen het beeld van de windvang: minder windsnelheid betekent minder beschikbare windenergie, meer turbulentie wijst op een onrustiger stroming, en een veranderende drukverdeling wijst op een minder gelijkmatige belasting van het wiekenkruis. De varianten verschillen op deze onderdelen, maar moeten worden gezien als variaties binnen één vergelijkbaar bouwprogramma in dezelfde sector van de molenbiotoop.

Onderstaande visualisaties tonen de berekende windsnelheid op askophoogte bij windrichting 300°. De beelden maken zichtbaar hoe de luchtstroom door de bebouwing wordt beïnvloed en hoe achter de bouwvolumes zones met lagere windsnelheid ontstaan.

De visualisaties zijn bedoeld als kwalitatieve ondersteuning van de berekende waarden. De kwantitatieve beoordeling vindt plaats op basis van de meetwaarden bij de molen, zoals weergegeven in de tabellen.



Variant 1: doorsnede (Z) op 16,21 meter hoogte. Richting: 300°. Windsnelheid.



Variant 4: doorsnede (Z) op 16,21 meter hoogte. Richting: 300°. Windsnelheid.

7. Conclusie

Deze analyse bouwt voort op het eerdere windvangonderzoek naar de huidige situatie en de eerder onderzochte variant 1. Daarin is vastgesteld dat Boezemmolen No. 6 in de huidige situatie een goede windvang heeft, maar dat bebouwing binnen de betreffende sector van de molenbiotoop nadelig kan zijn voor het functioneren van de molen. In dit rapport is daarom niet opnieuw de volledige molenbiotoop beoordeeld, maar is gericht gekeken naar de onderlinge verschillen tussen variant 1, variant 4 en variant 4a.

Uit de aanvullende CFD-simulaties blijkt dat het bouwplan als geheel een nadelig effect heeft op de windvang binnen de onderzochte windrichtingen 280°–300°. Onder een nadelig effect wordt in dit rapport verstaan: een afname van de windsnelheid, een toename van turbulentie en/of een minder gelijkmatige verdeling van de windstroming over het wiekenkruis ten opzichte van de huidige situatie.

Alle onderzochte varianten laten deze nadelige beïnvloeding zien. Geen van de varianten neemt het effect van bouwen binnen deze sector weg. Daarmee is de eerste conclusie dat het toevoegen van dit bouwvolume binnen deze windhoek leidt tot een verslechtering van de windvang ten opzichte van de huidige situatie.

De onderlinge verschillen tussen variant 1, 4 en 4a zijn meetbaar, maar beperkt. Variant 1 laat gemiddeld meer afname van windsnelheid zien, maar gemiddeld minder toename van turbulentie. Variant 4 en 4a behouden gemiddeld iets meer windsnelheid, maar laten meer turbulentie zien. De verschillen liggen daarmee vooral in de aard en verdeling van het effect, niet in het volledig wegnemen ervan.

Dat is verklaarbaar: in hoofdlijn gaat het om een vergelijkbaar bouwprogramma, met vergelijkbare volumes en hoogtes, binnen dezelfde sector van de molenbiotoop. De ontwerpverschillen tussen de varianten zijn windkundig niet groot genoeg om te spreken van een wezenlijke optimalisatie van het bouwplan ten opzichte van de molenbiotoop. De varianten moeten daarom niet worden gelezen als volledig verschillende windkundige situaties, maar als variaties binnen één ruimtelijke ingreep.

De kern van de afweging ligt daarmee niet in de vraag welke variant géén nadelig effect heeft. Die variant is er binnen deze vergelijking niet. De bestuurlijke vraag is of het realiseren van dit bouwprogramma, met deze omvang en bouwmassa, binnen deze sector van de molenbiotoop aanvaardbaar wordt geacht.

Wanneer wordt gekozen om hier te bouwen, moet ook worden geaccepteerd dat dit leidt tot een afname van de windkwaliteit in deze windhoek. De CFD-resultaten maken inzichtelijk hoe variant 1, 4 en 4a zich onderling verhouden, maar veranderen niet het hoofdbeeld dat het bouwplan als geheel nadelig is voor de windvang van Boezemmolen No. 6.

Op basis van deze resultaten is niet eenduidig vast te stellen dat één van de varianten windkundig duidelijk minder nadelig is dan de andere. De verschillen tussen de varianten zijn meetbaar, maar liggen in de marge van één vergelijkbare ruimtelijke ingreep. Een rangorde op basis van alleen deze CFD-resultaten zou daarom te stellig zijn.

8. Overwegingen

8.1 Betekenis van het bouwplan als geheel

De resultaten laten zien dat het bouwplan als geheel een nadelig effect heeft op de windvang van de molen. Dat geldt voor alle onderzochte varianten. De verschillen tussen variant 1, 4 en 4a zijn meetbaar, maar beperkt.

Dat is verklaarbaar. In hoofdlijn gaat het om hetzelfde bouwprogramma, met vergelijkbare volumes en bouwhoogtes, binnen dezelfde sector van de molenbiotoop. De varianten verschillen in positionering en ordening van de bouwmassa's, maar windkundig blijven het variaties binnen één ruimtelijke ingreep.

Daarmee ligt de kern van de afweging niet in de vraag of één van de varianten zonder effect blijft. Dat is niet het geval. De hoofdvraag is of het toevoegen van deze bouwmassa binnen deze windhoek van de molenbiotoop acceptabel wordt gevonden, met de daarbij horende afname van de windkwaliteit.

8.2 Betekenis voor de molenbiotoop

Het bouwplan ligt binnen de molenbiotoop en bestrijkt 10,3%² van de volledige windroos. Daarmee gaat het om een lokale, aan de richting gebonden aantasting van de windvang.

Dat percentage moet zorgvuldig worden gelezen. Het betekent niet dat het effect verwaarloosbaar is. Voor een poldermolen is windtoetreding vanuit alle richtingen van belang, omdat de molen onder wisselende omstandigheden moet kunnen draaien en malen.

In de huidige situatie is de biotoop rondom Boezemmolen No. 6 in hoofdzaak open en relatief goed. Bebouwing in deze sector betekent daarom een duidelijke verandering ten opzichte van de bestaande situatie. De betreffende windhoek wordt niet volledig weggenomen, maar de kwaliteit van de windvang neemt wel af door minder windsnelheid, meer turbulentie en een veranderende verdeling van de stroming over het wiekenkruis.

8.3 Herstelafstand

Het bouwplan ligt deels in de luwte van bestaande bebouwing en groenstructuren. Dat betekent dat de wind uit deze richting in de huidige situatie al enigszins wordt beïnvloed voordat deze de molen bereikt.

Tegelijkertijd liggen deze bestaande obstakels op grotere afstand van de molen. Daardoor kan de wind zich richting de molen nog voor een belangrijk deel herstellen, met name wat betreft turbulentie en gelijkmatigheid van de stroming.

Door nieuwe bebouwing dicht bij de molen toe te voegen, wordt deze herstelafstand verkort. De verstoring komt daardoor dicht bij de molen te liggen en de stroming in deze windhoek wordt minder rustig.

8.4 Rol van de molenaar(s)

De berekeningen laten zien dat de bebouwing bij wind uit de onderzochte richtingen in de praktijk merkbaar kan zijn voor de molen. Dit kan zich uiten in minder beschikbare wind, een onrustiger stroming of een minder gelijkmatige belasting van het wiekenkruis.

De mate waarin dit merkbaar is, hangt af van de windrichting, windsnelheid en de bedrijfsomstandigheden op dat moment. Daarom is het van belang om de eigenaar en molenaar bij de verdere afweging te betrekken. De modelresultaten geven inzicht in de verandering van het windveld;

² $|275 - 312|/360 = 10,27$

de molenaar kan aangeven hoe deze verandering zich verhoudt tot het daadwerkelijke functioneren van de molen.

8.5 Betekenis voor de besluitvorming

De resultaten wijzen geen variant aan waarbij de windvang gelijk blijft aan de huidige situatie. Alle onderzochte varianten hebben een nadelig effect binnen de onderzochte sector.

De verschillen tussen variant 1, 4 en 4a zijn meetbaar, maar beperkt. Vanuit het perspectief van de molenbiotoop kan daarom niet worden gesteld dat één van de varianten een duidelijke windkundige optimalisatie vormt. De varianten blijven in hoofdzaak variaties binnen hetzelfde bouwprogramma en dezelfde windsector.

Ter context: de formule van De Hollandsche Molen gaat uit van een beperkte mate van windverlies die nog aanvaardbaar kan worden geacht, vaak in de orde van 5%. Deze systematiek is niet één-op-één vergelijkbaar met de CFD-analyse, maar geeft wel gevoel voor de orde van grootte. Binnen de onderzochte windrichtingen bedraagt de gemiddelde snelheidsafname circa 10–12%, afhankelijk van de variant. Daarmee is het effect in deze sector niet verwaarloosbaar.

De hoofdvraag voor de besluitvorming is daarmee niet welke variant geen effect heeft, maar of het realiseren van dit bouwprogramma binnen deze sector van de molenbiotoop acceptabel wordt gevonden. Wanneer daarvoor wordt gekozen, moet ook worden geaccepteerd dat dit leidt tot een afname van de windkwaliteit in deze windhoek.

9. Bronnen en bijlagen

Bronnen

1. **EAGM, 2024_71_Rapport_HuidigeWindvang_BM6, augustus 2024**
Voor de huidige situatie, uitgangspunten molen, windregime, en eerdere modelopzet.
2. **EAGM, 2024_71_Resultaten_Variant1_BM6, oktober 2024**
Voor de eerdere analyse van variant 1 en vergelijking met de huidige situatie.
3. **Ontwerpvarianten molenbiotoop_Waardse Weelde_20 april 2026**
Voor de stedenbouwkundige varianten 1, 4 en 4a.
4. **Aangeleverde SketchUp-/3D-modellen van variant 1, 4 en 4a**
Bron voor de geometrie die in de CFD-software is gebruikt.
5. **Notitie overleg Gemeente Krimpenerwaard – Provincie Zuid-Holland, 20 juni 2025**
Voor de bestuurlijke context, toetsing aan de provinciale molenbiotoopregels en compensatieregeling.
6. **Zuid-Hollandse Omgevingsverordening / molenbiotoopregels**
Voor de 1:30- en 1:100-regel.
7. **Compensatieregeling Molenbiotoop, Provincie Zuid-Holland, 2014**
Voor de koppeling met gradencirkel, belemmering en eventuele compensatie.
8. **De Hollandsche Molen; De inrichting van de omgeving van molens, 1982**
Voor de algemene biotoopbenadering en de context van aanvaardbaar windverlies.
9. **F. von König; Wind en energie; 1978**
Algemene kennis over windenergie en het omzetten naar mechanische energie.
10. **B. Blocken; Computational Fluid Dynamics for urban physics; 2015**
Informatie over CFD opzet en instellingen.
11. **J. Franke et al; Best Practice Guideline for the CFD simulation...; 2007**
Informatie over CFD opzet en instellingen.
12. **KNMI-meetstation Cabauw, uurgegevens 2011–2020**
Voor windrichting, windsnelheid en Weibull-verdeling.
13. **Global Wind Atlas**
Voor ruwheidslengte en globale terreinclassificatie.
14. **Google Earth**
Voor luchtfoto's, situering molen, plangebied en ruimtelijke context.
15. **AHN / PDOK**
Voor maaiveldhoogtes en controle van terreinmodellering.
16. **3DBAG**
Voor bestaande bebouwing / gebouwvolumes in de omgeving.
17. **OpenFOAM**
Voor de CFD-simulaties.
18. **ParaView**
Voor visualisatie van de CFD-resultaten.
19. **SketchUp**
Voor verwerking en controle van 3D-geometrie.
20. **QGIS**
Voor geodata, controle terrein, luchtfoto's en ruimtelijke verwerking.
21. **Python / Excel**
Voor verwerking van meetdata, tabellen, grafieken en vergelijkingen.

Bijlage A: CFD-instellingen

Software:	OpenFOAM
State:	Steady
Turbulentie:	Realisable epsilon; $k = 0.41468$, $\epsilon = 0.01067$
Inlaatsnelheid op 10 meter:	5 m/s
Windprofiel:	logaritmisch windprofiel, $z_0 = 0,03$
Ruwheid:	$K_s = 0.33$; $C_s = 0.9$
Boundary:	Toegepast op het bodemvlak
Windtunnel:	$D_x = 1244$, $D_y = 570$, $D_z = 112,5$ [m]
Mesh:	Min = 0.427 m; 2 – 3 miljoen cells
Refinement:	Ja. Geleidelijk. Objecten en wake.
Residuals:	Streefwaarde drukresiduen circa 0,001

Indien gewenst kunnen de onderliggende datasets, metadata en CFD-exports separaat worden aangeleverd. Deze bestanden maken geen onderdeel uit van de hoofdrapportage, maar zijn beschikbaar ter controle of nadere technische verificatie van de uitgevoerde berekeningen.

Bijlage B: Geometrie en modellen

Voor de CFD-analyse zijn 3D-modellen gebruikt van de huidige situatie en de onderzochte ontwerpvarianten. De modellen van de varianten zijn door de opdrachtgever aangeleverd in SketchUp-formaat en vervolgens geëxporteerd als OBJ-bestanden. Deze OBJ-bestanden zijn ingeladen in de CFD-software en gebruikt als basis voor de simulaties.

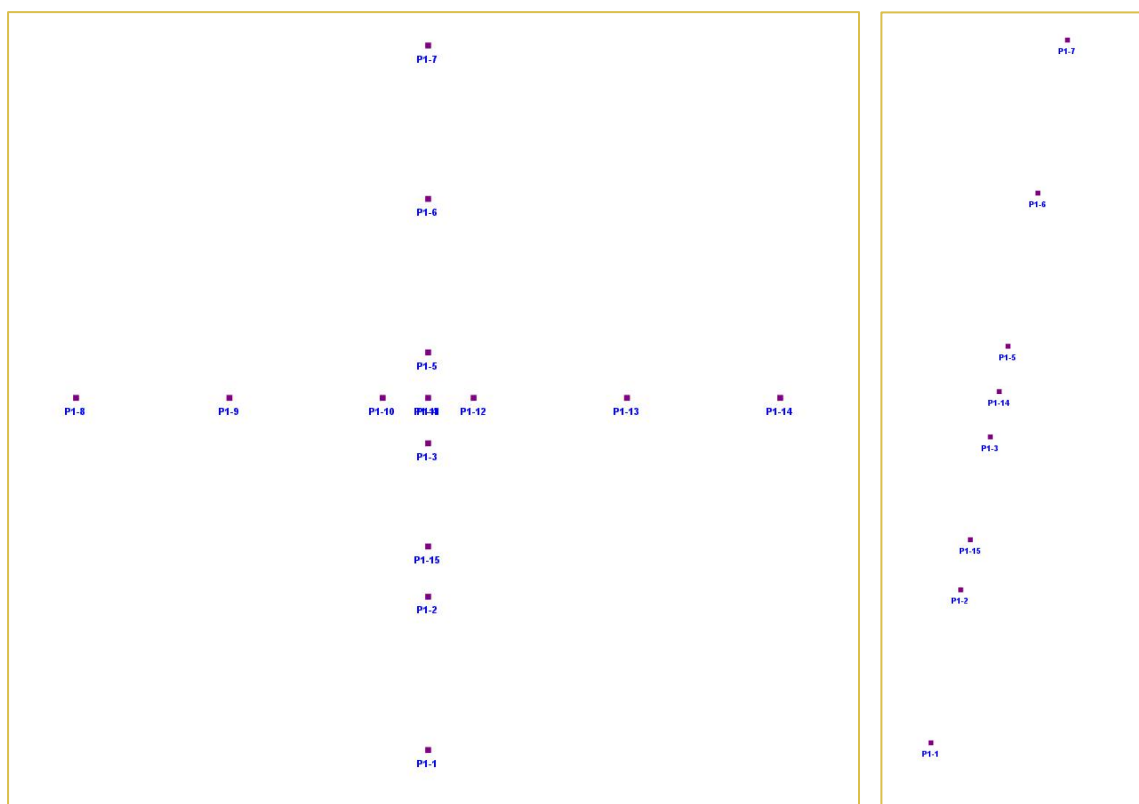
De geometrie is voor alle varianten op dezelfde wijze verwerkt, zodat de resultaten onderling vergelijkbaar zijn. De huidige situatie is daarbij gebruikt als referentie. Variant 1, variant 4 en variant 4a zijn afzonderlijk gemodelleerd en doorgerekend.

Bij de modelvoorbereiding is de nadruk gelegd op de bouwvolumes die relevant zijn voor de windstroming richting de molen. De hoofdvorm, positie en hoogte van de bebouwing zijn daarbij bepalend. Kleine architectonische details die geen wezenlijke invloed hebben op het stromingsbeeld zijn buiten beschouwing gelaten of vereenvoudigd.

De bestaande omgeving is gemodelleerd op basis van de beschikbare geodata en eerdere modelopzet uit het windvangonderzoek naar de huidige situatie. Hierdoor sluit de geometrie van de referentiesituatie aan op de eerder uitgevoerde analyse.

De ontwerptekeningen van de varianten zijn opgenomen in hoofdstuk 5.3 van dit rapport. Deze bijlage beperkt zich daarom tot de technische verwerking van de geometrie ten behoeve van de CFD-analyse.

Bijlage C: Overzicht meetpunten rotorvlak



Links: kijkrichting X+ (voorzijde wiekenkruis). Rechts: kijkrichting Y+ (zij aanzicht, weerszijde). De wind 'stroomt' van X- naar X+. Hart van de molen op 0,0 (X,Y).

Helling bovenas = 11°; diameter 30,00 meter. Z_askop = 16,21 meter boven maaiveld.

Punt_#	X	Y	Z
1	-15	0	1.49
2	-13.75	0	7.9
3	-12.51	0	14.31
4	-12.14	0	16.21
5	-11.77	0	18.11
6	-10.52	0	24.53
7	-9.28	0	30.94
8	-12.14	14.72	16.21
9	-12.14	8.31	16.21
10	-12.14	1.9	16.21
11	-12.14	0	16.21
12	-12.14	-1.9	16.21
13	-12.14	-8.31	16.21
14	-12.14	-14.72	16.21
15	-13.35	0	10

Bijlage D: Rekenwijze

Voor de analyse zijn per variant en per windrichting de meetwaarden uit het CFD-model geëxporteerd. De gebruikte probe-data bevat per meetpunt onder meer de coördinaten, druk, windsnelheid, turbulente kinetische energie en dissipatie. Voor de beoordeling in dit rapport zijn met name de windsnelheid en turbulente kinetische energie gebruikt.

De beoordeling is uitgevoerd op basis van vijftien meetpunten ter plaatse van het rotoroppervlak van de molen. Deze meetpunten liggen verdeeld over de verticale en horizontale lijn van het wiekenkruis. De huidige situatie is steeds als referentie gebruikt en op 100% gesteld. De varianten zijn vervolgens per windrichting vergeleken met deze referentie.

Windsnelheid

Voor de windsnelheid is per variant de som van de berekende windsnelheden over de vijftien meetpunten bepaald. Deze som is vervolgens gedeeld door de som van de windsnelheden in de huidige situatie bij dezelfde windrichting.

Daarmee ontstaat een relatieve waarde voor de beschikbare windsnelheid over het rotoroppervlak:

$$\text{relatieve windsnelheid} = \text{som U variant} / \text{som U huidige situatie}$$

Een waarde van 100% betekent dat de totale berekende windsnelheid over de meetpunten gelijk is aan de huidige situatie. Dit betekent niet automatisch dat de windvang als geheel gelijk blijft, omdat de verdeling over het wiekenkruis en de turbulentie wel kunnen veranderen.

Turbulentie

Voor de turbulentie is gebruikgemaakt van de turbulente kinetische energie (k) uit de CFD-resultaten. Per variant is de gemiddelde waarde van k over de vijftien meetpunten bepaald. Deze waarde is vervolgens gedeeld door de gemiddelde waarde in de huidige situatie bij dezelfde windrichting.

$$\text{relatieve turbulentie} = \text{gemiddelde } k \text{ variant} / \text{gemiddelde } k \text{ huidige situatie}$$

Een waarde boven 100% betekent dat de turbulentie toeneemt ten opzichte van de huidige situatie. Een hogere turbulentie wijst op een onrustiger en minder gelijkmatige stroming van de molen.

Verdeling over het wiekenkruis

Naast de totale windsnelheid en turbulentie is ook gekeken naar de verdeling van de stroming over het wiekenkruis. Hiervoor is onderscheid gemaakt tussen de horizontale verdeling links/rechts en de verticale verdeling boven/onder.

Voor de horizontale verdeling zijn per zijde drie meetpunten gebruikt. De som van de windsnelheden aan de ene zijde is gedeeld door de som van de windsnelheden aan de andere zijde. Voor de verticale verdeling is dezelfde werkwijze toegepast, maar dan voor het bovenste en onderste deel van het wiekenkruis.

$$\text{horizontale verhouding} = \text{som U links} / \text{som U rechts}$$

$$\text{verticale verhouding} = \text{som U boven} / \text{som U onder}$$

Deze verhoudingen zijn vervolgens per variant vergeleken met de verhouding in de huidige situatie. De uitkomst laat zien in hoeverre de balans in de stroming over het wiekenkruis verandert.

De waarden geven geen absolute drukbelasting op de molen weer. Omdat zij zijn afgeleid uit de snelheidsverdeling, moeten zij worden gelezen als een indicatie van de relatieve druk- en belastingsverdeling over het wiekenkruis. Een afwijking van 100% betekent dat de stroming minder gelijk verdeeld is dan in de huidige situatie.

Gemiddelden

De gemiddelde waarden per variant zijn bepaald door de resultaten van de onderzochte windrichtingen 280°, 290° en 300° te middelen. Deze gemiddelden geven een globaal beeld van de onderzochte sector, maar vervangen niet de beoordeling per windrichting. De effecten kunnen per richting duidelijk verschillen.

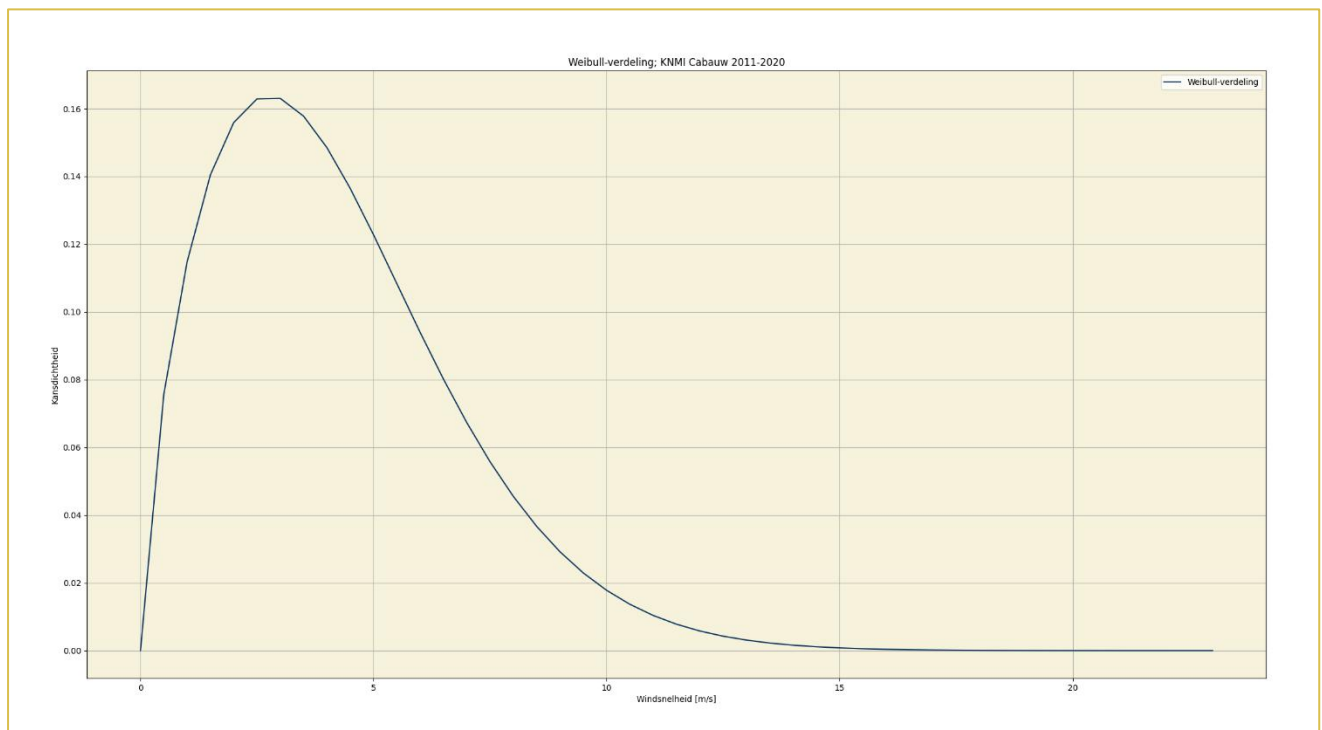
Bijlage E: Windregime

Voor de duiding van de windvang is gebruik gemaakt van langjarige windgegevens van KNMI-meetstation Cabauw. Deze gegevens geven inzicht in de verdeling van windrichtingen en windsnelheden in de omgeving van de molen.

Het windregime is in dit rapport gebruikt als context voor de beoordeling van de resultaten. De CFD-resultaten voor variant 1, 4 en 4a zijn niet gewogen naar windfrequentie en vormen dus geen integraal windvangcijfer voor de volledige molenbiotoop. De analyse is gericht op de sector waarin het bouwplan ten opzichte van de molen is gelegen.

De windroos laat zien dat wind uit zuidwestelijke tot westelijke richtingen een belangrijk aandeel heeft in het lokale windregime. Tegelijkertijd blijft voor een poldermolen windtoetreding vanuit alle richtingen relevant, omdat de molen onder wisselende omstandigheden moet kunnen draaien en malen.

De Weibull-verdeling geeft een statistisch beeld van de voorkomende windsnelheden. De meest voorkomende windsnelheden liggen in de orde van enkele meters per seconde. Juist binnen dit bereik kan een afname van windsnelheid merkbaar zijn voor het functioneren van de molen, omdat de beschikbare windenergie niet lineair maar sterk afhankelijk is van de windsnelheid.



Weibull-verdeling (PDF), meetstation Cabauw 2011-2020.

De relatie tussen windsnelheid, vermogensdichtheid en debiet is daarom opgenomen als aanvullende context. Deze laat zien dat een afname van windsnelheid direct doorwerkt in de hoeveelheid energie die beschikbaar is voor het verplaatsen van water.