



Impactstudie verhoogde duin op Energiehaven

Energiehaven

Provincie Noord-Holland

722011 | V4.0

11-9-2024



Pondera

Hoofdvestiging Nederland
Amsterdamseweg 13
6814 CM Arnhem
088 – pondera (088-7663372)
info@ponderaconsult.com

Postbus 919
6800 AX Arnhem

Vestiging South East Asia
Jl. Mampang Prapatan XV no 18
Mampang
Jakarta Selatan 12790
Indonesia

Vestiging North East Asia
Suite 1718, Officia Building 92
Saemunan-ro, Jongno-gu
Seoul Province
Republic of Korea

Vestiging Vietnam
7th Floor, Serepok Building
56 Nguyen Dinh Chieu Street, Da Kao Ward,
District 1 Ho Chi Minh City
Vietnam

Colofon

Soort document
Impactstudie verhoogde duin op Energiehaven

Projectnaam
Energiehaven

Versienummer
V4.0

Datum
11-9-2024

Project nummer
722011

Opdrachtgever
Provincie Noord-Holland

Auteur

[Redacted]

Nagekeken door

[Redacted]

Disclaimer

In het onderzoek is gebruik gemaakt van algemeen geaccepteerde uitgangspunten, modellen en informatie die ten tijde van het opstellen van dit rapport ter beschikking stonden. Aanpassingen in de uitgangspunten, modellen of gebruikte gegevens kunnen leiden tot andere uitkomsten. De aard en de nauwkeurigheid van de gebruikte gegevens voor het onderzoek bepalen in belangrijke mate de nauwkeurigheid en de onzekerheden van de berekende uitkomsten. Pondera is niet aansprakelijk voor gederfde inkomsten of schade die wordt geleden door opdrachtgever(s) en/of derden uit conclusies die gebaseerd zijn op gegevens die niet van Pondera afkomstig zijn. Deze rapportage is opgesteld met de intentie dat deze alleen gebruikt wordt door de opdrachtgever en slechts voor het doel waarvoor de rapportage is opgesteld. Er mag geen beroep worden gedaan op de informatie uit deze rapportage voor andere doeleinden zonder schriftelijke toestemming van Pondera. Pondera is niet verantwoordelijk voor de consequenties die kunnen voortvloeien uit het oneigenlijk gebruik van de rapportage. De verantwoordelijkheid voor het gebruik van (de analyse, resultaten en bevindingen in) de rapportage blijft bij de opdrachtgever. De Rechtsverhouding opdrachtgevers – architect, ingenieur en adviseur conform DNR 2011 is te allen tijde van toepassing. Pondera werkt met een kwaliteitsmanagementsysteem dat door EIK gecertificeerd is volgens de ISO 9001:2015 norm.

Samenvatting

Port of Amsterdam en Zeehaven IJmuiden onderzoeken de ontwikkelingsmogelijkheden van 'Project Energiehaven'. In dit project wordt de Averijhaven in IJmuiden, Provincie Noord-Holland in de gemeente Velsen, gereed gemaakt voor de opslag van windturbineonderdelen. Aan de westzijde van de Energiehaven wordt een deel van de beschikbare staalslakken gebruikt om een bestaande duin te verhogen.

Dit onderzoek bestudeert of de duinverhoging van de Energiehaven leidt tot een significante verandering van het windklimaat, wat op zijn beurt een waarneembare impact heeft op de werkcondities ter plaatse. Deze studie maakt gebruik van het ASPIRE-model van Whiffle. Dit Large Eddy Simulation (LES)-model maakt het mogelijk om de wind in zeer fijn detail te analyseren. Er zijn drie verschillende simulaties uitgevoerd:

- Situatie 1: (basis situatie): de huidige situatie
- Situatie 2: zonder de huidige duin
- Situatie 3: met duin verhoogd tot 30 meter boven NAP

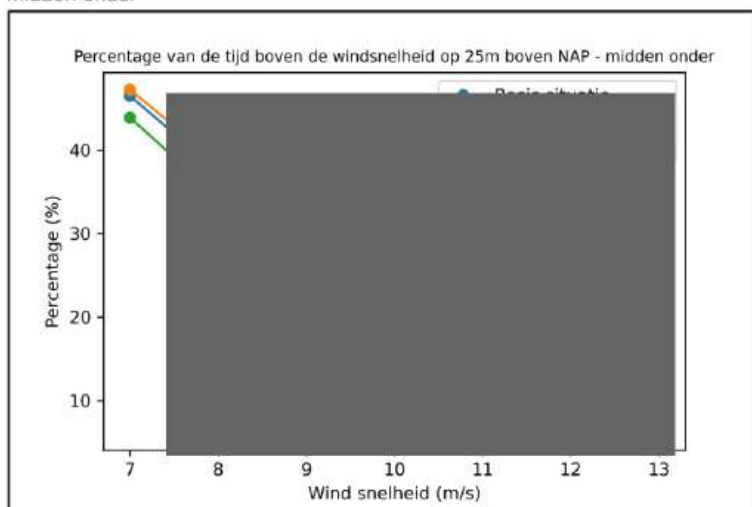
De huidige duin heeft een hoogte van maximaal 20 meter boven NAP en het maaiveld is op 5 meter boven NAP. In alle situaties is tevens een windbreker aan de noordzijde gemodelleerd.

De resultaten van deze studie laten zien dat verhoging van de duin een afname in de gemiddelde windsnelheid op de Energiehaven oplevert. De maximale afname in windsnelheid, vlak ten oosten van de duin, bedraagt 0.4 m/s. Verder naar het oosten, aan de rand van de Energiehaven, is de afname nog 0.1 m/s.

Het effect van de huidige duin op de verdeling in windrichtingen is duidelijk te zien in de resulterende windrozen, met name weer dicht bij de duin. De verhoging van de duin heeft een klein maar aantoonbaar effect op de verdeling in windrichtingen. De (verhoogde) duin houdt wind uit de westelijke richting gedeeltelijk tegen, waardoor de zuidwestelijke windrichtingen relatief vaker voorkomen. Het effect van de verandering in windrichting op de werkcondities is niet onderzocht.

Met als doel het effect van de duinverhoging op het voorkomen van hoge windsnelheden te onderzoeken, is voor een aantal posities in de Energiehaven berekend hoeveel procent van de tijd een bepaalde windsnelheid voorkomt. De grafiek hiervan voor een positie aan de kade in het midden van de Energiehaven is te zien in Figuur 1.1. Hierin is de drempelwaarde van de windsnelheid geplot tegen het percentage van de tijd dat die windsnelheid voorkomt, op 25 meter boven NAP. Het effect van de verhoging van de duin is te zien door het verschil in de blauwe en de groene lijn. Dit laat zien dat met verhoging van de duin, er minder vaak hoge windsnelheden voorkomen, wat een positief effect heeft op de werkbare omstandigheden.

Figuur 1.1 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 25 meter boven NAP – positie midden onder



Om een indicatie te geven van het effect van de verhoging van de duin op het aantal werkbare dagen in de Energiehaven, zijn de toename in het aantal werkbare dagen door verhoging van de duin, en afname door verwijdering van de huidige duin bepaald. Hiervoor is een dag als werkbaar gedefinieerd wanneer de windsnelheid lager is dan 8 m/s (windkracht 5). Het aantal werkbare dagen en de toename door verhoging van de duin is vervolgens berekend op 15 meter en 25 meter boven NAP. Deze resultaten zijn te vinden in de onderstaande tabellen.

Tabel 1 Aantal werkbare dagen en de toename daarvan door verhoging van de duin op de drie posities

Hoogte	Dicht bij het smalle deel van de duin (positie 1)		Ver van de duin af (positie 2)		Dichtbij het brede deel van de duin (positie 3)	
	Aantal werkbare dagen	Toename door verhoging van de duin	Aantal werkbare dagen	Toename door verhoging van de duin	Aantal werkbare dagen	Toename door verhoging van de duin
15 m boven NAP	350	1	297	1	338	2
25 m boven NAP	275	33	262	7	310	20

Tabel 2 Aantal werkbare dagen en de afname daarvan door verwijdering van de huidige duin op de drie posities

Hoogte	Positie 1		Positie 2		Positie 3	
	Aantal werkbare dagen met huidige duin	Afname door verwijdering duin	Aantal werkbare dagen met huidige duin	Afname door verwijdering duin	Aantal werkbare dagen met huidige duin	Afname door verwijdering duin
15 m boven NAP	350	48	297	7	338	14
25 m boven NAP	275	37	262	2	310	19

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding en doel studie	4
1.2	Beschrijving locatie	5
2	Opzet modellering	6
2.1	ASPIRE uitgelegd	6
2.2	Inputgegevens: hoogte- en ruwheidskaarten & wind data	6
2.3	Simulatietijd	6
2.4	Modelkeuzes	7
3	Analyse effecten op de wind	7
3.1	Windsnelheid	8
3.2	Turbulentie intensiteit	15
3.3	Windverdeling	18
4	Werkbare dagen	20
4.1	Indicatie toename werkbare dagen	21
5	Conclusie	23

Appendix I Dimensionering

Appendix II Aanvullende resultaten

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel studie

De Provincie Noord-Holland, gemeente Velsen, samen met Port of Amsterdam en Zeehaven IJmuiden (hierna: 'Klant') is bezig met het ontwikkelen van het project Energiehaven. Het project Energiehaven is gevestigd op de locatie van de huidige Averijhaven in IJmuiden. De Averijhaven werd tot 2021 ontwikkeld tot de Energiehaven, die zal worden ingezet voor de opslag van windturbineonderdelen. Aan de westzijde van de Energiehaven wordt de verhoging van een bestaande duin voorzien. Deze toekomstige situatie, de Energiehaven en de verhoogde duin, is gevisualiseerd in Figuur 1.1. In een vorig project van Pondera voor de Klant is het effect van de verhoging van de duin op de productie van de windturbines van windpark Reyndersweg bepaald. Hieruit bleek een geringe toename van de productie van windenergie door het verhogen van de duin.

Figuur 1.1 Grafische weergave Energiehaven met de verhoogde duin (opgehoogd tot 30 m boven NAP)



In deze studie wordt het effect van de verhoogde duin op de werkomstandigheden in de Energiehaven onderzocht. De verhoogde duin kan de lokale windsnelheden of turbulentie beïnvloeden, wat impact kan hebben op de beoogde on-site activiteiten in de Energiehaven, zoals hijsoperaties en opslag van windturbineonderdelen. Verder gaat Tata Steel een windbreker (18 m boven NAP) aan de noordkant van de Energiehaven plaatsen. Deze windbreker staat dichtbij de windturbines en de Energiehaven en kan daarom ook invloed hebben op het windklimaat rondom het gebied. Het doel van deze studie is om te bepalen of de verhoogde duin (30 m boven NAP) de Energiehaven kan beschermen tegen verschillende windcondities. De basissituatie bestaat voor deze studie uit de situatie met de huidige duin en de windbreker van Tata Steel.

Deze studie vergelijkt drie situaties met elkaar:

- Situatie 1: (basis situatie): de huidige situatie
- Situatie 2: zonder de huidige duin
- Situatie 3: met duin verhoogd tot 30 meter boven NAP

De huidige duin heeft een hoogte van maximaal 20 meter boven NAP en het maaiveld is op 5 meter boven NAP. De hoogtes in de drie situaties zijn allemaal gebaseerd op het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN3). Dit geldt niet voor de huidige en de verhoogde duin, die zijn gemodelleerd. In alle situaties is tevens een windbreker aan de noordzijde gemodelleerd.

De resultaten zullen hoofdzakelijk gerapporteerd worden op 15 meter boven NAP. Waar aangegeven zullen resultaten op andere hoogtes toegevoegd worden aan de appendix. Aangezien de windbreker is toegevoegd aan alle drie de situaties, is het niet mogelijk om directe conclusies te trekken over het effect ervan. De mogelijke effecten van de windbreker op het windklimaat van de Energiehaven zijn echter wel impliciet aanwezig in de resultaten.

1.2 Beschrijving locatie

De Averijhaven ligt ten noordwesten van IJmuiden en ten zuiden van Wijk aan Zee. Een kaart van het onderzoeksdomain (later uitgelegd in paragraaf 2) is weergegeven in Figuur 1.2 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**, waar ook de locatie van de duin is weergegeven. In de huidige situatie bestaat de Averijhaven uit het waterbassin, dat wordt ingesloten door een duin in het zuiden en een duin in het westen. In het project Energiehaven wordt de bestaande duin weggehaald en de overgebleven staalslakken van de duin worden gebruikt om de duin te verhogen.

Het windpark Reyndersweg bestaat uit drie Vestas V90-windturbines met een rotordiameter van 90 meter en 80 meter ashoogte. Het nominale vermogen is 3.0 MW, waarmee het gehele windpark een vermogen van 9.0 MW heeft. Het windpark is operationeel sinds oktober 2011. Ten noorden van windpark Reyndersweg staat windpark Ferrum, dat operationeel is sinds maart 2020. Deze windparken zullen in de huidige studie niet meegenomen worden, omdat alleen het effect van de verhoogde duin en de windbreker op het gebied Energiehaven onderzocht zal worden.

Figuur 1.2 Situatieschets van de Energiehaven met de duin en windbreker



2 Opzet modellering

Dit hoofdstuk beschrijft de wijze waarop de wind wordt gemodelleerd, welke gegevens hiervoor zijn gebruikt en welke modelkeuzes hieraan ten grondslag liggen. Het hoofdstuk vormt de basis voor de analyse die in de rest van dit rapport wordt behandeld.

2.1 ASPIRE uitgelegd

Om de impact van de duin in te schatten is ervoor gekozen om het Atmospheric Simulation Platform for Research and Education, oftewel ASPIRE (voorheen GRASP), in te zetten. ASPIRE is een Large Eddy Simulation (LES)-model, een wiskundig model om stromingsvergelijkingen op nauwkeurige schaal te berekenen. Het model is ontwikkeld door Whiffle en houdt rekening met bekende verschijnselen zoals zog- en blockage-effecten, land-zee-interactie, impact van gebouwen, vegetatie en golven. Ten opzichte van conventionele stromingsmodellen kan een LES-model de interactie tussen windpark en atmosferische grenslaag simuleren, wat ervoor zorgt dat de zogeffecten van zowel windturbines alsook woningen, industrie en overige objecten beter worden gemodelleerd.

Omdat de duin en de windbreker in de Energiehaven zeer lokaal invloed hebben op het windklimaat, is het van belang om een model te selecteren die de wind in een 3D-domein nauwkeurig kan berekenen. Om deze reden is ervoor gekozen om ASPIRE te gebruiken. Daarnaast is ASPIRE in staat om wind- en turbulentievelden te genereren over het gehele geselecteerde domein, wat extra inzichten geeft in het gedrag van de wind op de Energiehaven.

2.2 Inputgegevens: hoogte- en ruwheidskaarten & wind data

Hoogteverschillen in het gebied op en rondom de Energiehaven zijn een van de factoren die invloed kunnen hebben op de windsnelheid in het gebied. Het Actueel Hoogtebestand Nederland 3 (hierna: AHN3) is gebruikt om deze hoogteverschillen te modelleren. De resolutie van deze kaart is 0.5x0.5 m. De grootte van de kaart is gekoppeld aan de domeingrootte van ASPIRE.

Verder wordt de omgevingsruwheid gemodelleerd in ASPIRE. Ruwheid zorgt voor vermindering van de windsnelheid als gevolg van wrijving met het aardoppervlak. Dit wordt uitgedrukt in de ruwheidslengte van het terrein; dit is één van de parameters die het verticale windprofiel bepaalt. De ruwheidskaart is gebaseerd op de online dataset 'ESA worldcover 2021 met een resolutie van 50x50m. De grootte van de ruwheidskaart is net als de hoogtekaart gekoppeld aan de domeingrootte van ASPIRE.

Tevens zijn er wind data nodig om ASPIRE de simulatie te laten draaien. Hiervoor zijn verschillende datapunten uit de ERA5 Rectangular grid gebruikt, een dataset die uurgemiddelde waarden van de windsnelheid en windrichting bevat. ERA5 heeft een resolutie van ongeveer 27,8x27,8 km en is over de hele wereld beschikbaar. ERA5 is een veelgebruikte dataset bij windmodelleringen en energieopbrengststudies.

2.3 Simulatietijd

Om de simulatietijd te minimaliseren, zijn er 30 dagen gesimuleerd. Hiervoor zijn 30 dagen gekozen die gezamenlijk een representatief windklimaat vormen voor de lange termijn. Deze dagen worden voldoende

representatief geacht om het windklimaat te beschrijven, maar de resultaten kunnen niet direct vertaald worden naar een lange termijn windklimaat.

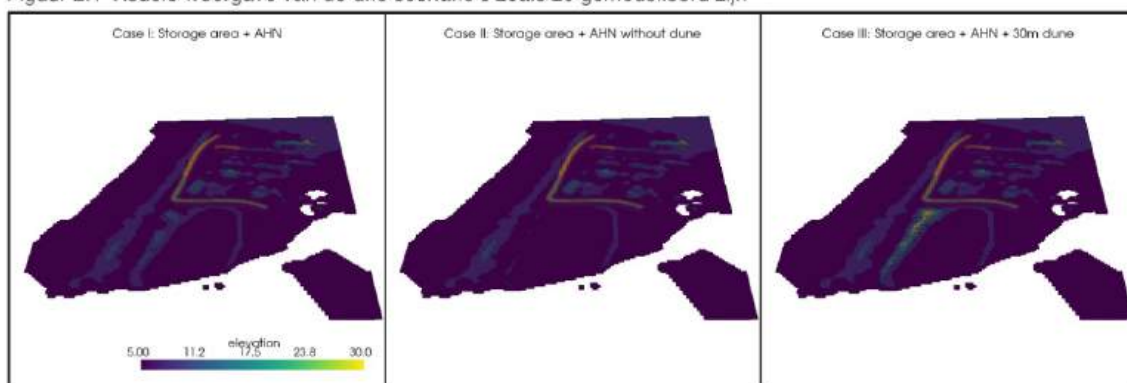
De resultaten worden opgeslagen in virtuele meetmasten. Dit zijn vooraf aangegeven punten in het domein van de simulatie die dienen als meetmast en op de aangegeven locatie per 10 minuten de waarden van de variabelen (windsnelheid, windrichting etc.) opslaan. De analyse van de windvelden is op basis van een resolutie van 1 uur.

2.4 Modelkeuzes

Om de drie scenario's te kunnen simuleren met ASPIRE, zijn de verhoogde duin en de windbreker gemodelleerd door Whiffle. Voor een eerder project voor de Klant was de duin al gemodelleerd, dus voor het huidige project is hier een model van de windbreker bij gekomen. De grafische weergave van de drie situaties zoals beschreven in sectie 1.1 zijn te zien in Figuur 2.1.

Hierin is aan de noordzijde de windbreker te zien in oranje tinten. De windbreker is dus aanwezig in alle drie de simulaties. Aan de westzijde is voor situatie 1 en 3 de duin te zien in groen/gele tinten. In situatie 3 is de duin verhoogd, wat te zien is in het linker model. Hier is ook te zien dat de duin iets hoger en breder is aan de noordkant. In situatie 2 is de huidige duin weggehaald, en hier is in het model dan ook geen hoogteverschil aan de westkant van de Energiehaven.

Figuur 2.1 Visuele weergave van de drie scenario's zoals ze gemodelleerd zijn



3 Analyse effecten op de wind

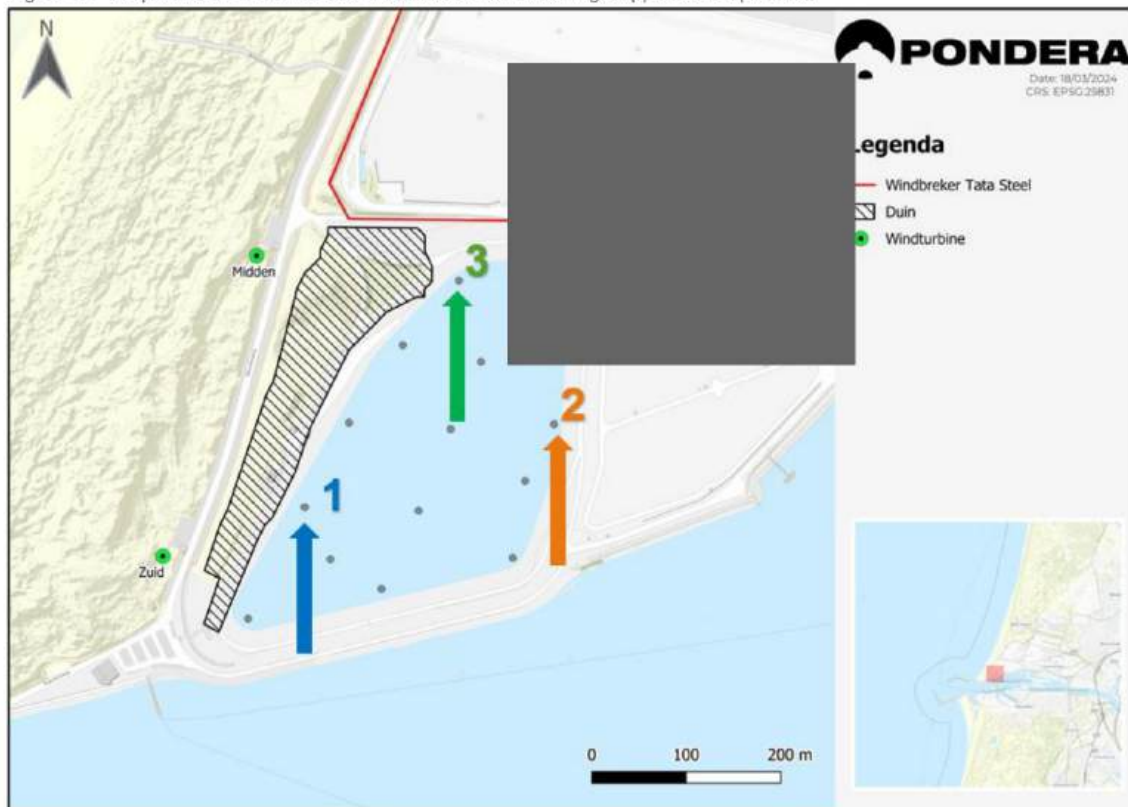
De impact van de verhoogde duin en de windbreker op de Energiehaven wordt inzichtelijk gemaakt door de verschillen in windsnelheid en turbulentie-intensiteit (verdere uitleg over turbulentie-intensiteit volgt in sectie 3.2) in kaart te brengen. Deze analyse is gebaseerd op de verschillen in de ASPIRE-simulaties van de basis situatie (gebaseerd op de AHN3-kaart) met de windbreker en situatie 2 en 3 zoals beschreven in sectie 1.1.

Om de effecten van de verhoogde duin en de windbreker op de Energiehaven inzichtelijk te maken, is ervoor gekozen om te rapporteren op 15 m boven NAP. Alle gepresenteerde datafiguren in dit rapport betreffen dus de resultaten op 15 meter boven NAP, tenzij anders vermeld. Deze hoogte is gekozen omdat dit de verwachte hoogte is waarop de meeste handelingen zullen plaatsvinden in de Energiehaven. Verder zijn alle hoogtes die genoemd worden in dit rapport ten opzichte van NAP. Daarnaast zijn er drie virtuele meetmasten gekozen waarvan de resultaten zijn geanalyseerd. Dit zijn de volgende drie posities, ook te zien in Figuur 3.1:

- Positie 1: dicht bij het smalle gedeelte van de duin
- Positie 2: relatief ver van de duin
- Positie 3: dicht bij het brede gedeelte van de duin

Deze drie posities zijn gekozen om het effect van de duin over het hele gebied inzichtelijk te krijgen, dus zowel dicht bij de duin als er ver van af. In de rest van de rapportage zullen posities aangeduid worden als 'positie 1' etc.

Figuur 3.1 De posities van de virtuele meetmasten en de drie gerapporteerde posities



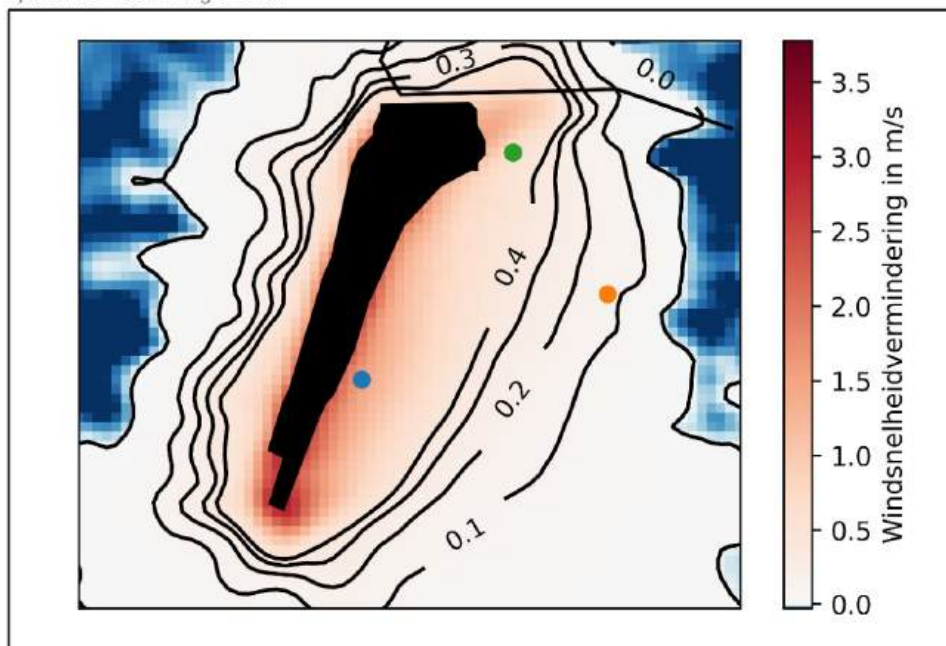
3.1 Windsnelheid

Om het effect van de verhoogde duin op de gemiddelde windsnelheid in de Energiehaven inzichtelijk te krijgen, zijn de verschillen in windsnelheid tussen de situaties gevisualiseerd. In Figuur 3.2 is het verschil in windsnelheid tussen de basissituatie (situatie 1) en de situatie zonder duin (situatie 2) weergegeven en in Figuur 3.3 is het verschil met de situatie met verhoogde duin (situatie 3) weergegeven. De kleurenschaal rechts geeft de waarden aan in eenheden m/s. Blauwe tinten geven een vermindering in windsnelheid vergeleken met de basissituatie aan en rode tinten een toename in windsnelheid. Verder zijn in beide figuren de contouren van de duin en de windbreker toegevoegd, evenals de locaties van posities 1, 2 en 3 zoals aangegeven in Figuur 3.1. De gemiddelde windsnelheden die genoteerd worden, zijn gemiddeld over alle windrichtingen.

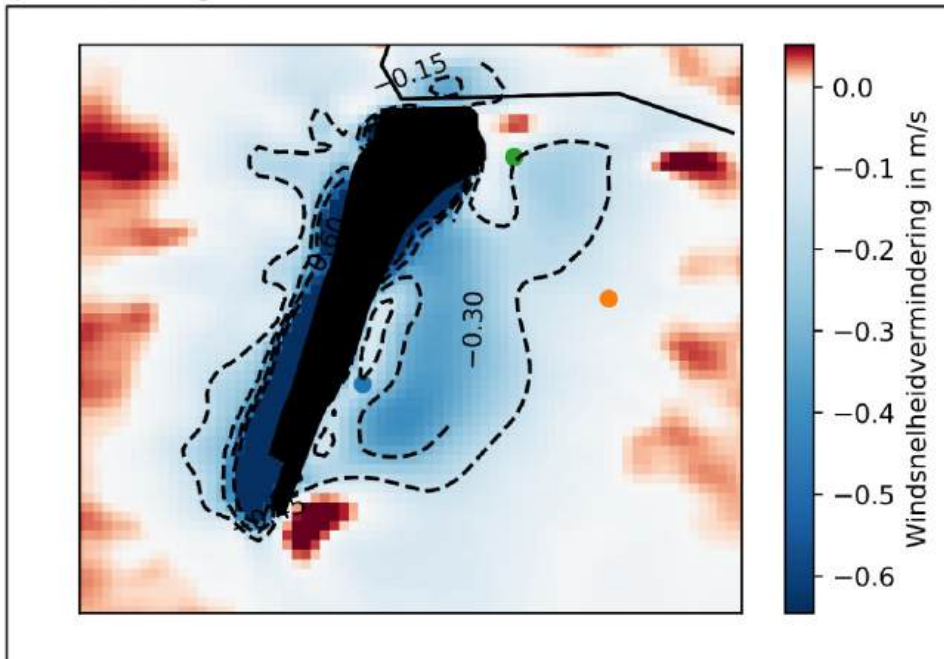
In Figuur 3.2 is te zien dat in de situatie zonder de huidige duin, de windsnelheid over de hele Energiehaven toeneemt. Het effect is het significantste dicht bij de locatie van de huidige duin, waar de windsnelheid op positie 1 met 1.5 m/s toeneemt. De toename in windsnelheid neemt geleidelijk af verder van de duin, waar op positie 2 de toename nog 0.1 m/s is.

In Figuur 3.2 is te zien dat de gemiddelde windsnelheid afneemt over het gebied wanneer de duin verhoogd wordt ten opzichte van de huidige duin. Op positie 1 en 2 gaat dit om een afname van 0.1 m/s en op positie 3 om 0.2 m/s. Hier is dus duidelijk te zien dat verhoging van de duin zorgt voor een algehele afname in windsnelheid over het gebied.

Figuur 3.2 Het verschil in windsnelheid tussen de basissituatie (situatie 1) en de situatie zonder de huidige duin (situatie 2) over de hele Energiehaven

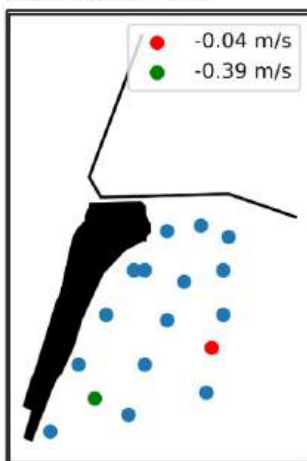


Figuur 3.3 Het verschil in windsnelheid tussen de basissituatie (situatie 1) en de situatie met de verhoogde duin (situatie 3) over de hele Energiehaven



De virtuele meetmast waarbij de gemiddelde windsnelheid het meest afneemt door verhoging van de duin staat linksonder en dicht bij de duin, aangegeven met groen in Figuur 3.4. De kleinste afname is te zien helemaal rechts in de Energiehaven en is aangegeven met rood in Figuur 3.4. Ook hieruit is het dus duidelijk dat verhoging van de duin voornamelijk effect heeft op de gemiddelde windsnelheid dicht bij de duin.

Figuur 3.4 Vereenvoudigde weergave van de locaties waar de grootste en kleinste afname in windsnelheid zijn gemeten tussen situatie 1 en 3

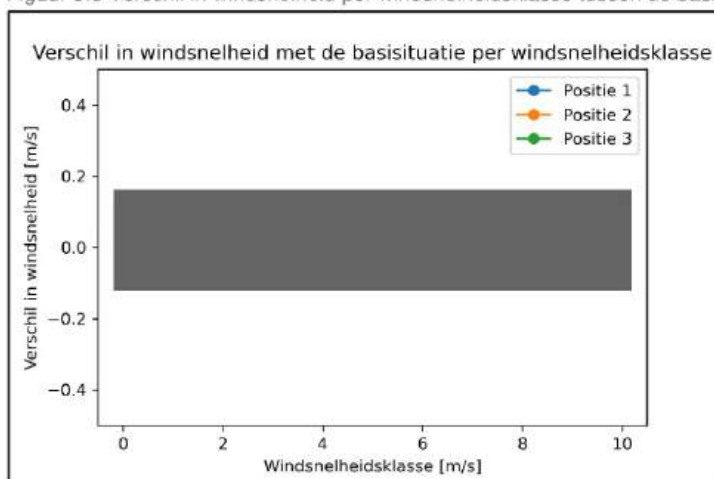


Naast de gemiddelde windsnelheden over het hele veld, is er gekeken naar de verandering in windsnelheid per windsnelheidsklasse. Hiervoor zijn de windsnelheden per positie verdeeld in windsnelheidsklassen van 1 m/s.

Vervolgens is het verschil berekend tussen de basissituatie en de situatie met de verhoogde duin van de gemiddelde windsnelheid per bin. Het resultaat hiervan is te zien in

Figuur 3.5. Hierin is geen significant verschil (opgevat als een verschil van < 0.5 m/s) te zien tussen de verschillende windsnelheidsklassen, wat betekent dat de verschillen in windsnelheden tussen de basissituatie en de situatie met verhoogde duin niet afhankelijk zijn van de hoogte van de windsnelheid.

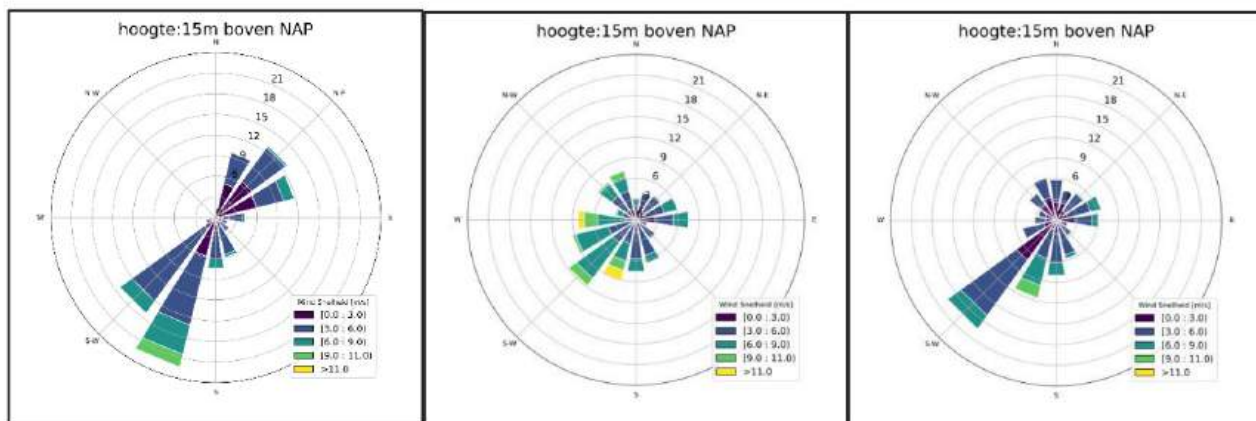
Figuur 3.5 Verschil in windsnelheid per windsnelheidsklasse tussen de basissituatie en de situatie met verhoogde duin



3.1.1 Windrichting

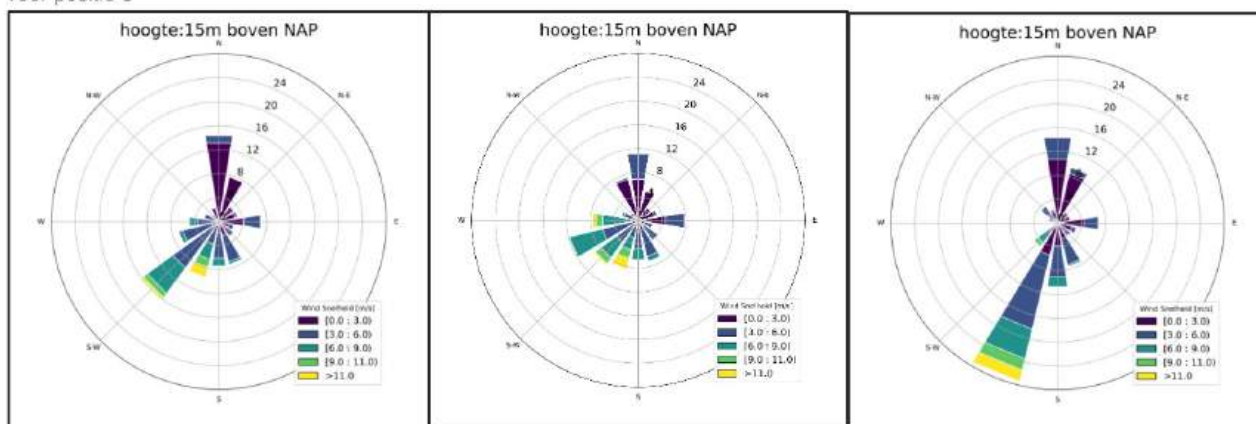
Niet alleen de windsnelheden veranderen door verandering in de hoogte van de duin, ook de (dominante) windrichtingen veranderen. In Figuur 3.6 zijn de windrozen voor positie 1 te zien. Deze windrozen laten zien uit welke richting de wind voornamelijk komt. De linker subfiguur is de windroos voor de basissituatie. De dominante windrichting op positie 1 voor de basissituatie is ZZW omdat de huidige duin de wind uit het westen tegenhoudt. In de middelste subfiguur is de windroos voor de situatie zonder duin afgebeeld, waar te zien is dat de wind gelijker verdeeld is over alle windrichtingen. Het effect van de huidige duin is dus al te zien in de windroos voor de basissituatie. De windroos voor de situatie met de verhoogde duin, de rechter subfiguur, komt grotendeels overeen met die van de basissituatie. Wel is te zien dat de dominante windrichting verschoven is naar het zuidwesten. Verhoging van de duin houdt dus een deel van de wind uit ZZW tegen. Dit geeft aan dat verhoging van de duin een licht effect heeft op de windrichtingen op 15 m boven NAP dicht bij het smalle gedeelte van de duin.

Figuur 3.6 De windrozen voor de basissituatie (links), de situatie zonder huidige duin (midden) en de situatie met verhoogde duin (rechts) voor positie 1



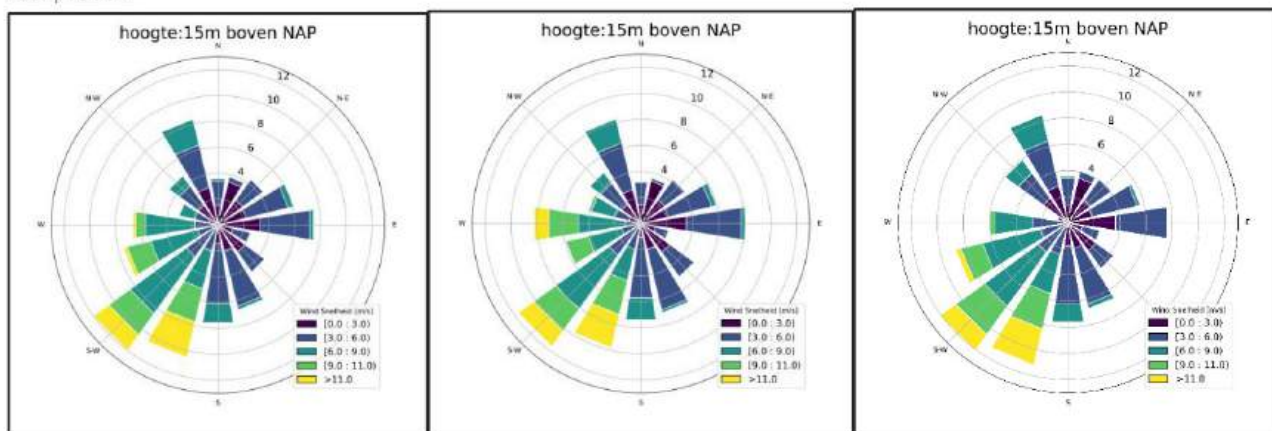
In Figuur 3.7, op positie 3, is het effect van de verhoging van de duin duidelijker te zien. De windroos bij verhoging van de duin heeft ZZW als dominante windrichting, waar de huidige situatie ZW de dominante windrichting is. In dit geval zorgt de duin ervoor dat de wind uit de westelijke richtingen om de duin heen geleid wordt, resulterend in een dominante windrichting vanuit ZZW. Voor de situatie zonder de huidige duin zijn de windrichtingen wederom gelijk verdeeld.

Figuur 3.7 De windrozen voor de basissituatie, de situatie zonder de huidige duin en de situatie met verhoogde duin voor positie 3



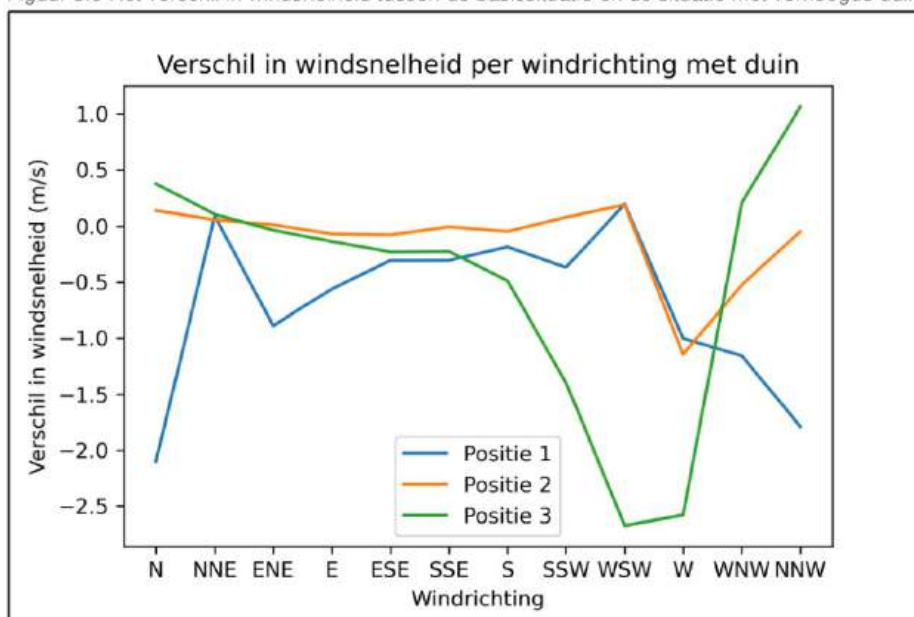
Verder weg van de duin, op positie 2, is geen significant effect van de (verhoogde) duin te zien in de verdeling van de windrichtingen. Dit resulteert in drie windrozen die grotendeels overeenkomen voor de drie situaties op positie 2, wat te zien is in Figuur 3.8.

Figuur 3.8 De windrozen voor de basissituatie, de situatie zonder de huidige duin en de situatie met verhoogde duin voor positie 2



De windrozen laten zien hoe vaak een bepaalde windrichting voorkomt, maar om te bepalen of het verhogen van de duin effect heeft op het aantal werkbare dagen, is het voornamelijk interessant om te kijken naar af- en toenames in de gemiddelde windsnelheid. Figuur 3.9 laat het verschil in gemiddelde windsnelheid tussen de basissituatie en de situatie met de verhoogde duin per windrichting zien. Hierin is te zien dat er met name voor positie 3 een grote afname in windsnelheid is voor de windrichtingen W en WZW. Dit komt ook terug in de windroos in Figuur 3.7, waarin te zien is dat er met een verhoogde duin minder vaak wind komt uit deze windrichtingen, waarbij de windsnelheden die uit deze richting komen ook lager zijn voor deze situatie. Dit zorgt dus voor een afname in de gemiddelde windsnelheid vergeleken met de basissituatie. Voor positie 2 is te zien dat, ook al zijn de windrozen voor deze positie redelijk gelijk, er een afname van 1.0 m/s is van de gemiddelde windsnelheid uit de westelijke richting. Dit suggereert dat verhoging van de duin, ook ver weg van de duin, de wind uit westelijke richting gedeeltelijk afremt.

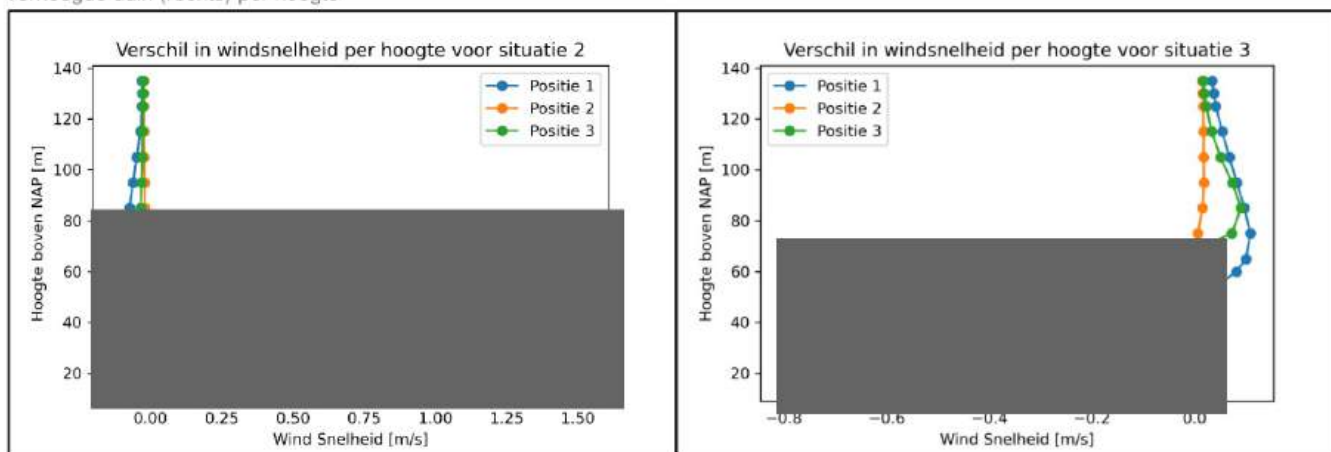
Figuur 3.9 Het verschil in windsnelheid tussen de basissituatie en de situatie met verhoogde duin per windrichting



3.1.2 Verticaal windprofiel

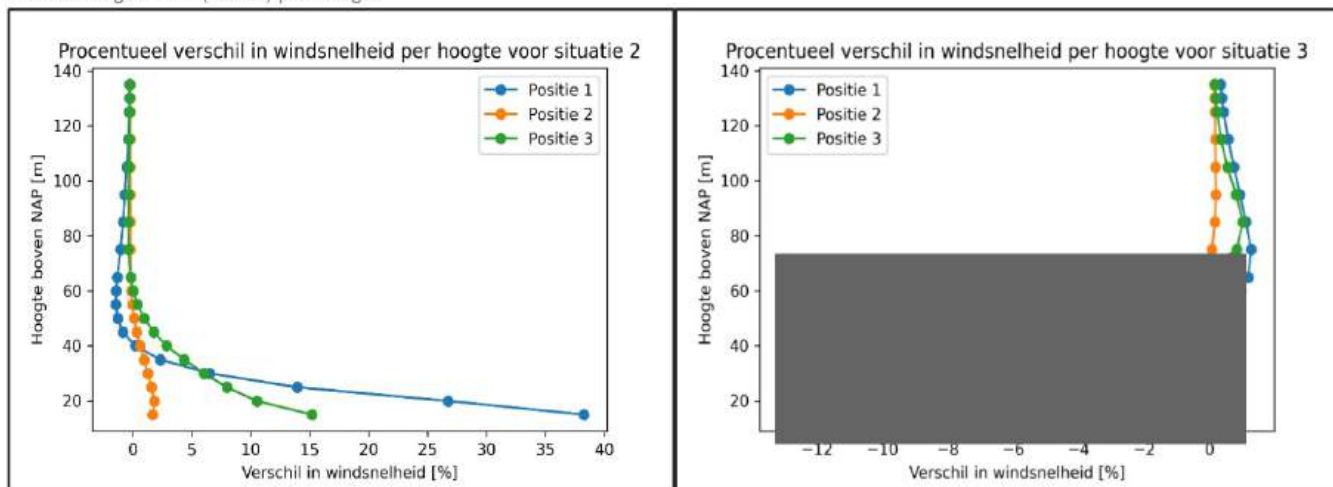
Het verticale windprofiel is geanalyseerd omdat op de Energiehaven waarschijnlijk (kraan)machines zullen worden gebruikt die meer dan 15 meter boven NAP reiken. Grote verschillen in windsnelheden op hogere hoogtes zouden dus effect kunnen hebben op het aantal werkbare dagen in de Energiehaven. De verticale windprofielen zijn te zien in Figuur 3.10. Hierin is te zien dat voor de situatie zonder de huidige duin (situatie 2), de windsnelheid op lage hoogtes toeneemt, vooral op positie 1. Dit zal komen door de afwezigheid van de huidige duin die anders de windsnelheid verlaagt op hoogtes vergelijkbaar met de hoogte van de duin.

Figuur 3.10 Het verschil in windsnelheid met de basissituatie voor de situatie zonder huidige duin (links) en met verhoogde duin (rechts) per hoogte



Vanaf ongeveer 60 m zijn de verschillen in windsnelheid rond de 0 m/s. Voor de situatie met de verhoogde duin (situatie 3) is te zien dat op lage hoogtes de windsnelheid afneemt op positie 1 en 3, met een uitschieter in afname op 25 m op positie 1. Dit is weer te verklaren door de verhoogde duin, die nu de windsnelheid aanzienlijk verlaagt op hoogtes vergelijkbaar met de hoogte van de duin, wat in dit geval 30 meter boven NAP is. Ook voor deze situatie zijn de verschillen in windsnelheid verwaarloosbaar vanaf ongeveer 60 m. Om deze effecten nog inzichtelijker te maken is in Figuur 3.11 het procentuele verschil in windsnelheid per hoogte geplot. Hierin is duidelijker te zien dat vanaf ongeveer 40 m voor situatie 2 en 60 m voor situatie 3 de verschillen in windsnelheid rond de 0% liggen.

Figuur 3.11 Het procentuele verschil in windsnelheid met de basissituatie voor de situatie zonder huidige duin (links) en met verhoogde duin (rechts) per hoogte



Uit Figuur 3.10 en Figuur 3.11 is dus af te leiden dat de (verhoogde) duin nog effect heeft op de gemiddelde windsnelheid dicht bij de duin tot 60 meter boven NAP.

3.2 Turbulentie intensiteit

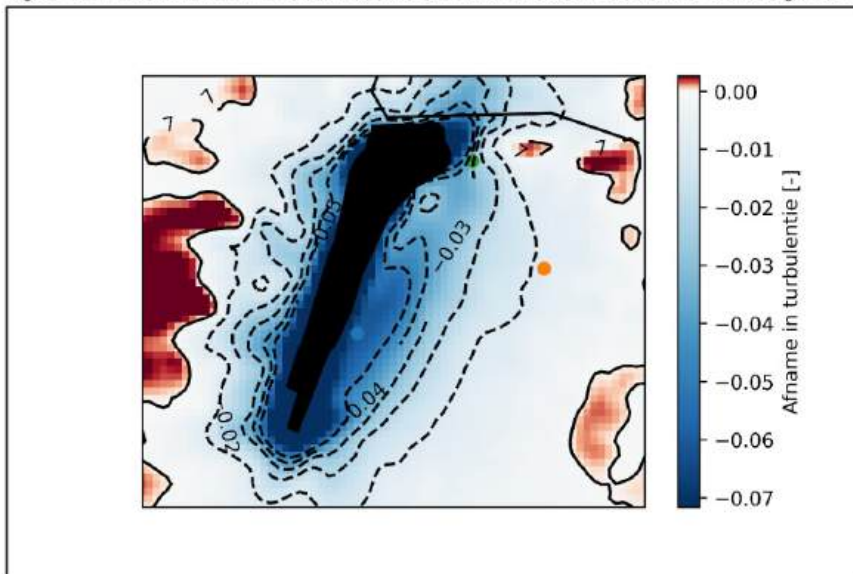
Naast de windsnelheid is er ook gekeken naar de turbulentie intensiteit (TI). TI is gedefinieerd als de standaarddeviatie (maat voor de spreiding van een variabele) gedeeld door de gemiddelde windsnelheid. De TI zegt dus iets over de mate van variabiliteit in de windsnelheid en is een dimensieloos getal. Ter referentie: de gemiddelde TI waarde in de basissituatie over de hele Energiehaven is 0.21. Een hoge turbulentie, dus een hoge variabiliteit in de windsnelheid, kan nadelig zijn voor de werkcondities in de Energiehaven.

3.2.1 Gemiddelde TI waardes

Om de impact die de verhoogde duin op de gemiddelde TI heeft in kaart te brengen, is er net zoals bij de windsnelheid het verschil in TI tussen de huidige situatie en de situaties zonder huidige en met verhoogde duin berekend. Blauwe tinten geven een afname aan en rode tinten geven een toename aan.

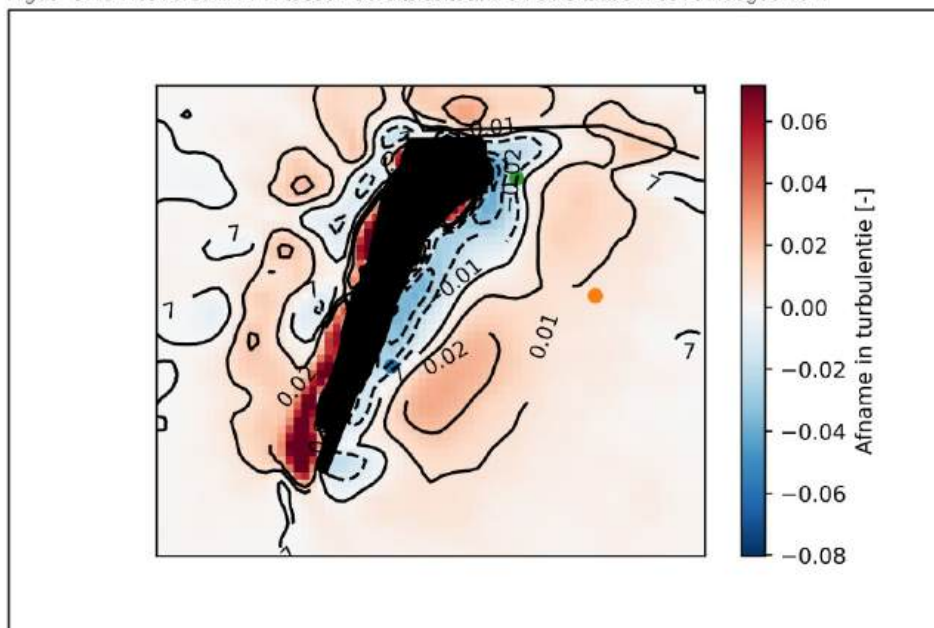
In Figuur 3.12 is te zien dat de TI gemiddeld afneemt over de Energiehaven wanneer de huidige duin er niet staat. Op positie 1 is dit een afname van 0.06, wat een procentuele afname van 18% is. Op positie 3 is de afname in TI nog 0.03 en op positie 2 is er geen verschil meer in de TI waardes. Dit betekent dus dat de huidige duin een verhoogde TI veroorzaakt dicht bij de duin. Echter, dit verschil neemt snel af en is verder weg bij de duin niet meer significant.

Figuur 3.12 Het verschil in TI tussen de basissituatie en de situatie zonder de huidige duin



Het effect van de duin op de TI is ook terug te zien in het verschil in TI voor de situatie met de verhoogde duin in Figuur 3.13. Hierin is te zien dat de TI licht toeneemt over het gebied van de Energiehaven. Op positie 1 neemt de TI echter nog af met 0.02. Een stukje verder van de duin neemt de TI wel licht toe met 0.02 in het midden van het de Energiehaven en 0.01 op positie 2. Een verhoging van de duin levert dus een lichte afname in TI op heel dicht bij de duin, en een lichte verhoging in TI wat verder van de duin af.

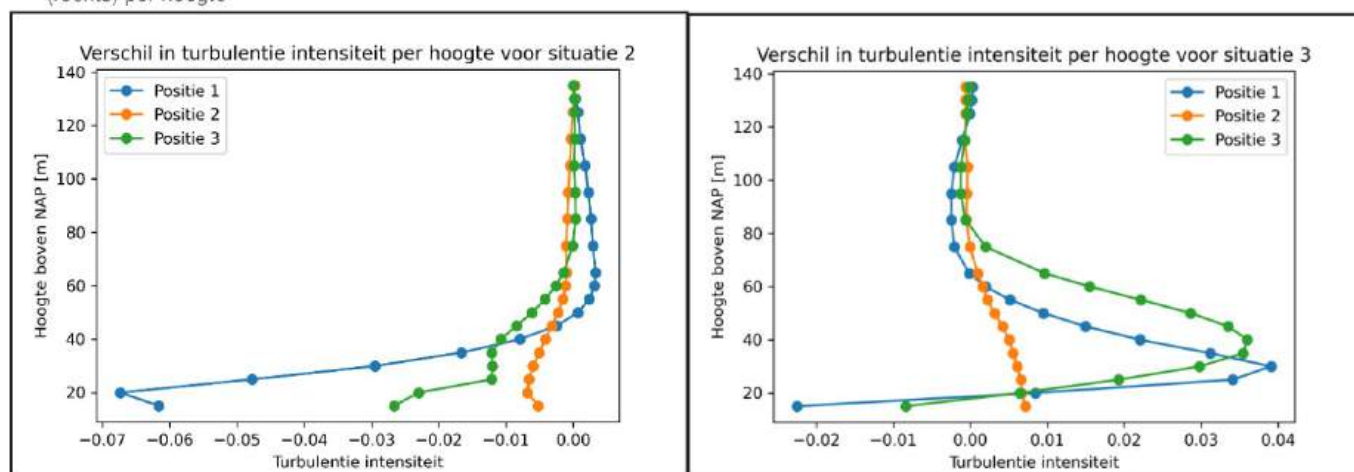
Figuur 3.13 Het verschil in TI tussen de basissituatie en de situatie met verhoogde duin



3.2.2 Verticaal TI profiel

Net als voor de windsnelheid, is ook voor de TI het verticale profiel geplot. Deze profielen zijn te zien in Figuur 3.14. Hierin is voor de situatie zonder de huidige duin weer de afname in TI op voornamelijk positie 1 te zien. Voor de situatie met verhoogde duin valt op dat er op 30 meter een piek in toename in TI is op positie 1. Dit is op dezelfde hoogte als de verhoogde duin. De piek in toename in TI ligt voor positie 3 iets hoger, rond de 40 meter. Dit is te verklaren door het feit dat de duin op deze positie ook iets hoger is dan op positie 1.

Figuur 3.14 Het verschil in TI met de basissituatie voor de situatie zonder huidige duin (links) en met verhoogde duin (rechts) per hoogte



3.3 Windverdeling

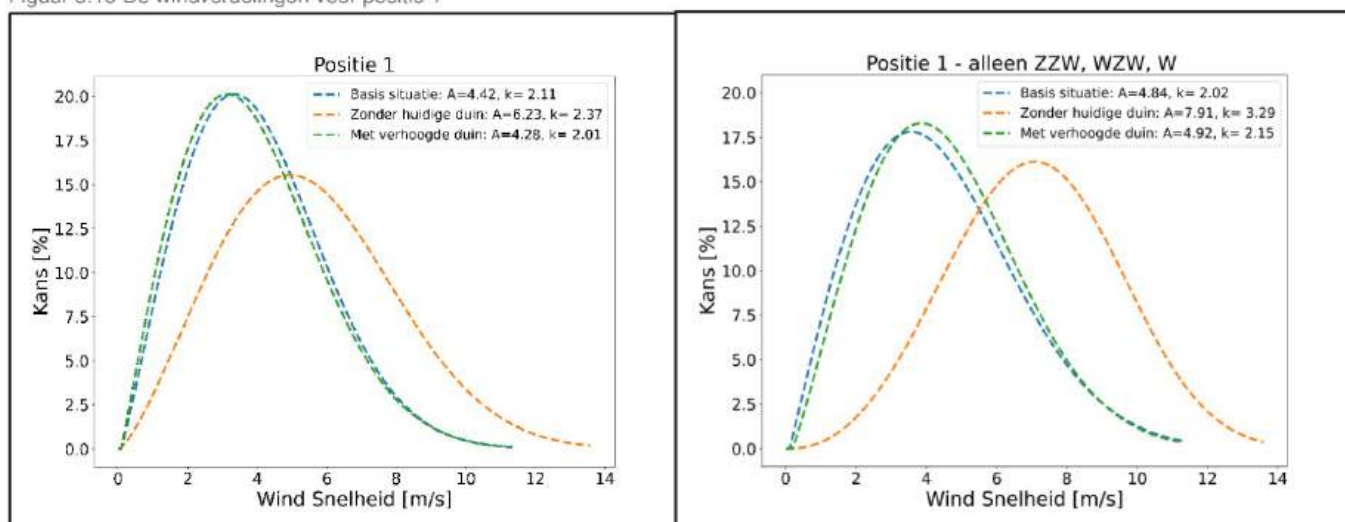
Naast de gemiddelde windsnelheden en -richtingen, verandert ook de verdeling van de windsnelheden door het verhogen van de duin. Dit wordt duidelijk door een Weibull fit te maken van de windsnelheden per situatie. Een Weibull fit is een statistisch model dat wordt gebruikt om de waarschijnlijkheidsverdeling van de windsnelheden te karakteriseren. Hoe smaller de Weibull fit, hoe meer de windsnelheden gecentreerd zijn rond een bepaalde windsnelheid. Aangezien het voor de werkbare omstandigheden gunstig is als er niet vaak hoge windsnelheden voorkomen, is het gunstig als de windverdeling zoveel mogelijk rond de lage windsnelheden ligt. Dit betekent dat er een lagere kans is op hoge windsnelheden.

3.3.1 Windverdeling fit per positie

De windverdeling voor positie 1 is te zien in Figuur 3.15. Hierin is de windsnelheid uitgezet tegenover de kans dat deze windsnelheid voorkomt. In de linker subfiguur van Figuur 3.15 is dus bijvoorbeeld te zien dat op positie 1, de frequentie van voorkomen van een windsnelheid van 4 m/s rond de 20% ligt voor de basissituatie.

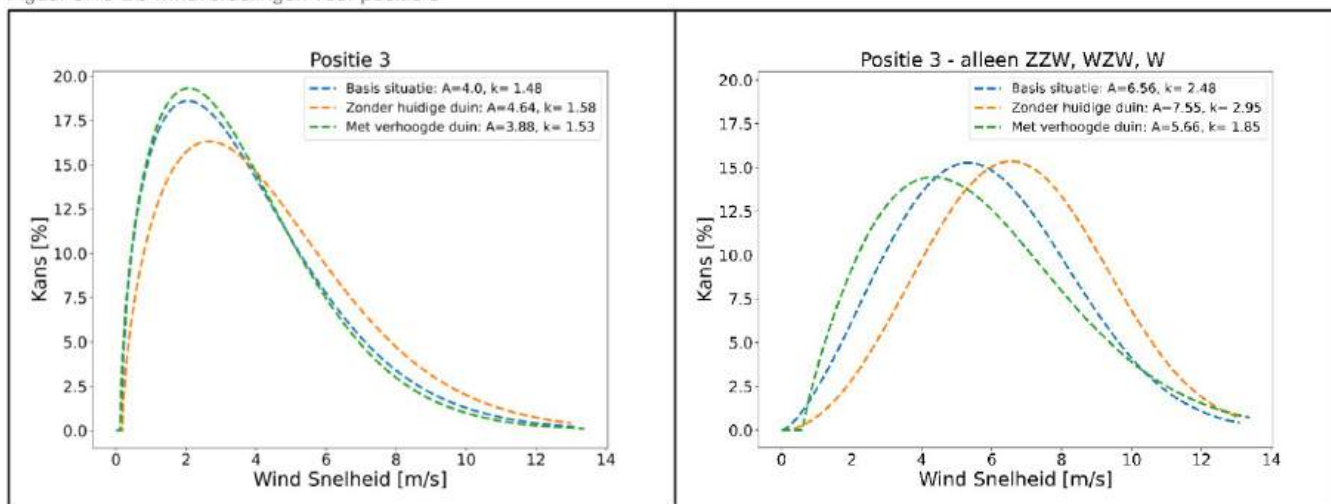
In Figuur 3.15 is een duidelijk effect te zien van de huidige duin ten opzichte van de situatie zonder duin, aangezien de windverdeling voor de situatie zonder huidige duin een stuk is opgeschoven naar de hogere windsnelheden en een stuk breder is. De huidige duin zorgt er dus voor dat hoge windsnelheden minder vaak voorkomen. Dit effect wordt verder versterkt door de verhoging van de duin, maar is een stuk kleiner. Naast een Weibull fit voor alle windrichtingen, is er ook een Weibull fit gemaakt voor de windrichtingen ZZW, WZW en W gecombineerd, omdat dit de windrichtingen zijn waar de duin het meeste effect op heeft. Voor positie 1 is echter geen significant verschil te zien in deze windverdeling. Het effect van de huidige duin is nog steeds duidelijk te zien, maar het verschil tussen de huidige en de verhoogde duin is verwaarloosbaar.

Figuur 3.15 De windverdelingen voor positie 1



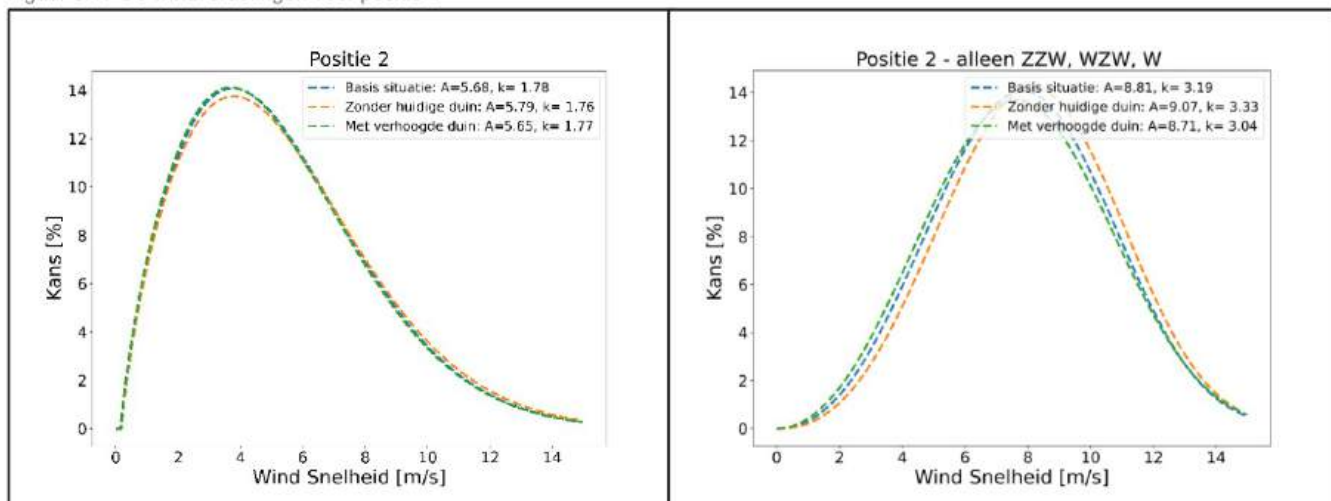
Op positie 3, in Figuur 3.16 De windverdelingen, is het effect van de verhoogde duin duidelijk te zien in de windverdeling van de windrichtingen ZZW, WZW en W gecombineerd. De windverdeling voor de situatie met de verhoogde duin is duidelijk naar links opgeschoven, wat gelijk staat aan vaker lagere windsnelheden.

Figuur 3.16 De windverdelingen voor positie 3



Op positie 2 is het effect van de (verhoogde) duin niet meer terug te zien in de windverdeling, zoals te zien in Figuur 3.17 De windverdelingen. Dit bevestigt dus weer dat het effect van de (verhoogde) duin nauwelijks merkbaar is ver van de duin af.

Figuur 3.17 De windverdelingen voor positie 2

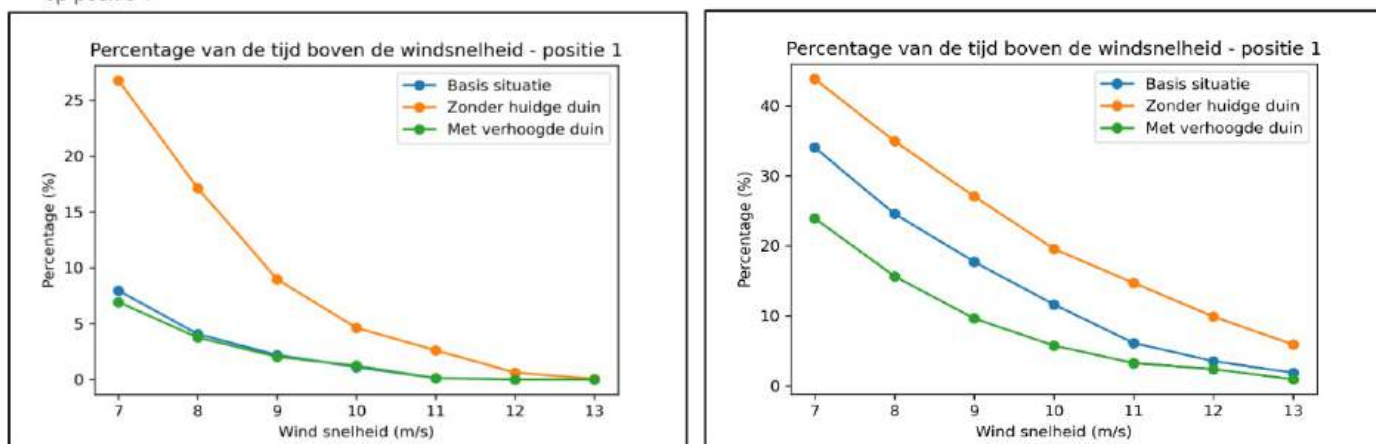


4 Werkbare dagen

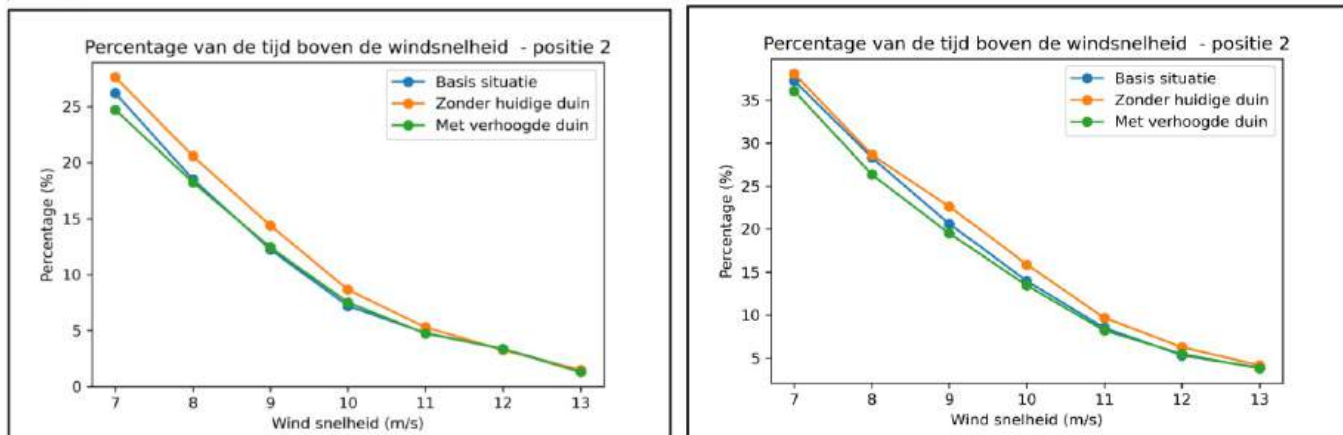
Om het effect van de verhoogde duin te kwantificeren en te linken aan het aantal werkbare dagen, is er ten eerste gekeken naar hoe vaak bepaalde windsnelheden voorkomen in de drie situaties. Dit is gedaan door voor een aantal windsnelheden te berekenen hoeveel procent van de tijd de windsnelheid boven deze waarde ligt. Het effect van de verhoogde duin wordt getoond in de onderstaande figuren, waarin de windsnelheid is geplot tegenover het percentage van de tijd dat die windsnelheid voorkomt. Posities 1,2 en 3 worden getoond in respectievelijk Figuur 4.1, Figuur 4.2 en Figuur 4.3. Het linker figuur is telkens de windsnelheid op 15 m boven NAP en het rechter figuur is op 25 meter boven NAP. Een datapunt op 8 m/s en 5% betekent dat 5% van de tijd de windsnelheid boven 8 m/s is.

In deze figuren is het effect van de verhoging van de duin te zien door te kijken naar het verschil tussen de blauwe lijn (de basissituatie) en de groene lijn (situatie met verhoogde duin). Met name op 25 m boven NAP op positie 1 en 3 komen er minder vaak hoge windsnelheden voor wanneer de duin verhoogd wordt.

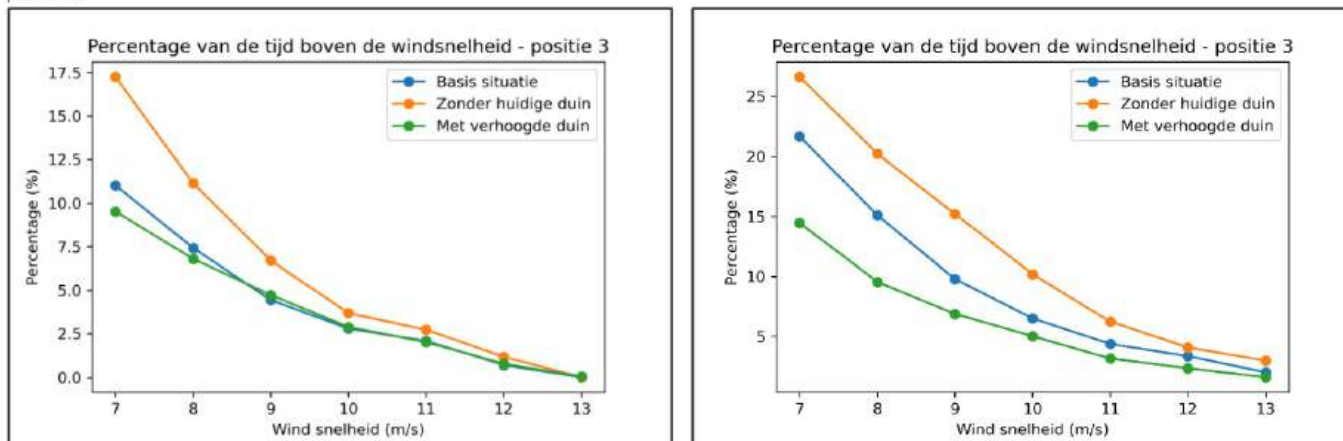
Figuur 4.1 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 15 m (links) en 25 m (rechts) op positie 1



Figuur 4.2 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 15m (links) en 25m (rechts) op positie 2



Figuur 4.3 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 15m (links) en 25m (rechts) op positie 3



Omdat door de Klant is aangegeven dat veel van de werkzaamheden aan de kade plaatsvinden, zijn bovenstaande grafieken ook gemaakt voor de drie posities aan de kade. De resultaten hiervan zijn te vinden in Appendix 2.

4.1 Indicatie toename werkbare dagen

Om te bepalen of het verhogen van de duin zal leiden tot meer werkbare dagen, moet de vermindering in het voorkomen van hoge windsnelheden gelinkt worden aan het aantal werkbare dagen. Dit is gedaan door een dag als werkbaar te definiëren wanneer de windsnelheid lager is dan 8 m/s (windkracht 5). Deze definitie is echter een aanname en is afhankelijk van de werkzaamheden die uitgevoerd moeten worden. Daarnaast is het ook van belang op welke hoogte deze windsnelheid voorkomt voor de verschillende werkzaamheden. De gepresenteerde resultaten zullen dus zeer indicatief zijn, maar kunnen wel een beeld geven van het effect van de verhoging van de duin.

Met deze definitie en de percentages van de figuren uit hoofdstuk Werkbare dagen⁴ is het aantal werkbare dagen per positie bepaald. Op positie 1 komt bijvoorbeeld 4.1% van de tijd een windsnelheid boven de 8 m/s voor. Het aantal werkbare dagen voor deze situatie is dus $(100 - 4.1) / 100 \times 365 = 350$. Zo is dit berekend voor alle posities op 15 en 25 meter. Daarna is hetzelfde berekend voor de situatie met

verhoogde duin om de toename in aantal werkbare dagen te berekenen. De resultaten hiervan zijn te vinden in Tabel 3.

Tabel 3 Aantal werkbare dagen en de toename daarvan door verhoging van de duin op de drie posities

Hoogte	Positie 1		Positie 2		Positie 3	
	Aantal werkbare dagen	Toename door verhoging van de duin	Aantal werkbare dagen	Toename door verhoging van de duin	Aantal werkbare dagen	Toename door verhoging van de duin
15 m boven NAP	350	1	297	1	338	2
25 m boven NAP	275	33	262	7	310	20

Hierin is het effect van de verhoging van de duin vooral te zien op 25 m boven NAP. Op 15 m boven NAP gaat het dicht bij de duin om slechts een toename van 1 of 2 dagen, wat verwaarloosbaar is gezien de indicatieve aard van de berekening. Op 25 m boven NAP is de toename, vooral dicht bij de duin, veel groter. Dit geeft aan dat een verhoging van de duin kan leiden tot een significante toename in het aantal werkbare dagen, mits er een realistische inschatting van de definitie van een werkbare dag is gehanteerd. In Tabel 4 is het aantal werkbare dagen met de huidige duin genoteerd, met de afname door verwijdering van de huidige duin.

Tabel 4 Aantal werkbare dagen en de afname daarvan door verwijdering van de huidige duin op de drie posities

Hoogte	Positie 1		Positie 2		Positie 3	
	Aantal werkbare dagen met huidige duin	Afname door verwijdering duin	Aantal werkbare dagen met huidige duin	Afname door verwijdering duin	Aantal werkbare dagen met huidige duin	Afname door verwijdering duin
15 m boven NAP	350	48	297	7	338	14
25 m boven NAP	275	37	262	2	310	19

5 Conclusie

Een verhoging van de duin levert een algehele afname in de gemiddelde windsnelheid in de Energiehaven op 15 meter boven NAP op. Het effect is het grootst dicht bij de duin, waar de windsnelheid afneemt met een maximale waarde van 0.4 m/s, en het kleinst ver weg van de duin, waar de windsnelheid afneemt met een waarde van 0.04 m/s. Wanneer de duin verhoogd is, is de afname in gemiddelde windsnelheid over het hele gebied het meest significant op 25 meter boven NAP.

De (verhoging van de) duin heeft ook effect op de verdeling van de windrichtingen. Dicht bij de duin is te zien dat de duin de wind uit westelijke richtingen tegenhoudt, waardoor de dominante windrichting licht verschuift naar het zuiden.

Waar de windsnelheid licht afneemt over de Energiehaven, neemt de turbulentie intensiteit licht toe over het gebied. Echter, het gaat echter om kleine toenames. Het effect en belang van turbulentie op lokale werkcondities moet samen met machinefabrikanten worden besproken.

Op basis van de verdeling van de windsnelheden is een inschatting gemaakt van de toename van het aantal werkbare dagen door verhoging van de duin gemaakt. Op 15 meter boven NAP geeft dit waardes die verwaarloosbaar zien gezien de indicatieve aard van de schatting (~1 dag). Wanneer wordt gekeken naar de verdeling in windsnelheden op 25 meter boven NAP, is wel een duidelijk effect van de verhoging van de duin te zien. Op deze hoogte zou het aantal werkbare dagen met 30 omhoog gaan, op een plek dicht bij de duin.

Of het aantal werkbare dagen daadwerkelijk omhoog gaat door het verhogen van de duin, is echter afhankelijk van meer factoren en kan alleen betrouwbaar bepaald worden met meer informatie. Denk hierbij aan de hoogtes waarop gewerkt wordt en wat de bijbehorende maximaal aanvaardbare windsnelheid hiervoor is. Het verhogen van de duin laat zien dat de gemiddelde windsnelheid op de Energiehaven afneemt.

Appendix I Dimensionering

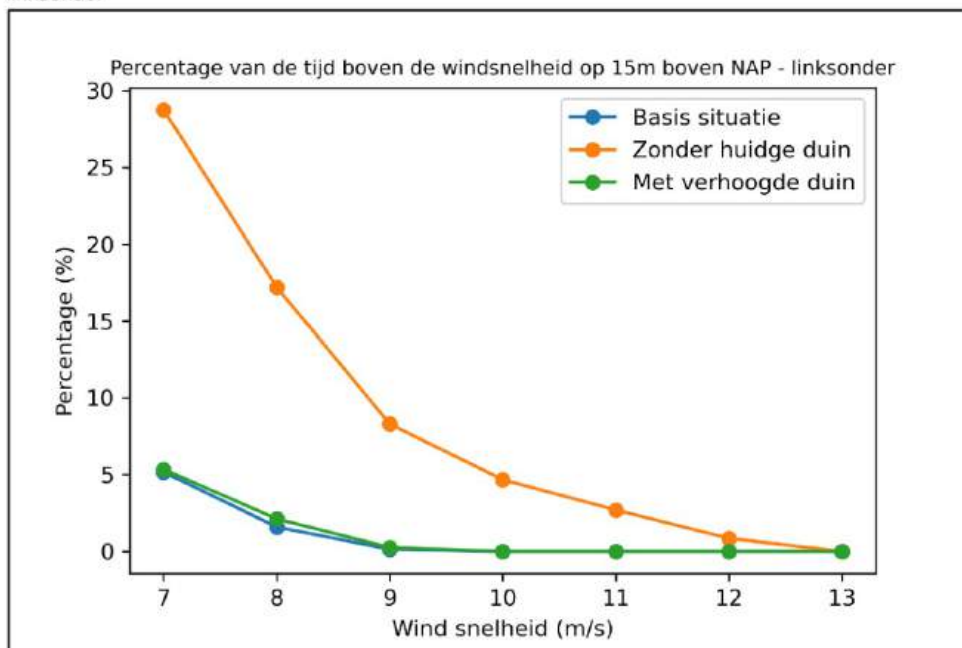
Voor de impactstudie van de verhoogde duin en de windbreker op Energiehaven heeft ASPIRE drie verschillende scenario's gesimuleerd: de situatie met huidige duin en windbreker, de situatie zonder de huidige duin met windbreker, en de situatie met verhoogde duin tot 30m boven NAP en windbreker. Deze simulaties zijn gebaseerd op een verschillende precursor, oftewel: een lege simulatie om de randvoorwaarden van de andere simulaties te bepalen. De precursor heeft een groter domein en een grovere resolutie dan de cursors om belangrijke omgevingskenmerken rondom het domein mee te nemen. De precursor-waarden worden voorgeschreven op de grenzen van de cursor om te voorkomen dat de zoggen opnieuw het domein binnendringen. Het precursor-domein gaat uit van een grootte van 256000x256000x8000m met een resolutie van 2000x2000x8000m.

De drie scenario's worden gesimuleerd met een fijnere resolutie dan de precursor. Een resolutie van 10x10x5m is gekozen. De simulatietijd hangt uiteindelijk af van de resolutie en de domeingrootte, dus is het simulatiedomein voor de scenario's kleiner (1280x1280x5m) dan voor de precursor.

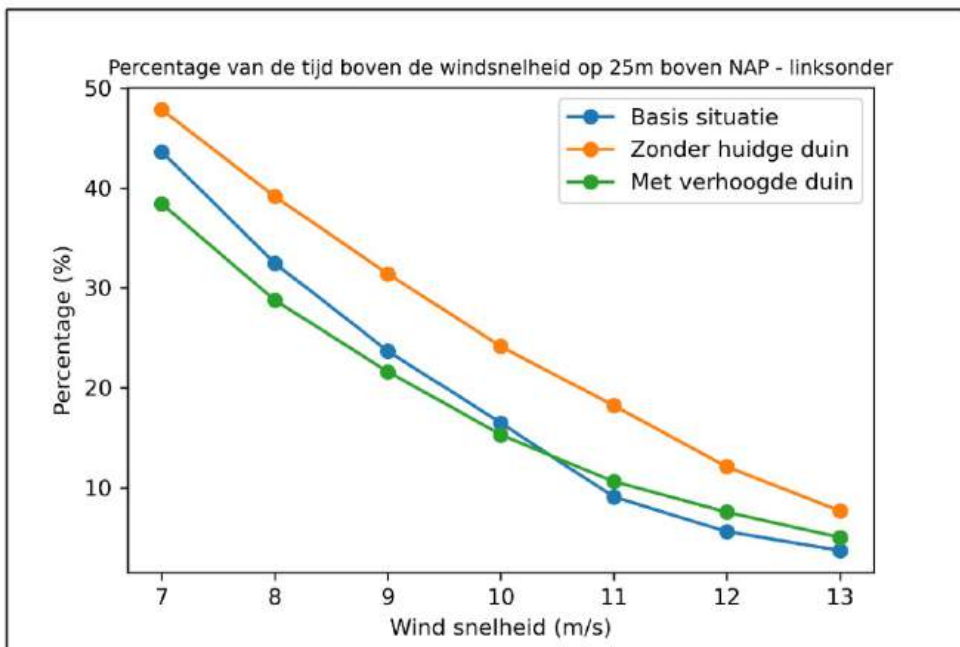
Appendix II Aanvullende resultaten

Omdat is aangegeven door de Klant dat veel van de werkzaamheden plaats zullen vinden langs de kade aan de zuidkant van de Energiehaven, zijn er voor de drie virtuele meetmasten langs de kade dezelfde plots gemaakt als in sectie 4, waarin te zien is hoeveel procent van de tijd de windsnelheid boven een bepaalde waarde ligt. De drie posities worden aangeduid met linksonder, midden onder en rechtsonder. De precieze locaties van deze virtuele meetmasten zijn te zien in Figuur 3.1. De plots zijn voor de drie posities op 15 meter en 25 meter boven NAP gemaakt.

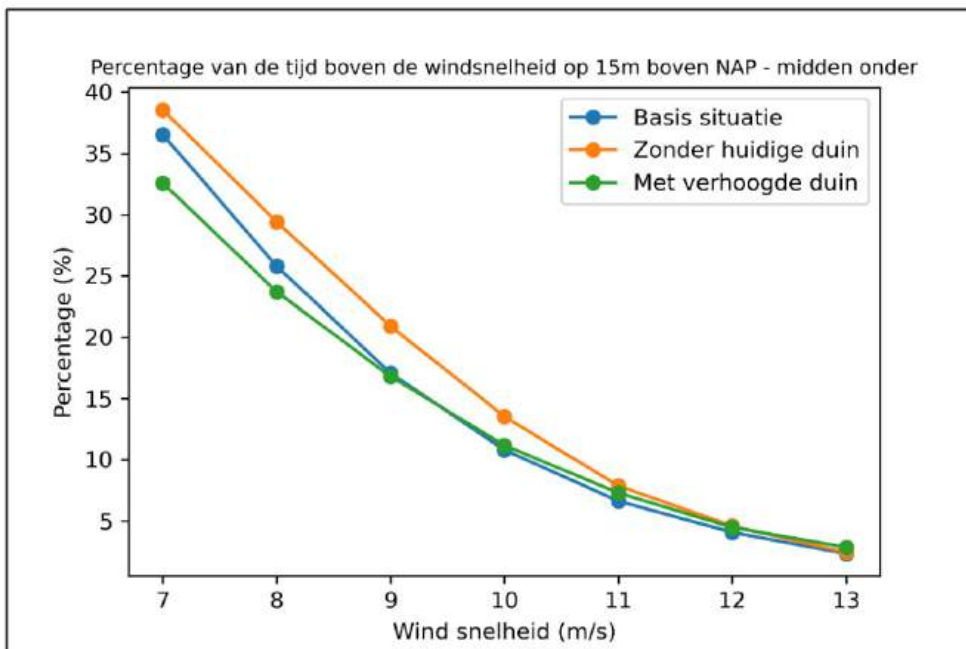
Figuur 5.1 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 15 meter boven NAP – positie linksonder



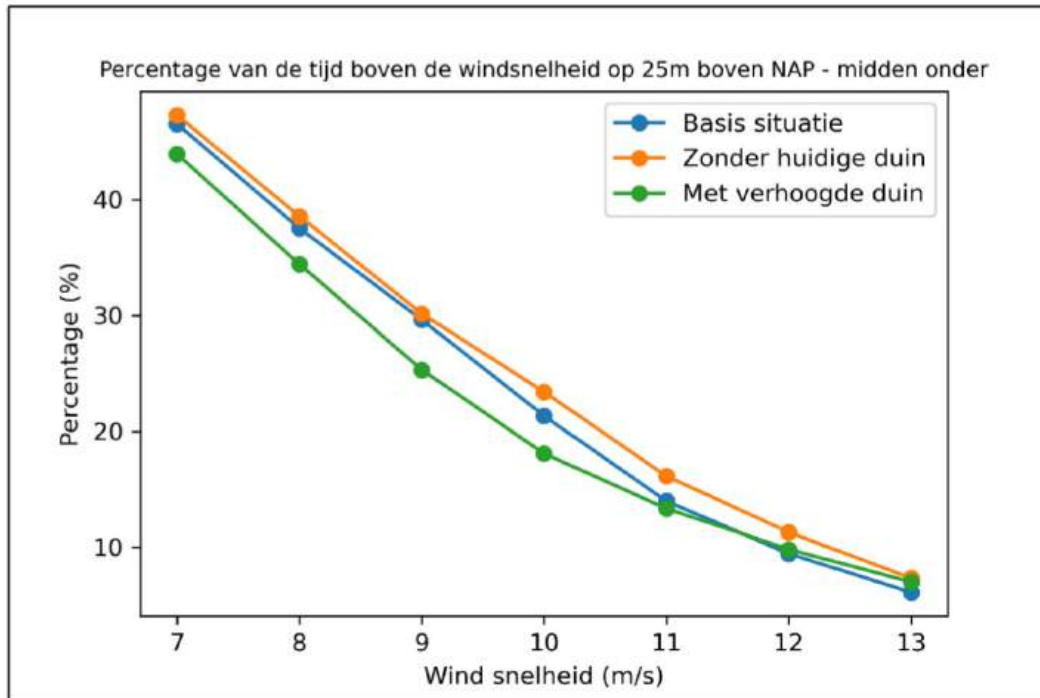
Figuur 5.2 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 25 meter boven NAP – positie linksonder



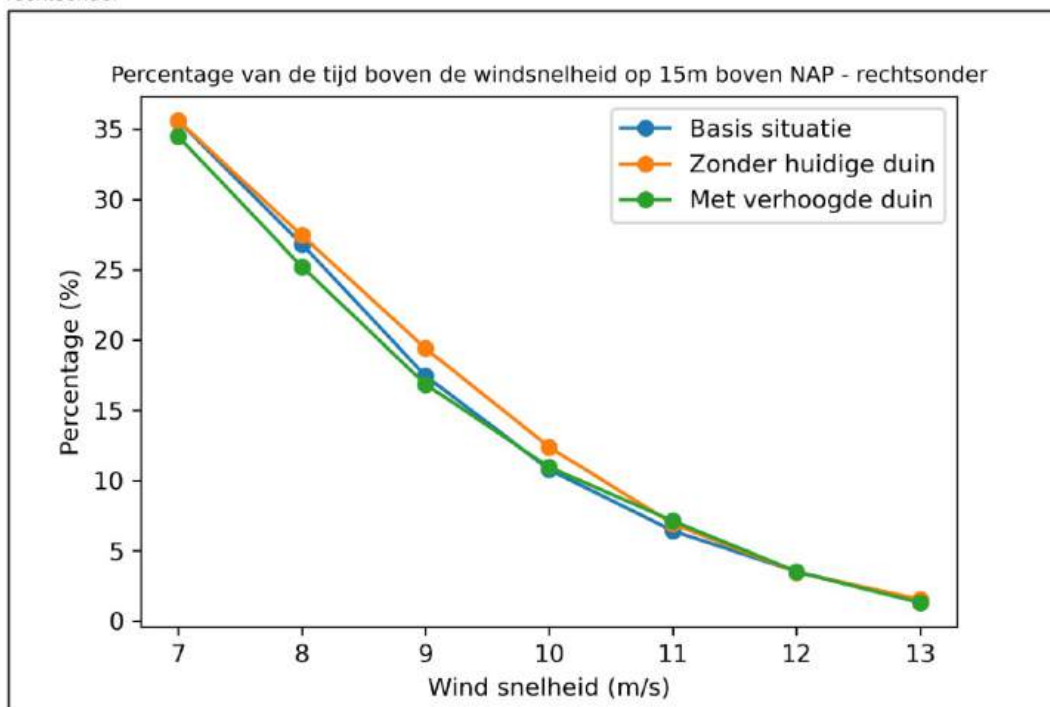
Figuur 5.3 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 15 meter boven NAP – positie midden onder



Figuur 5.4 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 25 meter boven NAP – positie midden onder



Figuur 5.5 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 15 meter boven NAP – positie rechtsonder



Figuur 5.6 Percentage van de tijd dat de windsnelheid boven een bepaalde waarde is op 25 meter boven NAP – positie rechtsonder

