



BETTER SHIPS, BLUE OCEANS

REVIEW WINDHINDER ZAAN T.G.V. NIEUWBOUW BADHUISWEG

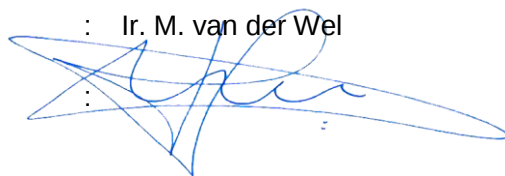
Rapport nr. : 34024-1-MO-rev.1
Datum : 24 maart 2022
Versie : Rev. 1
Definitief rapport

REVIEW WINDHINDER ZAAN T.G.V. NIEUWBOUW BADHUISWEG

Opdrachtgever : Rochdale

Gerapporteerd door : Ir. M. van der Wel

Paraaf management :



Versie	Datum	Status	Gecontroleerd door
Rev. 0	16 maart 2022	Concept	Ir. F. Verkerk
Rev. 1	24 maart 2022	Definitief	

INHOUD**PAGINA**

1	INTRODUCTIE.....	3
1.1	Probleemstelling	3
1.2	Doel van het onderzoek.....	4
1.3	Uitgangspunten windberekeningen	4
1.4	Leeswijzer	5
2	VERGELIJKING WINDVELDEN BESTAANDE SITUATIE EN MET NIEUWBOUW	6
3	STATISCHE WINDBEREKENINGEN	13
3.1	Inleiding	13
3.2	Uitgangspunten	13
3.3	Berekeningen.....	14
4	CONCLUSIES.....	17
4.1	Introductie	17
4.2	Conclusies	18
	REFERENTIES	19

1 INTRODUCTIE

1.1 Probleemstelling

Rochdale is betrokken bij de bouw van twee nieuwbouwblokken in Zaandam aan de Badhuisweg op een kavel grenzend aan de Voorzaan, zie Figuur 1. Door de hoogte van de nieuwbouw zou er windhinder kunnen ontstaan voor de scheepvaart. Voor de maatgevende windrichtingen waarbij de wind komt uit west en Zuidwest staat de nieuwbouw echter in de windluwte van bestaande bebouwing en is de verwachting dat de windhinder heel beperkt is.



Figuur 1: Situatieschets nieuwbouw Badhuisweg Zaandam met de nieuwe bebouwing (links) en de huidige situatie (rechts).

Rochdale heeft MARIN gevraagd of de mate van windhinder ten opzichte van de huidige situatie verergert voor de doorgaande beroepsvaart op de Zaan. De beoordeling moet uitgevoerd worden aan de hand van berekeningen met een Computational Fluid Dynamics (CFD) model van het te verwachten windveld.

Door de gemeente Zaanstad zijn drie schepen gespecificeerd, die allen de Wilhelminasluis passeren en daarom als maatgevend worden gezien:

- 1.) Drie-laags containervaart, bestaande uit een CEMT klasse Va motorschip met een lengte van 110 meter en een breedte van 11,4 meter, met een lateraal windoppervlakte van 590m² (overeenkomend met drie lagen containers) met diepgangen van 1,10 meter (lege containers) tot 2,40 meter (geladen containers).
- 2.) Een lege spits, (CEMT klasse I) van 38,5 meter lang en een breedte van 5,05 meter met een dichte luikenkap en geen kopschroef.
- 3.) Een leeg één-bakduwstel met een diepgang van 0,65 meter met een 90 meter lange bak (dit komt overeen met een verlengde Europa IIa bak).

Als verder uitgangspunt wordt genomen dat de schepen de Wilhelminasluis naderen met een snelheid van 5 km/uur. Tot slot wordt in de beschouwing geen kopschroef meegenomen.

In de praktijk zullen lege schepen vermoedelijk harder varen dan 5 km/uur om voldoende bestuurbaar te blijven. Bij het naderen van de Wilhelminasluis zullen schepen bij dwarswind de schroef in het werk laten staan om voldoende roerdruk te behouden. Daarom zal de padbreedte ook bij een hogere snelheid (van 6 km/uur) worden beschouwd.

Als criterium voor de maximale toename in de windhinder wordt gesteld dat de maximale toename van de padbreedte ten opzichte van de huidige situatie, kleiner moet zijn dan $0,5 \times B$ (scheepsbreedte) en dat de roeruitslag beperkt moet blijven tot 20 graden, behoudens kortstondige uitschieters (bijvoorbeeld om een windgradiënt op te vangen). Bij een aanhoudende roerhoek van 20 graden is er nog voldoende manoeuvreerreserve om kortdurende dynamische effecten (windvlagen en windgradiënten) met een eventuele korte toerenstoot en grotere roerhoeken te compenseren.

Het criterium wordt ontleend aan de Richtlijnen Vaarwegen 2020, met de nuance dat deze oorspronkelijk is ontwikkeld voor toetsing van dwarsstroming.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van het onderzoek is een beoordeling te geven van de te verwachten windhinder voor het scheepvaartverkeer op de Zaan als gevolg van de nieuwbouw aan de Badhuisweg. De review zal gebeuren aan de hand van de uitgevoerde CFD-berekeningen en statische windberekeningen.

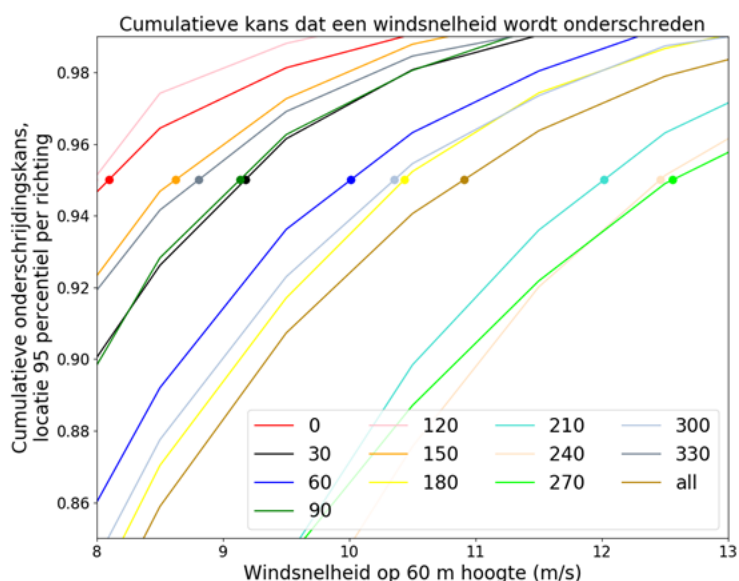
1.3 Uitgangspunten windberekeningen

Door Actiflow zijn wind berekeningen uitgevoerd met behulp van een Computational Fluid Dynamics (CFD)-model. De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen in "Nieuwbouwproject Badhuisweg 1 te Zaandam" CFD-studie windhinder en windgevaar in de openbare buitenruimte, d.d. 01-04-2021, [Ref. 1].

MARIN heeft geadviseerd de instroomsnelheid voor de windberekeningen op 5% overschrijding per richting sector te nemen (wat globaal op 2% overschrijding uni-directioneel zou moeten uitkomen) en de uitvoer van de windberekeningen op een hoogte van 4 meter uit te voeren in verband met de geldigheid van de windcoëfficiënten van de binnenvaartschepen (die in een windtunnel op deze hoogte zijn bepaald).

De door Actiflow uitgevoerde berekeningen zijn aan MARIN geleverd op 11 en 18 februari 2022 in de bestanden Bestaande_situatie [Ref. 2] en Resultaten Zaan [Ref. 3]. De resultaten van de berekeningen beschrijven hierbij de windsnelheid en -richting in een ruimtelijk veld. De resultaten zijn aangeleverd voor windrichtingen om de 30 graden.

De door Actiflow gehanteerde instroomsnelheden voor het windmodel (op een hoogte van 60 meter) is opgenomen in Figuur 2.

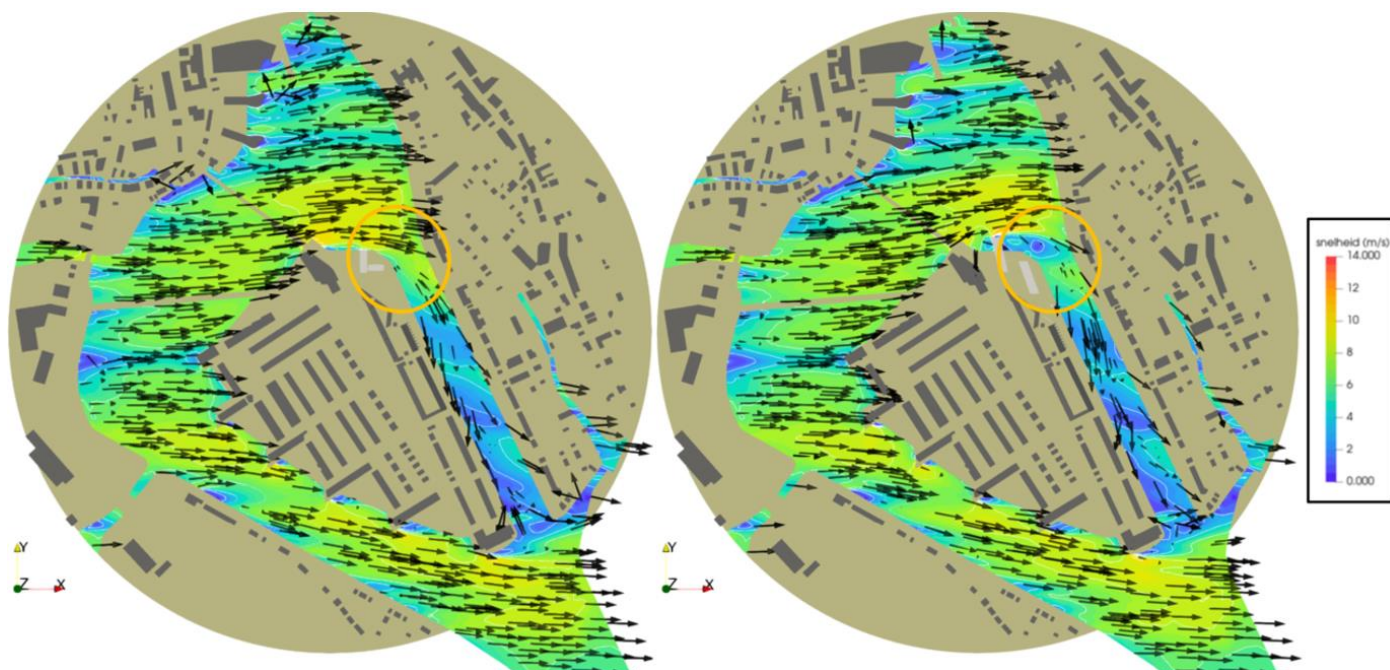


Figuur 2: Instroomsnelheden op 60 m hoogte als functie van de richting ten opzichte van Noord.

De windsnelheid op 4 meter hoogte is af te leiden uit de door Actiflow toegeleverde berekeningen. Op deze hoogte zijn de windcoëfficiënten van de schepen geldig waarmee de windkrachten worden bepaald.

De windsnelheid op 10 meter hoogte wordt in dit rapport voor de compleetheid gegeven, omdat dit de windsnelheid is die gehanteerd wordt in de definitie van de windsterkte. Deze windsnelheid kan worden vergeleken met de Beaufortschaal. Een windsnelheid van 7,2 – 7,9 m/s komt hierbij overeen met een hoge Beaufort 4 (welk geldt van 5,5 m/s tot 7,9 m/s). Omdat een windsnelheid van 7,9 m/s een 10-minuten gemiddelde windsnelheid betreft, zullen er windvlagen optreden die hoger zijn. De effecten van windvlagen zijn voor de huidige situatie en toekomstige situatie naar verwachting net zo groot, daarom wordt de gemiddelde padbreedte veroorzaakt door de gemiddelde windstuwdruk beoordeeld.

Opgemerkt wordt dat er wordt gerekend met een windsnelheid in de Voorzaan om en nabij de bebouwing. Voor de wind uit het westen is in Figuur 3 te zien dat de windsnelheid in de Voorzaan lager (rond de 5 m/s) is dan in het open gedeelte net ten noorden van de Badhuisweg (rond de 10 m/s). De 10 m/s wind op 4 meter hoogte komt overeen met 14,4 m/s wind op 10 meter hoogte, wat overeenkomt met Beaufort 7.



Figuur 3: Wind uit het westen.

1.4 Leeswijzer

In dit rapport worden de volgende zaken behandeld:

- | | |
|--|-------------|
| • Vergelijking windvelden bestaande situatie en met nieuwbouw; | Hoofdstuk 2 |
| • Statische windberekeningen; | Hoofdstuk 3 |
| • Conclusies en aanbevelingen. | Hoofdstuk 4 |

2 VERGELIJKING WINDVELDEN BESTAANDE SITUATIE EN MET NIEUWBOUW

Op basis van de door Actiflow bepaalde windvelden wordt in dit hoofdstuk een kwalitatieve beschouwing gegeven van de veranderingen in het windveld en de gevolgen hiervan voor de scheepvaart. In totaal zijn er 12 windrichtingen beschouwd. Op basis van deze kwalitatieve beschouwing volgen de maatgevende windrichtingen, die nader beschouwd zullen worden.

Voor de maatgevende windrichtingen waarvoor een toename in windhinder is verwacht wordt in Hoofdstuk 3 een nadere beschouwing van de padbreedte gegeven.

De maatgevende windrichtingen voor de scheepvaart zijn opgenomen in Tabel 1. Voor de windrichtingen niet genoemd in de tabel, is geen verandering in windhinder te verwachten. Bij deze richtingen werkt de wind in de aanloop naar de Wilhelminasluis op de kop van het schip (of vanuit de sluis van achteren op het schip), dan wel zijn de veranderingen in het windveld door de nieuwbouw niet waarneembaar ten opzichte van de huidige situatie.

Tabel 1: Maatgevende windrichtingen en verandering in windveld

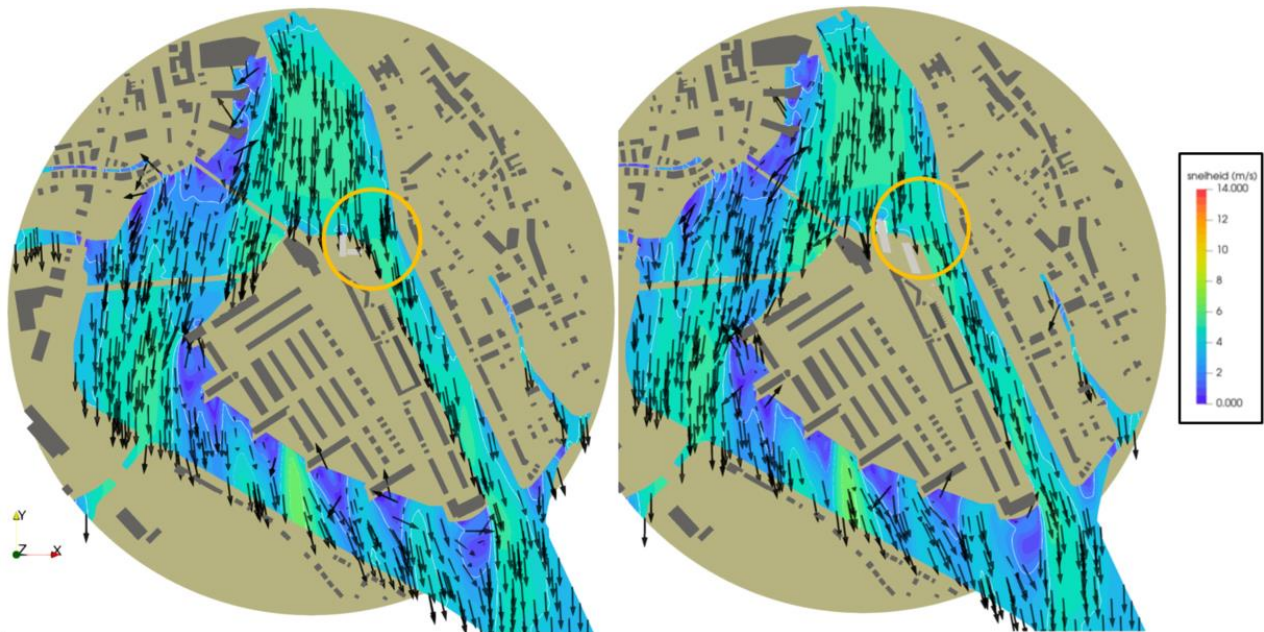
Windrichting [komend uit]	Verandering
Oost	Langere windluwte en vergroting dwarscomponent door nieuwe bebouwing.
Oost-zuidoost	Grotere windgradiënt rond nieuwe bebouwing en lichte toename van de windsnelheid.
West-zuidwest	Ontstaan dwarscomponent tussen de nieuwe bebouwing in de Voorzaan.
West	Sterkere windgradiënt rond de nieuwe bebouwing. Reductie van de gemiddelde windsnelheid rond de bebouwing, waardoor de padbreedte afneemt.
Zuid	Sterkere windgradiënt voor de sluis door nieuwe bebouwing, maar geen toename van de windsnelheid en dus geen vergroting van de padbreedte in de Voorzaan.
Zuid-zuidwest	Sterkere windgradiënt en toename windsnelheid in de nadering naar de sluis. Omdat de wind in de nadering van de sluis van achteren inkomt is er geen vergroting van de padbreedte.

Voor de windrichtingen oost, oost-zuidoost en west-zuidwest is er een vergroting van de padbreedte ten opzichte van de huidige situatie te verwachten. Wind uit deze richtingen staat onder een hoek ten opzichte van de Voorzaan. Voor deze windrichtingen wordt een nadere beschouwing van de padbreedte gegeven in Hoofdstuk 3.

Voor de windrichtingen west, zuid, zuid-zuidwest is er geen vergroting van de padbreedte ten opzichte van de huidige situatie te verwachten.

Wind uit het noorden

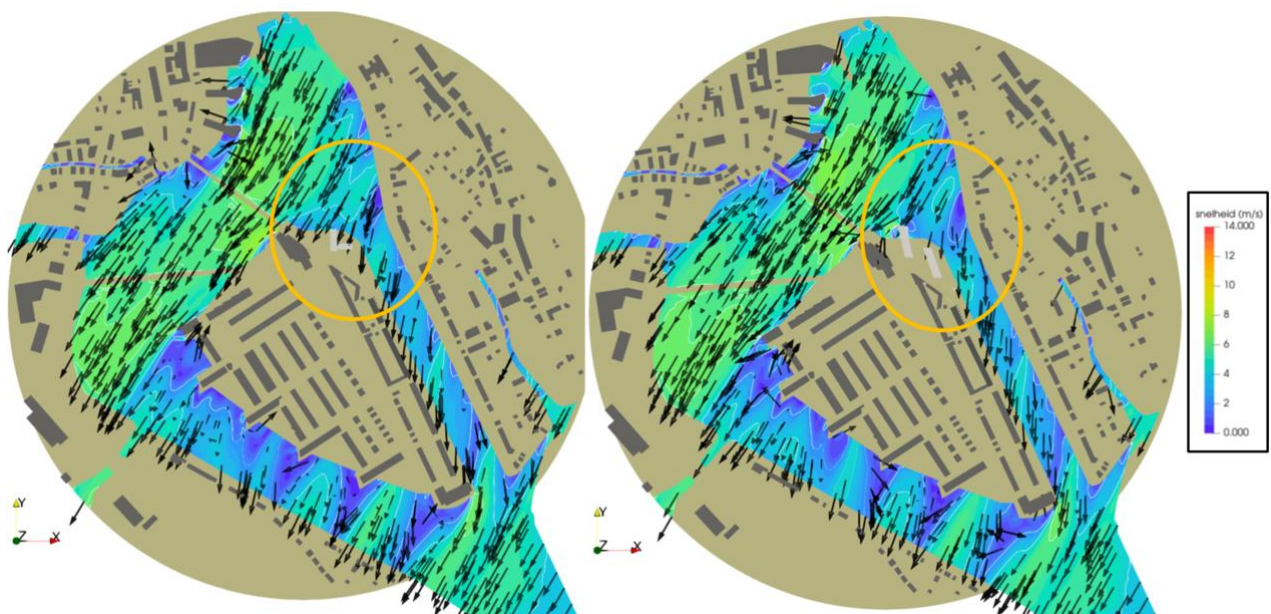
Wind uit het noorden zorgt voor opstuwing tegen de bebouwing. De vectoren in de Voorzaan direct naast het gebouw staan meer in de strekking van de Voorzaan, zie Figuur 4. Hierdoor staat de wind uit het noorden inclusief de nieuwe bebouwing voor een schip, dat de sluis nadert, gunstiger. De dwarscomponent wordt verminderd waardoor de padbreedte juist zal afnemen.



Figuur 4: Noordenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het noord-noordoosten

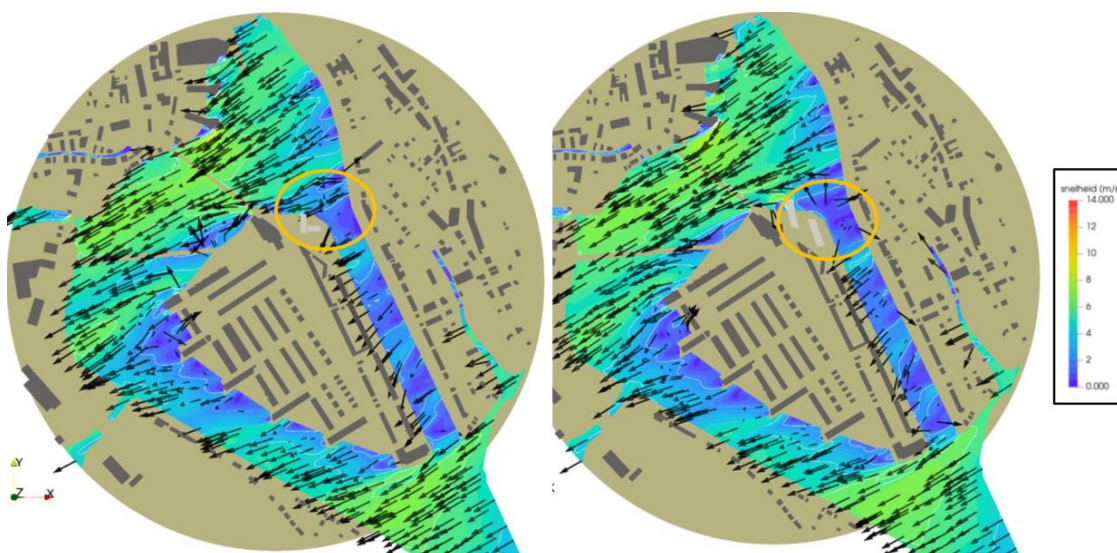
In de situatie met de nieuwe bebouwing neemt de dwarscomponent van de wind in de Voorzaan af. De vectoren staan meer in de strekking van de Voorzaan, zie Figuur 5. De windsterkte net ten noorden van de nieuwe bebouwing neemt af.



Figuur 5: Noord-noord-oostenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het oost-noordoosten

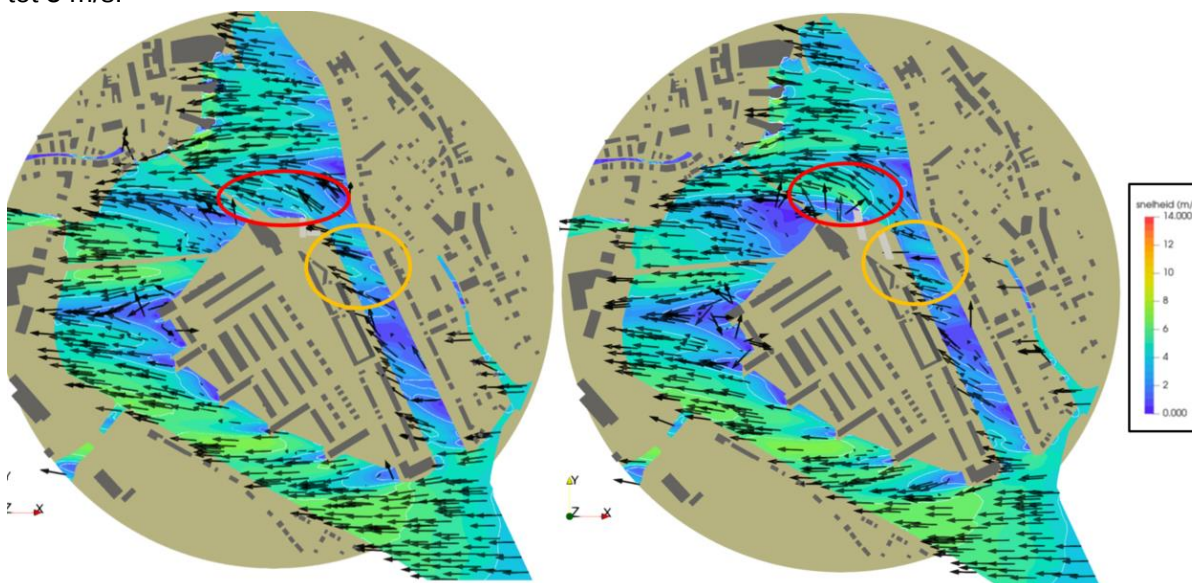
In de situatie met de nieuwe bebouwing neemt de dwarscomponent van de wind in de Voorzaan af. De berekende vectoren direct oost van de bebouwing vertonen een onregelmatig patroon (zie oranje ovaal in Figuur 6), wat mogelijk wordt verklaard doordat de bebouwing zorgt voor opstuwing, waardoor de windsnelheid laag is en de windrichting variabel. Door de nieuwe bebouwing ontstaat voor wind uit het oost-noordoosten een groter gebied met lagere windsnelheden en variabele richtingen, die minder windhinder veroorzaakt.



Figuur 6: Oost-noordoostenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het oosten

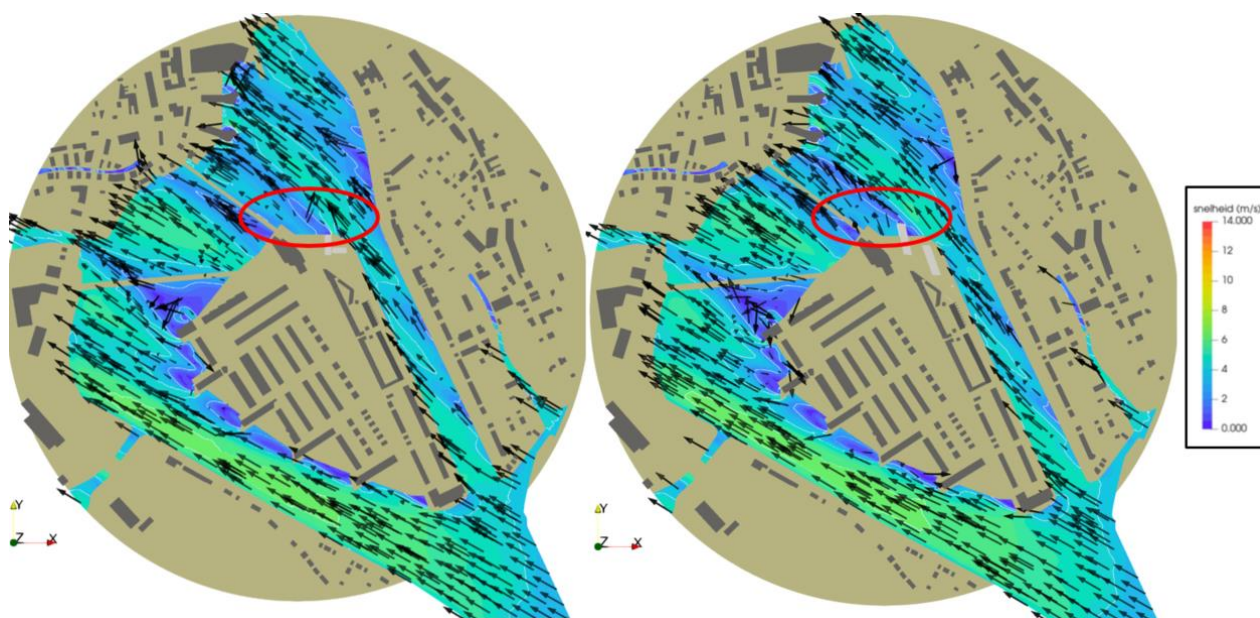
Ten gevolge van de nieuwe bebouwing ontstaat ten zuiden een groter gebied met lagere windsnelheden en variabele richtingen, die minder windhinder veroorzaakt (zie oranje cirkel in Figuur 7). Om het noordelijke gebouw ontstaat een werveling (zie rode cirkel in Figuur 7), waarin de lokale windsterkte toeneemt. De windsterkte neemt daar lokaal toe, maar blijft beperkt tot 7 m/s. Voor de scheepvaart is de wind uit het oosten lastig, omdat er dwarswind ontstaat. De dwarswind in de Voorzaan blijft beperkt tot 5 m/s.



Figuur 7: Oostenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het oost-zuidoosten

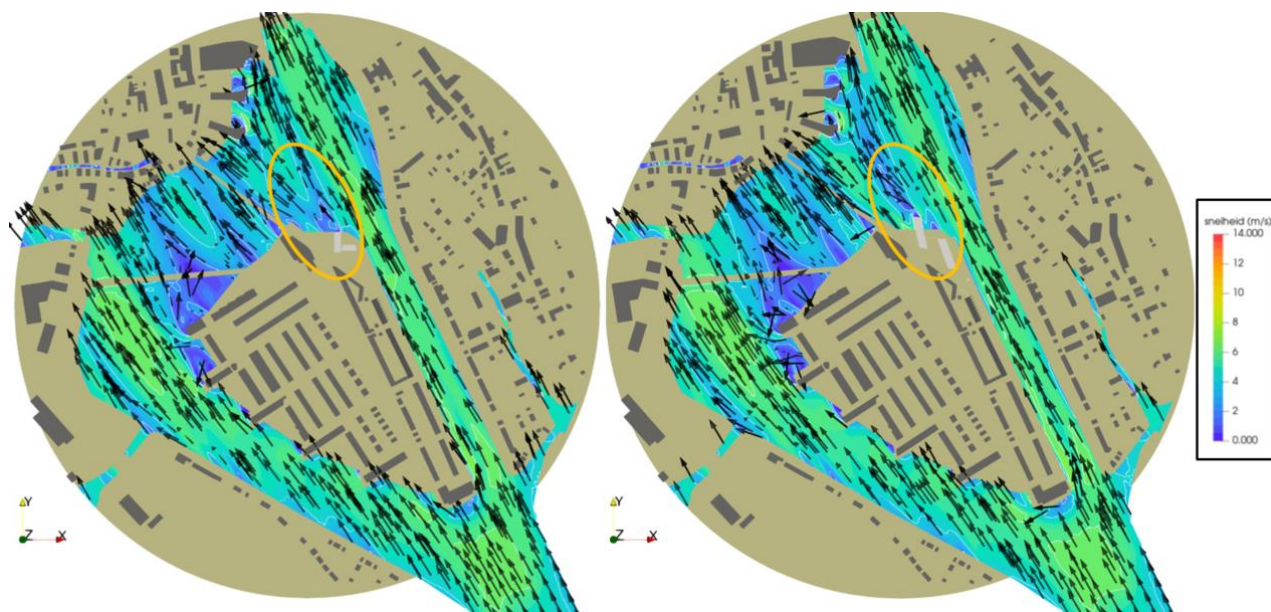
Ten gevolge van de nieuwe bebouwing is er zuidelijk van de bebouwing geen verschil waarneembaar in het windveld. Rond het meest noordelijke gebouw ontstaat een iets grotere gradiënt, zie Figuur 8. De windsnelheid blijft hierbij rond de 6 m/s. De wind uit het oost-zuidoosten is lastig voor de scheepvaart. Door de schuin achterin komende wind moet er opgestuurd worden, terwijl het schip vooruit gedrukt wordt.



Figuur 8: Oost-zuidoostenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het zuid-zuidoosten

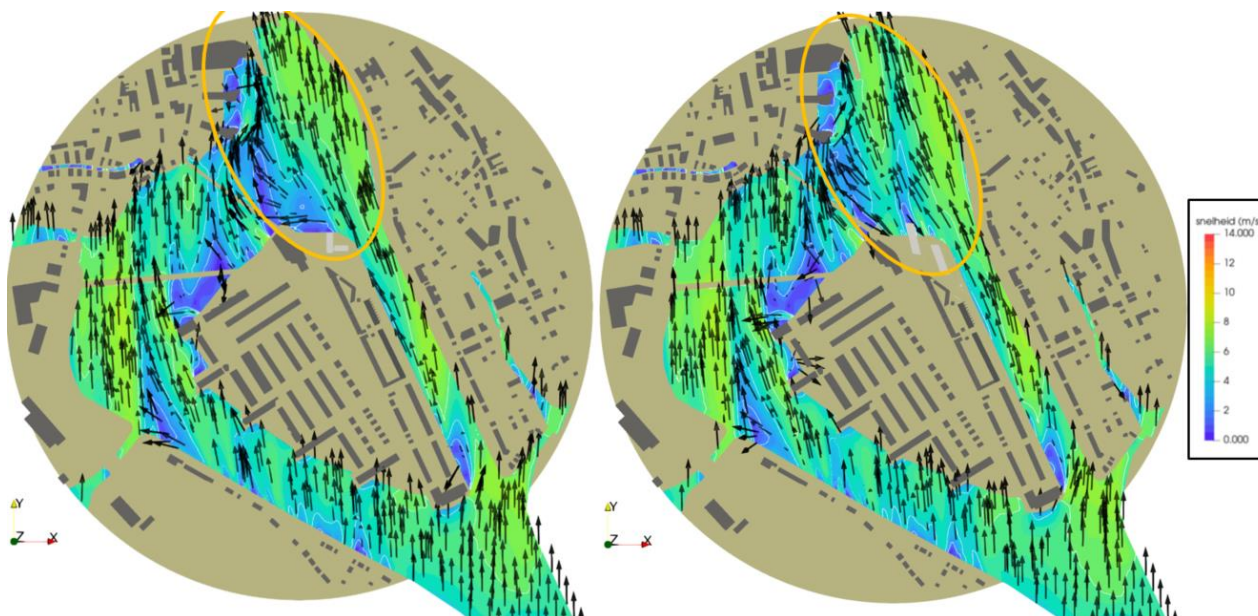
Ten gevolge van de nieuwe bebouwing is er alleen net noordelijk van de nieuwe bebouwing een lichte verandering van de gradiënt in het windveld waarneembaar, zie oranje cirkel in Figuur 9. De scheepvaart zal de verandering van deze gradiënt niet merken. Wind uit het zuid-zuidoosten heeft dezelfde richting als de nieuwe bebouwing en zal niet resulteren in een waarneembaar verschil ten opzichte van de huidige situatie.



Figuur 9: Zuid-zuidoostenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het zuiden

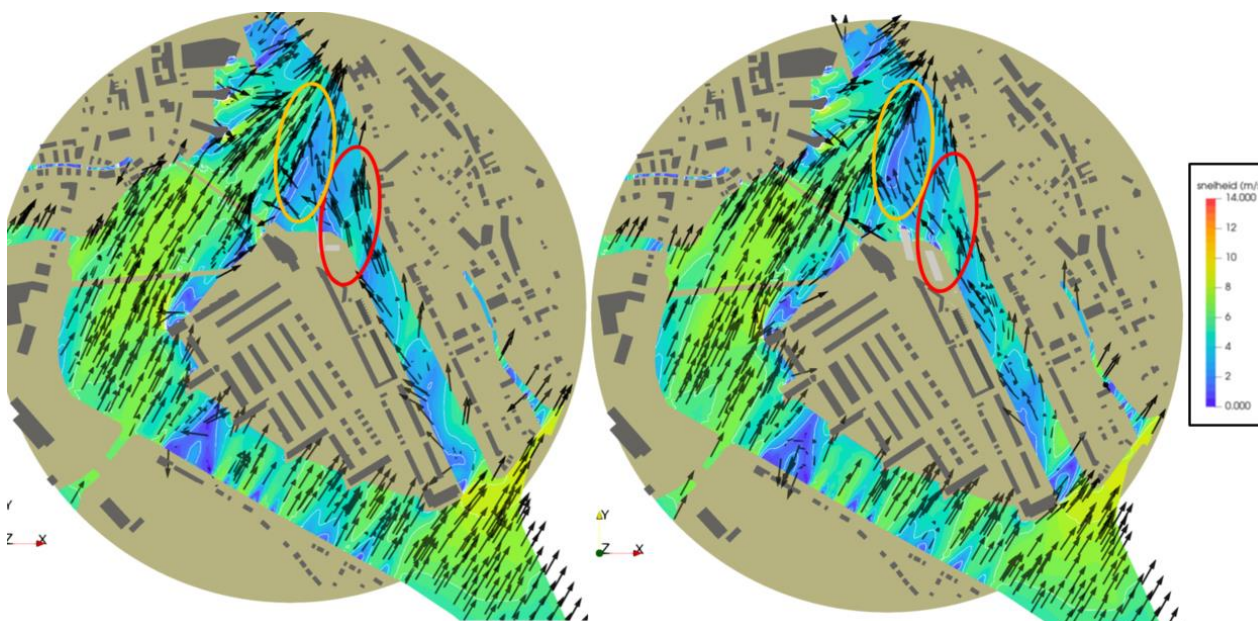
In het windveld uit het zuiden is een verstoring te zien door de nieuwe bebouwing ten opzichte van de huidige situatie. Voor de Wilhelminasluis ontstaat nu een sterkere windgradiënt, die zorgt voor een giermoment op het schip, omdat er een wisselende windbelasting ontstaat tussen voor- en achterschip. De windsterkte neemt lokaal af naar 5 á 6 m/s, zie Figuur 10.



Figuur 10: Zuidenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het zuid-zuidwesten

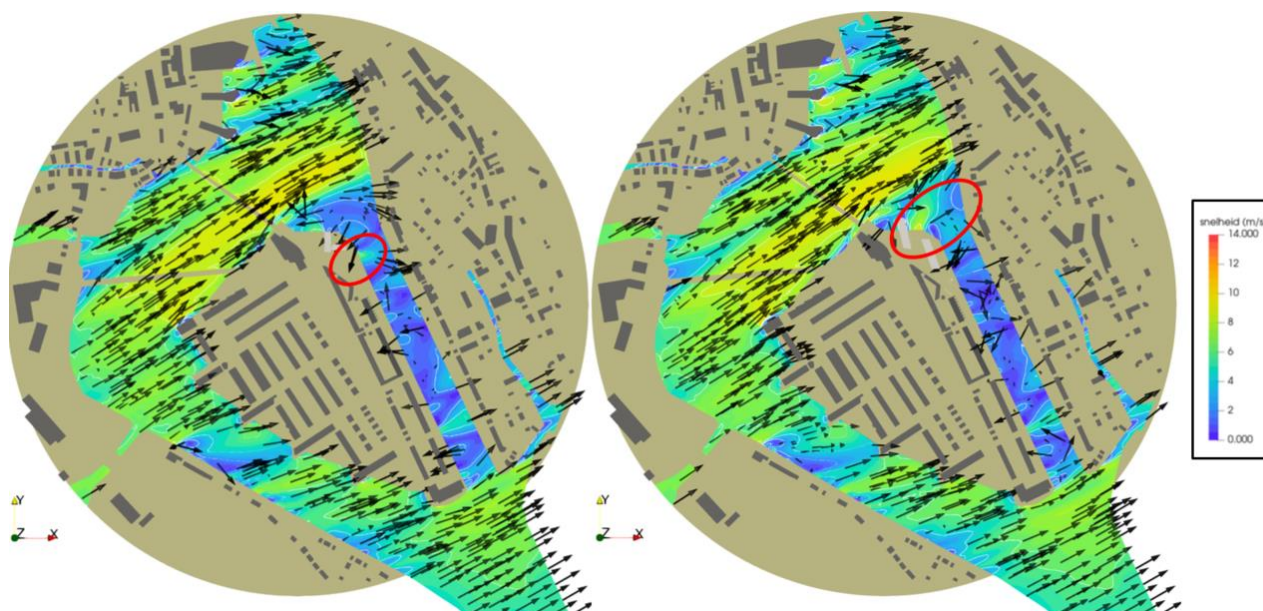
In het windveld uit het zuid-zuidwesten is te zien dat de windsnelheid oostelijk van de zuidelijk nieuwbouw toeneemt (zie rode cirkel in Figuur 11). De wind staat hierbij richting de Wilhelminasluis. Iets meer noordelijk is ook een toename van de windsnelheid te zien en staan de vectoren meer richting de Wilhelminasluis. De windgradiënt neemt door de nieuwe bebouwing toe. Deze windrichting is voor de scheepvaart ongunstig, omdat het schip naar voren wordt gedrukt, terwijl in de nadering van de sluis de snelheid juist afgeremd moet worden.



Figuur 11: Zuid-zuidwestenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het west-zuidwesten

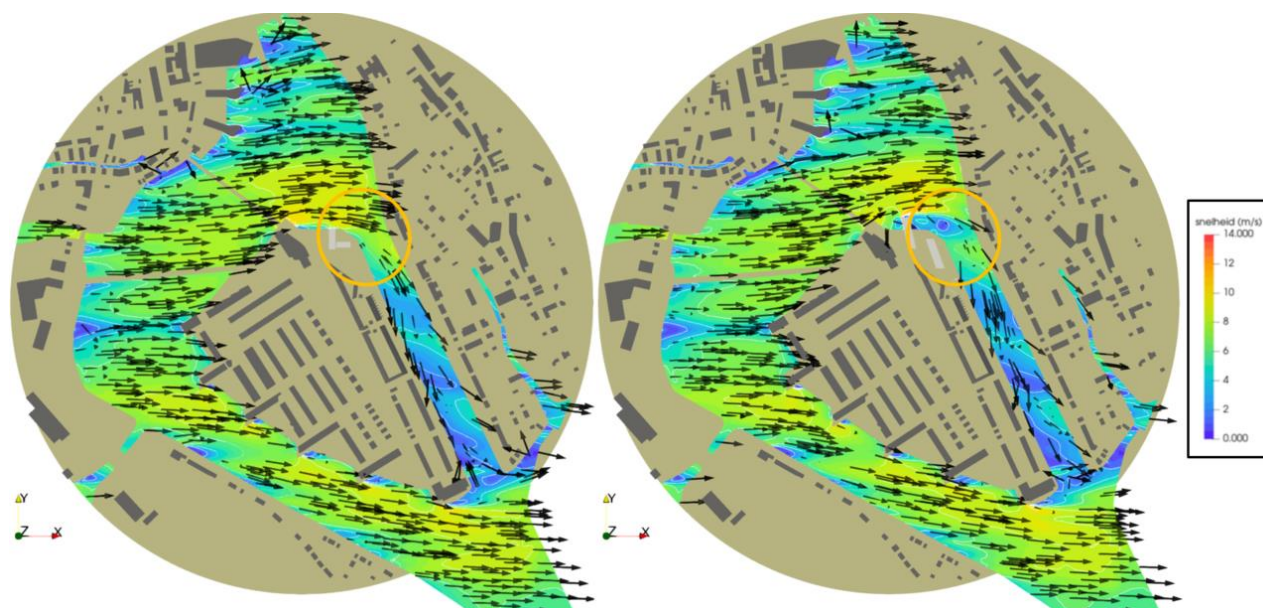
In het windveld uit het west-zuidwesten is te zien dat tussen de gebouwen van de nieuwbouw dwarswind ontstaat, zie rode cirkel in Figuur 12. In de huidige situatie is de windsnelheid minder dan 3 m/s, met de nieuwbouw neemt de windsnelheid toe tot 5 m/s. De schipper zal eerder moeten opsturen om het effect van de wind op te vangen. De gradiënt ten zuiden van de bebouwing neemt af.



Figuur 12: West-zuidwestenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het westen

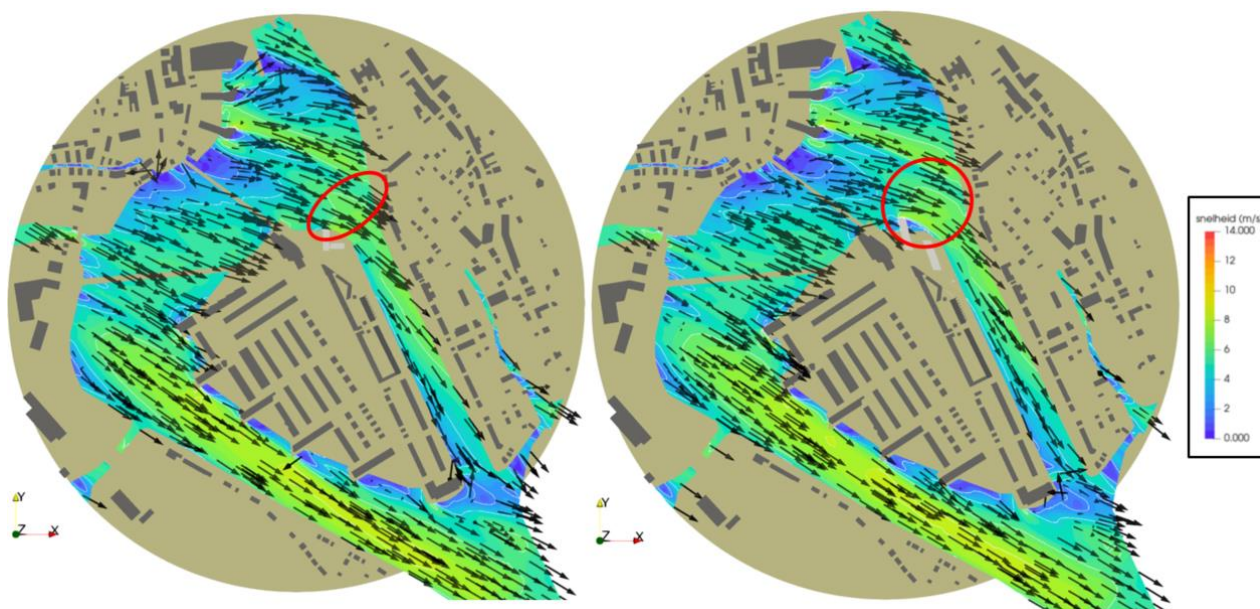
Door de nieuwbouw wordt het windveld uit het westen zo verstoord dat er een lokale windluwte ontstaat, zie oranje cirkel in Figuur 13. De wind wordt door de nieuwe bebouwing verder in de strekking van de Voorzaan bijgedraaid. Dit werkt voor de scheepvaart gunstig, omdat de wind nu meer op de kop staat. In vergelijking met de huidige situatie ontstaat er een sterkere windgradiënt. Deze windgradiënt kan naar verwachting gecontroleerd worden opgevangen door kortstondig meer dan 20 graden roergebruik. De windgradiënt resulteert niet in een vergroting van de padbreedte.



Figuur 13: Westenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het west-noordwesten

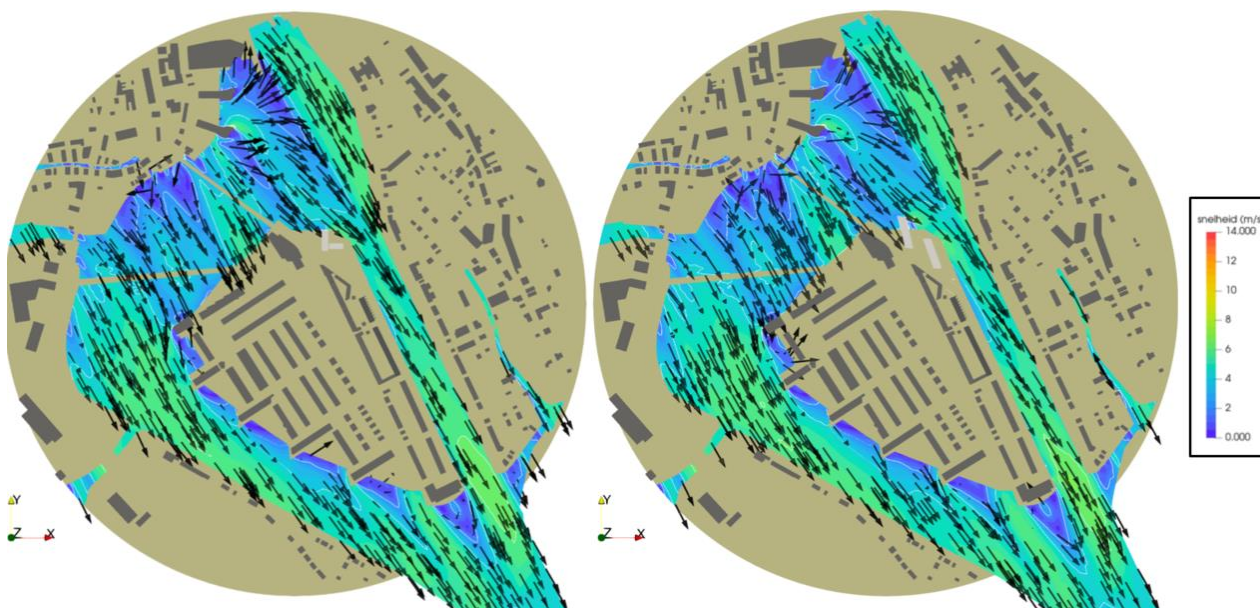
Door de nieuwbouw wordt het windveld uit het west-noordwesten nauwelijks verder verstoord ten opzichte van de huidige situatie. Om de noordelijke bebouwing ontstaat heel dicht bij het gebouw een iets sterkere dwarscomponent, maar dit is alleen heel lokaal dichtbij het gebouw zichtbaar. In de Voorzaan draait de wind bij en staat meer in de strekking van de Voorzaan, zie Figuur 14. Dit werkt gunstig voor de scheepvaart die de Wilhelminasluis nadert, omdat de wind meer op de kop staat.



Figuur 14: West-noordwestenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

Wind uit het noord-noordwesten

Door de nieuwbouw verandert het windveld nauwelijks, zie Figuur 15. Bij de noordelijke nieuwbouw is een loslating waarneembaar, die zeer lokaal is en nauwelijks groter is ten opzichte van de huidige situatie. Omdat de wind uit het noord-noordwesten in de aanloop naar de Wilhelminasluis op de kop werkt, is er voor wind uit deze richting voor de scheepvaart door de nieuwbouw geen verandering in windhinder te verwachten.



Figuur 15: Noord-noordwestenwind voor de bestaande situatie (links) en de toekomstige situatie (rechts).

3 STATISCHE WINDBEREKENINGEN

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten van statische windberekeningen gepresenteerd, waarmee de eventuele toename van de padbreedte voor de verschillende schepen wordt bepaald.

De wind veroorzaakt windkrachten op het manoeuvrerende schip. Deze windkrachten hangen af van de hoek van inval, de windsterkte, het windoppervlakte van het schip en windcoëfficiënten. De windcoëfficiënten worden bepaald met behulp van windtunnelproeven, waarbij rekening wordt gehouden met de opbouw op een schip. De hydrodynamische rompkrachten en roerkrachten van het manoeuvrerende schip vangen de windkrachten op, waarbij er een balans ontstaat tussen de windkrachten en krachten door het water. Uit deze balans volgt de verwachte drifthoek, waarmee het schip (gegeven de specifieke windkrachten en manoeuvreereigenschappen) gestuurd wordt. De padbreedte volgt vervolgens uit de lengte en de breedte van het schip en de drifthoek.

3.2 Uitgangspunten

Er zijn drie verschillende schepen gedefinieerd. De hoofdafmetingen en het laterale windoppervlakte van de schepen zijn opgenomen in Tabel 2.

Tabel 2: Hoofdafmetingen en windoppervlakte van de beschouwde schepen.

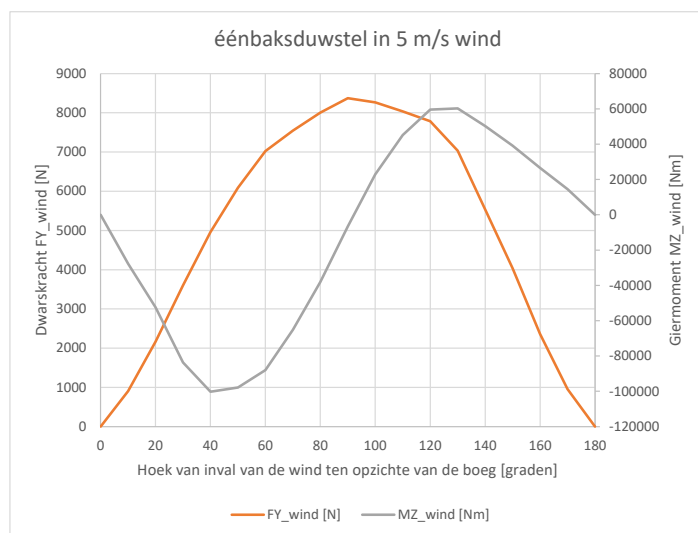
Schip	Lengte [m]	Breedte [m]	Gemiddelde Diepgang [m]	Lateraal windoppervlakte [m ²]
Spits	38,5	5,05	0,65	163
Leeg éénbaksduwstel	90,0 (bak) 27,0 (duwboot)	11,4 (bak) 9,5 (duwboot)	0,65 (bak) 1,80 (duwboot)	528 (bak+duwboot)
Containerschip (lege containers) (geladen containers)	110	11,4	1,10 2,40	696 590

Ten aanzien van de schepen zijn de volgende uitgangspunten genomen:

- Het klasse Va containerschip wordt meegenomen voor twee diepgangen, één met geladen containers en één met lege containers. Het aantal lagen containers is drie.
- Voor de binnenvaartschepen is gebruikt gemaakt van windcoëfficiënten geldend op 4 meter hoogte. Deze windcoëfficiënten zijn specifiek voor binnenvaartschepen en gebaseerd op windtunnelproeven [Ref. 4].
- Bij het selecteren van de windcoëfficiënten wordt meegenomen dat het klasse Va schip containers vervoert, dat de spits dichte luiken heeft en dat het éénbaksduwstel leeg is en een open bak heeft.
- De windoppervlaktes van de schepen zijn afgeleid op basis van algemene plannen van de schepen, dan wel op basis van beschikbare interne data.
- De manoeuvreereigenschappen van de schepen zijn gebaseerd op binnen MARIN beschikbare manoeuvreermodellen.
- Een riviercruiseschip, uit een CEMT klasse Va, met een lengte van 110 meter en een breedte van 11,4 meter en een diepgang van 1,5 meter heeft een windoppervlakte van 664 m². Omdat het riviercruiseschip minder windoppervlakte en meer diepgang heeft in vergelijking met een containerschip met lege containers is het containerschip maatgevend.

3.3 Berekeningen

Voor de schepen uit Tabel 2 zijn eerst de statische windkrachten uitgerekend. In Figuur 16 is een voorbeeld van een dergelijke berekening opgenomen. Hierbij worden de dwarskracht en het giermoment werkend op het schip. De windkrachten worden bepaald voor een vaste windsnelheid en vervolgens voor alle relatieve hoeken van inval ten opzichte van de boeg bepaald. Voor de windrichtingen waar een vergroting van de padbreedte te verwachten is, zijn de relatieve windrichtingen ten opzichte van het schip in Tabel 3 opgenomen.



Figuur 16: Windkracht en moment op het éénbaksduwstel in 5 m/s wind op 4 m hoogte als functie van de hoek van inval.

Tabel 3: Aardvaste en relatieve windrichtingen.

Aardvaste windrichting	Windrichting relatief t.o.v. het schip in de Voorzaan
Oost	90
Oost-zuidoost	120 (naar de sluis) of 30 (van de sluis)
West-zuidwest	90

Voor een gegeven naderingssnelheid volgt de drifthoek uit het krachten- en momentenevenwicht tussen de windkrachten en de hydrodynamische krachten (bestaande uit rompkrachten en roerkrachten). De drifthoek (β) is een gevolg van de krachten- en momentevenwicht. Een hogere windsnelheid, resulteert in grotere windkrachten en daarmee in een grotere drifthoek.

Tabel 4 geeft een voorbeeld van een bepaling van de padbreedte afhankelijk van de drifthoek β . De benodigde drifthoek β in de bestaande en nieuwe situatie zijn in de tabel geel gemarkeerd. Uit de drifthoek volgt de absolute padbreedte (de blauwe cellen) en de relatieve padbreedte uitgedrukt in scheepsbreedtes (de groene cellen).

De toename van de padbreedte wordt bepaald door het verschil in opstuurhoek. Hierbij is het absolute verschil gegeven en de relatieve toename uitgedrukt in scheepsbreedtes dikgedrukt.

Tabel 4: Voorbeeld berekening padbreedte.

Wind uit t.o.v. boeg	u (4m) [m/s]	Schip Situatie	Leeg éénbaksduwstel		
			β [°]	[m]	[B]
O 90°	5	Bestaand	10.5	32.5	2.8
	5.5	Nieuw	12.0	37.5	3.3
	Toename			5.0	0.44

In Tabel 5 en Tabel 6 zijn de bepaalde padbreedtes voor de verschillende schepen opgenomen, bij een vaarsnelheid van 5 km/uur en 6 km/uur. De aanvullende berekeningen bij 6 km/uur zijn gemaakt om de gevoeligheid in padbreedte inzichtelijk te maken, wanneer er ter plaatse van de Badhuisweg harder wordt gevaren. Wanneer harder wordt gevaren, dan wordt de totale padbreedte verkleind.

Tabel 5: Berekening padbreedte bij een snelheid van 5 km/uur.

Conditie		Schip	Leeg éénbaksdwistel			Spits			Va Lege containers			Va Geladen containers		
Wind uit t.o.v. boeg	Wind (4m) [m/s]		β [°]	[m]	[B]	β [°]	[m]	[B]	β [°]	[m]	[B]	β [°]	[m]	[B]
O 90°	5	Bestaand	10,5	32,5	2,8	11,5	12,7	2,5	15,0	39,4	3,5	7,0	24,6	2,2
	5,5	Nieuw	12,0	37,5	3,3	12,5	13,4	2,6	16,5	42,1	3,7	8	26,4	2,3
	Toename			5,0	0,44		0,7	0,13		2,7	0,24		1,9	0,16
OZO 30°	5	Bestaand	8,0	27,5	2,4	8,5	10,7	2,1	11,5	32,9	2,9	5,0	20,8	1,8
	5,5	Nieuw	9,0	29,5	2,6	9,5	11,4	2,3	13,0	35,7	3,1	5,5	21,8	1,9
	Toename			2,0	0,18		0,7	0,13		2,8	0,24		0,9	0,08
OZO 120°	5	Bestaand	9,5	30,5	2,7	10,0	11,7	2,3	13,0	35,7	3,1	6,0	22,7	2,0
	5,5	Nieuw	10,5	33,2	2,9	11,0	12,4	2,5	14,5	38,4	3,4	6,5	23,6	2,1
	Toename			2,7	0,24		0,7	0,13		2,7	0,24		0,9	0,08
WZW 90°	3	Bestaand	6,0	23,5	2,1	6,0	9,1	1,4	8,5	27,4	2,4	3,5	18,0	1,6
	5	Nieuw	10,5	32,5	2,8	11,5	12,7	2,5	15,0	39,4	3,5	7,0	24,6	2,2
	Toename			9,0	0,79		3,7	0,72		6,6	0,58		6,6	0,58

Tabel 6: Berekening padbreedte bij een snelheid van 6 km/uur.

Conditie		Schip	Leeg éénbaksdwistel			Spits			Va Lege containers			Va Geladen containers		
Wind uit t.o.v. boeg	Wind (4m) [m/s]		β [°]	[m]	[B]	β [°]	[m]	[B]	β [°]	[m]	[B]	β [°]	[m]	[B]
O 90°	5	Bestaand	9,0	29,5	2,6	9,0	11,1		12,0	33,9		5,5	21,8	1,9
	5,5	Nieuw	10,0	31,5	2,8	10	11,7		13,5	36,6		6	22,7	2,0
	Toename			2,0	0,17		0,7	0,13		2,8	0,24		0,9	0,08
OZO 30°	5	Bestaand	6,5	24,5	2,1	6,5	9,4		9,5	29,2		4,0	18,9	
	5,5	Nieuw	7,5	26,5	2,3	7,5	10,1		10,5	31,1		4,5	19,9	
	Toename			2,0	0,18		0,7	0,13		1,9	0,16		0,9	0,08
OZO 120°	5	Bestaand	8,0	27,5	2,4	8,0	10,4		10,5	31,1		4,5	19,9	
	5,5	Nieuw	8,5	28,5	2,5	9,0	11,1		12,0	33,9		5	20,8	
	Toename			1,0	0,09		0,7	0,13		2,8	0,24		0,9	0,08
WZW 90°	3	Bestaand	5,0	21,5	1,9	4,5	8,1		7,0	24,6		2,5	16,1	
	5	Nieuw	9,0	29,5	2,6	9	11,1		12,0	33,9		5,5	21,8	
	Toename			8,0	0,70		3,0	0,59		9,3	0,82		5,6	0,49

Op basis van de berekeningen, opgenomen in Tabel 5 en Tabel 6, volgt:

- 1.) Door de nieuwe bebouwing wordt de padbreedte vergroot voor de windrichtingen: oost, oost-zuidoost en west-zuidwest;
- 2.) Wind uit het oosten resulteert in de grootste padbreedte. De padbreedte in de huidige situatie is voor een windsnelheid van 5,0 m/s (op 4m hoogte) rond de $3,5 \times B$ (scheepsbreedte) voor het CEMT klasse Va containerschip met drie lagen lege containers;
- 3.) In de situatie met de nieuwe bebouwing neemt de windsnelheid uit het oosten toe van 5,0 m/s naar 5,5 m/s. Dit resulteert in een vergroting van de padbreedte. Het schip met de grootste toename in padbreedte is het éénbaksduwstel, waarbij de padbreedte met maximaal $0,44 \times B$ toeneemt;
- 4.) De totale padbreedte in de situatie met de nieuwe bebouwing wordt maximaal $3,7 \times B$. Deze padbreedte komt overeen met een ruimtegebruik van 42,1 meter. Dit ruimtegebruik is nodig voor het lege klasse Va schip;
- 5.) De grootste toename in de padbreedte is voor de richting west-zuidwest, waarbij de windsnelheid tussen de bebouwing toeneemt van 3 naar 5 m/s. Deze toename in windsnelheid resulteert in een vergroting van de padbreedte met meer dan $0,5 \times B$ voor deze windrichting. De totale padbreedte voor de richting west-zuidwest in de toekomstige situatie kleiner dan de padbreedte voor de richting oost (voor alle vier de schepen).

Op basis van het voorgaande wordt geconcludeerd:

- De maximale toename van de padbreedte voor de windrichting uit het oosten is maatgevend voor toetsing aan het criterium ten aanzien van de vergroting van de maximale padbreedte, omdat hier de grootste padbreedte wordt bereikt;
- De grootste verwachte relatieve toename van de padbreedte door de nieuwe bebouwing is maximaal $0,44 \times B$ (voor het éénbaksduwstel) wat minder is dan het in Paragraaf 1.1 gestelde criterium van een maximale toename in de padbreedte van $0,5 \times B$;
- Bij een vaarsnelheid van 6 km/uur rond de Badhuisweg, wordt ten opzichte van een vaarsnelheid van 5 km/uur de padbreedte verkleind. De toename in de padbreedte bij een snelheid van 6 km/uur in de nieuwe situatie is dan maximaal $0,24 \times B$ voor het CEMT klasse Va containerschip met lege containers;
- Het schip met de grootste benodigde padbreedte is het CEMT klasse Va containerschip met lege containers. Dit schip is in vergelijking met het schip met geladen containers driftgevoeliger vanwege de beperktere massa in het water (en de grotere kielspeling) en heeft een groter windoppervlakte;
- Alle berekeningen zijn uitgevoerd zonder het meenemen van een kopschroef. Het gebruik van een kopschroef zal resulteren in een kleinere drifthoek;
- Bij een naderingssnelheid van 5 km/uur is de dwarskracht die wordt gegenereerd met een roeruitslag van 20 graden veel groter dan de roerkrachten die benodigd zijn om de evenwichtssituatie te bereiken;
- De maximale roeruitslag die benodigd is om door de berekende gemiddelde windcondities te varen is kleiner dan 20 graden. Het criterium ten aanzien van het roergebruik wordt daarom niet overschreden. Het effect van windgradiënten kan dan met voldoende reserve op de roerhoek worden opgevangen;
- Bij een naderingssnelheid van 5 km/uur is in vergelijking met een snelheid van 6 km/uur de druk op het roer kleiner en daarmee de benodigde roerhoek groter.

4 CONCLUSIES

4.1 Introductie

Het doel van het onderzoek was een beoordeling te geven van de te verwachten verandering in windhinder voor het scheepvaartverkeer op de Zaan als gevolg van de nieuwbouw aan de Badhuisweg.

Door Actiflow zijn windberekeningen uitgevoerd met behulp van een Computational Fluid Dynamics (CFD) model rond de Badhuisweg voor de huidige situatie en de situatie met nieuwbouw. De berekeningen zijn in de vorm van contourplots van de windsterkte en richting op 4 meter hoogte opgeleverd aan MARIN. De instroomsnelheid behorende bij het windveld is overeenkomstig met een 5% overschrijdingswaarde van de desbetreffende windsector (wat globaal overeen komt met een 2% overschrijdingswaarde van het totaal).

Het onderzoek is door MARIN verricht in twee stappen:

- 1.) Een kwalitatieve beschouwing van de uitgevoerde windberekeningen voor de huidige en de toekomstige situatie. Op basis van de kwalitatieve beschouwing zijn de maatgevende windrichtingen voor de scheepvaart bepaald en de windrichtingen waarvoor een toename in windhinder te verwachten is. Deze windrichtingen zijn in een vervolgstap nader beschouwd;
- 2.) Een kwantitatieve beschouwing met behulp van statische windberekeningen, voor de maatgevende windrichtingen uit stap 1. Hierbij is de verwachte toename in de padbreedte berekend voor verschillende schepen. Op basis van het krachterevenwicht is geverifieerd of het roergebruik beperkt blijft tot 20 graden.

De statische windberekeningen in stap 2 zijn gemaakt voor vier verschillende schepen:

- 1.) Een lege spits met dichte luikenkap;
- 2.) Een leeg éénbaksduwstel met een bak van 90 meter en een duwboot van 27 meter;
- 3.) Een CEMT klasse Va motorschip met drie lagen geladen containers;
- 4.) Een CEMT klasse Va motorschip met drie lagen geladen containers.

Op basis van de statische windberekeningen is de drifthoek, zonder gebruik van kopschroef, in de huidige en de toekomstige situatie bepaald voor de maatgevende windrichtingen (uit Stap 1) voor de drie verschillende schepen bepaald. In de berekening wordt een dwarskracht door het roer meegenomen. Aanvullend is geverifieerd of bij een naderingssnelheid van de Wilhelminasluis van 5 km/uur het roergebruik onder de limiet van 20 graden blijft.

4.2 Conclusies

Op basis van de kwalitatieve beschouwing van de windberekeningen wordt geconcludeerd:

- Voor de windrichtingen oost, oost-zuidoost en west-zuidwest is er een vergroting van de padbreedte door de nieuwe bebouwing ten opzichte van de huidige situatie te verwachten. Wind uit deze richtingen staat onder een hoek ten opzichte van de Voorzaan.
- Voor de windrichtingen west, zuid, zuid-zuidwest is er geen vergroting van de padbreedte ten opzichte van de huidige situatie te verwachten. Wind uit deze richtingen veroorzaakt een sterkere gradiënt, maar de gemiddelde winddruk neemt niet toe. Deze gradiënt kan met behulp van gecontroleerd roergebruik worden opgevangen en resulteert niet in een vergroting van de padbreedte. De wind uit zuid-zuidwest staat in de strekking van de Voorzaan en drukt het schip naar voren, maar hierdoor neemt de padbreedte niet toe.
- Voor de overige richtingen werkt de wind in de nadering van de Wilhelminasluis op de kop van het schip, of zijn de veranderingen in het windveld door de nieuwbouw niet waarneembaar ten opzichte van de huidige situatie. Voor deze windrichtingen is daarom geen windhinder te verwachten.

Op basis van de statische windberekeningen bij een snelheid van 5 km/uur ter hoogte van de Badhuisweg wordt geconcludeerd:

- De maximale toename van de padbreedte voor de windrichting uit het oosten is maatgevend voor toetsing aan het criterium ten aanzien van de vergroting van de maximale padbreedte, omdat hier de grootste padbreedte wordt bereikt;
- De grootste verwachte relatieve toename van de padbreedte door de nieuwe bebouwing is maximaal $0,44 \times B$ voor het éénbaksduwstel. Deze toename in padbreedte is minder dan het gestelde criterium van een maximale toename in de padbreedte van $0,5 \times B$;
- Het schip met de grootste padbreedte is het CEMT klasse Va containerschip met drie lagen lege containers. Dit schip is in vergelijking met het schip met geladen containers driftgevoeliger vanwege het kleinere lateraaloppervlak in het water (en de grotere kielspeling) en heeft een groter windoppervlakte;
- Bij een vaarsnelheid van 6 km/uur rond de Badhuisweg, wordt ten opzichte van een vaarsnelheid van 5 km/uur de padbreedte verkleind. De toename in de padbreedte bij een snelheid van 6 km/uur in de nieuwe situatie is dan maximaal $0,24 \times B$ voor het CEMT klasse Va containerschip met lege containers;
- De maximale roeruitslag die benodigd is om bij de onderzochte windcondities koers te houden is kleiner dan 20 graden voor alle schepen. Het criterium ten aanzien van het roergebruik wordt daarmee niet overschreden.

REFERENTIES

- [Ref. 1] Actiflow, Nieuwbouwproject Badhuisweg 1 te Zaandam” CFD-studie windhinder en windgevaar in de openbare buitenruimte, d.d. 01-04-2021
- [Ref. 2] Actiflow, Bestaande_situatie, d.d. 18-02-2022.
- [Ref. 3] Actiflow, Resultaten Zaan, d.d. 11-02-2022.
- [Ref. 4] N.L.R., Windtunnelonderzoek naar windbelasting op binnenschepen, 1986.

