



Praktijkvisie op de kansen op een aanvaring bij Windpark Westermeerwind

10701D02

INHOUD	Pagina
SAMENVATTING	3
1 INLEIDING	5
1.1 <i>Afkortingen</i>	5
1.2 <i>Samenstelling en aanpak</i>	5
1.2.1 <i>Aanpak</i>	5
1.3 <i>Doelstelling praktijkvisie</i>	6
1.3.1 <i>Achtergrond</i>	6
1.4 <i>Opbouw van het rapport</i>	6
2 MANOEUVREERAFSTANDEN OP BASIS VAN INTERNATIONALE ONTWERPUITGANGSPUNTEN VOOR SCHEPEN	7
3 AANVARINGSKANSEN	10
3.1 <i>Scheepsbewegingen</i>	10
3.2 <i>Veiligheid scheepvaart</i>	10
3.3 <i>Relatieve kanstoename t.o.v. de huidige situatie</i>	13
3.4 <i>Schatting bovengrens huidige situatie</i>	14
3.4.1 <i>Voorbeeld Huidige situatie versus nieuwe, geplande situatie</i>	14
3.4.2 <i>Bovengrens kans op aanvaring</i>	15
3.4.3 <i>Cumulatieve kans voor de verschillende opstellingen</i>	15
4 OVERIGE ASPECTEN SCHEEPVAARTVEILIGHEID EN WINDPARK	16
4.1 <i>Goed zeemanschap</i>	16
4.2 <i>Kans op een black out</i>	16
4.3 <i>Driften bij een black out</i>	16
4.4 <i>Radar en visuele waarnemingen</i>	17
4.5 <i>Aanvaringskansen Scheepvaart Veiligheidsvoorziening (SVV)</i>	18
5 MITIGERENDE MAATREGELEN	20
6 CONCLUSIES	21
6.1 <i>Conclusie met betrekking tot ontwerpcriteria</i>	21
6.2 <i>Conclusie kansen op gevaar van aanvaring</i>	21
6.3 <i>Conclusie betreffende driften bij een black out</i>	21
7 REFERENTIES	23
Bijlage A Berekeningen Kans op Aanvaring Windturbines Westermeerdijk	24

SAMENVATTING

De Koepel Windenergie Noordoostpolder (de Koepel) heeft het voornemen een windpark te realiseren. Een deel van het windpark, de opstellingen Westermeedijk Buitendijks en Noordermeerdijk Buitendijks, bevinden zich in het IJsselmeer nabij de Vaargeul Amsterdam Lemmer. De Koepel heeft HMC gevraagd de aanvaringskans in beeld te brengen ten aanzien van de aanvaring tussen een schip en een windturbine. Daarbij is de kans op aanvaring ten gevolge van koersafwijking beschouwd en de kans op een black out en vervolgens aanvaring.

Het doel van dit rapport is het geven van een onafhankelijke praktijkvisie op risico en aanvaringskansen. In deze samenvatting zijn de conclusies uit de rapportage weergegeven.

Conclusie met betrekking tot ontwerpcriteria:

Een volledige rondtorn tussen de windturbines is niet bij alle varianten (4D of 5D) mogelijk echter de manoeuvreerstanden zijn klein genoeg om achter en tussen de windturbines te manoeuvreren als daar onverhoopt noodzaak toe is.

Conclusie kansen op gevaar van aanvaring:

Rekeninghoudende met de koers en de afstand tot aan de windturbines, cq. de kust is de aanvaringskans per schip en de aanvaringskans op jaarbasis bepaald. Het betreft de kans op een aanvaring, geen inschatting is gemaakt van de ernst van de aanvaring of de mogelijke gevolgen. Bij het bepalen van de aanvaringskans is uitgegaan van een worst-case benadering (bovengrens).

Bij het bepalen van de kansen op aanvaring komt naar voren dat het verschil tussen de verschillende varianten in het MER (3/4MW klasse of 5/8MW klasse en het verschil in onderlinge afstand, 4D of 5D) niet significant is. De eerste twee turbines (WT 2-22 en WT 2-23, zie figuur 4) van de buitenste lijnopstelling ter hoogte van de Westermeedijk zijn bij alle varianten in het MER maatgevend.

De volgende resultaten gevonden:

Aanvaring	Kans per schip	Kans op jaarbasis
1 ^e windturbine Westermeedijk	$< 3,3 \cdot 10^{-6}$	$< 6,9 \cdot 10^{-2}$
2 ^e windturbine Westermeedijk	$< 3,3 \cdot 10^{-9}$	$< 7,3 \cdot 10^{-5}$
Huidige situatie	$< 2,5 \cdot 10^{-31}$	$< 5,6 \cdot 10^{-27}$

Hierbij valt op dat 1^e windturbine aan de Westermeedijk een aanzienlijk hogere bovengrens heeft dan de overige windturbines.

De kans op aanvaring met de Scheepvaart Veiligheidsvoorziening (SVV) is een stuk kleiner dan is berekend voor de eerste windturbine. De kans van aanvaring met de SVV ligt een factor 100 lager ($< 10^{-8}$ per schip en $< 10^{-4}$ per jaar). De functie van de SVV (geleiding en demping reflectiecomponent golven) in combinatie met radarreflectoren en sectorlichten maakt een gedetailleerde kwantitatieve benadering met de beschikbare cijfers niet mogelijk. Volstaan is met de worst case beoordeling zonder rekening te houden met deze aspecten.

De toepassing van sectorlichten en radarreflectoren zullen in geval van onoplettendheid een positieve bijdrage leveren ter voorkoming van aanvaring. Dit is niet meegenomen in de

berekeningen. Hierover kan namelijk geen eenduidige uitspraak worden gedaan in kwantitatieve zin.

Conclusie betreffende driften bij een black out:

De kans op een black out, het stuurloos raken ten gevolge van een storing, bedraagt 1 op 2.500.000 passages, uitgaande van een vaartijd van een half uur, de tijd welke benodigd om de Rotterdamse Hoek te passeren en het begin van de beide windturbineopstellingen.

De vervolgekans op aanvaring, ten gevolge van

1. Voor een leeg schip is de conclusie dat het gevaar van een ongeval gelijk blijft alleen het incident is anders, te weten driften tegen een windturbine of op de dijk lopen.
2. Voor het volle schip is er wel een andere aanvaringskans omdat voor het deel Westermeerdijk Buitendijks de afstand tot de kust varieert van 3 [km] tot 1.2 [km] en de kans op aanvaring toeneemt met het naderen van de kust.

Voor het noordelijke gedeelte (Noordermeerdijk Buitendijks) is de afstand tot de kust 1.3 [km] voor het volle schip is er ongeveer een half uur tijd om een ongeval te voorkomen. De afstanden tot de windturbines zijn 100 [m] met nauwelijks mogelijkheid een aanvaring te voorkomen. Alleen bestaat er een (grotere) kans dat het schip tussen de turbines door glijdt. Gegeven de afstand tussen de windturbines en de lengte van het schip is de kans 1 op 4 dat het schip de windturbines raakt.

1 INLEIDING

1.1 Afkortingen

HMC	Hydrographic and Marine Consultants BV
IMO	International Maritime Organization
ITTC	International Towing Tank Conference
kn	Knopen (zeemijl/uur)
L	Lengte
MARIN	Maritime Research Institute Netherlands
MER	Milieu-effectrapportage
Mijl	= zeemijl = 1852 m
RWS	Rijkswaterstaat
SafeTrans	Acroniem voor een industrie standaard voor transport engineering
SVV	Scheepvaart Veiligheidsvoorziening

1.2 Samenstelling en aanpak

Dit rapport is opgesteld door Hydrographic and Marine Consultants BV (HMC). HMC heeft een samenstelling die ruime nautische ervaring en recente kennis combineert met verschillende deskundigheden nodig in de praktijk. HMC is opgericht 1 januari 1986 en volgt de diverse ontwikkelingen op de praktische nautische veiligheid gekoppeld aan Wbr vergunningen en offshore windparken.

De groep die betrokken is bij dit onderzoek bestaat uit:

- Scheepvaart- en scheepsbouwdeskundige Ir. A.J. Bos MBA Eur. Ing. is projectleider van HMC en aanspreekpunt voor dit onderzoek. Sinds 30 jaar werkzaam als scheepsbouw- en scheepvaart deskundige.
- Dr. Ir. R. Heemskerk, sinds 4 jaar werkzaam bij HMC en in kader van dit onderzoek verantwoordelijk voor de wiskundige en statistische onderbouwing.
- H. van den Berg, scheepsbouwdeskundige en in bezit van groot vaarbewijs en jaren gevaren als schipper.

De rapportage is gebaseerd op de Milieu-effectrapport (MER) Windpark Noordoostpolder, Pondera Consult, 1 oktober 2009 en in het bijzonder:

- Locatie specifiek deel MER, deel 6 van de MER
- Bijlage 7A 15D-WP-NOP-NMD-WMD nautische markeringen-Rev01
- Bijlage 7B 15D-WP-NOP-NMD-WMD nautische markeringen- Rev01
- Veiligheid scheepvaart op de hoofvaaroute Amsterdam- Lemmer, Grontmij Nederland B.V., Infrastructuur & Milieu, De Bilt, 18 september 2009.
- Vergunningaanvraag Wet beheer rijkswaterstaatswerken Windpark Westermeerwind, Westermeerwind B.V. 708013, 20 oktober 2009.

1.2.1 Aanpak

Het verschil in aanvaringskansen voor de scheepvaart tussen de nieuwe en de oude situatie dient te worden aangegeven.

1.3 Doelstelling praktijkvisie

Het doel van dit rapport is het geven van een onafhankelijke praktijkvisie op risico en aanvaringskansen tussen de huidige en de nieuwe situatie. De invloed en effecten van de Scheepvaartveiligheidsvoorziening worden beschouwd.

1.3.1 Achtergrond

De commissie MER, welke het MER van het Windpark Noordoostpolder beoordeelt, vond de wijze van aanvaringskansbepaling onvoldoende. HMC is gevraagd als onafhankelijk deskundige de aanvaringskans te bepalen van de varianten in de MER.

1.4 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 1 is het inleidende hoofdstuk.

Bij het behandelen van de effecten op de scheepvaartveiligheid door de komst van het windpark Noordoostpolder is een indeling gemaakt van onderwerpen die van belang zijn voor de nautische veiligheid tijdens het varen. Deze onderwerpen zijn:

- Hoofdstuk 2: internationale ontwerp uitgangspunten van schepen (zie hoofdstuk 2)
 - bepaling manoeuvreerbaarheid tussen de windturbines
- Hoofdstuk 3 aanvaringskansen
- Hoofdstuk 4: scheepvaartveiligheid
 - goed zeemanschap
 - kans op een black out
 - driften als gevolg van een black out
 - radar en fysieke waarneming
 - Scheepvaartveiligheidsvoorziening.

In hoofdstuk 5 volgen mogelijke mitigerende maatregelen. De conclusies zijn opgenomen in hoofdstuk 6 en we hebben tot slot onze referenties in hoofdstuk 7 opgenomen.

2 MANOEUVREERAFSTANDEN OP BASIS VAN INTERNATIONALE ONTWERPUITGANGSPUNTEN VOOR SCHEPEN

Voor het bepalen van de nodige manoeuvreerafstanden en de uitwijkruimte kan gebruik gemaakt worden van normen die voor zeeschepen wordt gehanteerd. In deze paragraaf worden de benodigde afstanden beschreven en de internationale ontwerp uitgangspunten specifiek toegelicht. Overigens wordt opgemerkt dat feitelijk de IMO en de ITTC-eisen niet van toepassing zijn op het IJsselmeer. In het IJsselmeer en specifiek voor de Vaargeul Amsterdam – Lemmer geldt de Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over Rijkswaterstaatswerken. Uit de WBR-aanvraag komt naar voren dat het windpark aan deze beleidsregel voldoet. De IMO- en ITTC-eisen bieden echter meer inhoudelijke basis om effecten te bepalen.

De benodigde manoeuvreerruimte van schepen wordt door drie onderdelen bepaald. Het ontwerp van het schip, de omstandigheden ter plaatse (o.a. diepgang, stroming, weersomstandigheden en ander verkeer) en de handelswijze van de bemanning.

De IMO en ITTC eisen als weergegeven op bladzijde 6 van de Proceeding of the 23rd International Towing Tank Conference (ITTC) Volume III, 2003, Group discussion B.2: IMO Standards and ITTC. (ref. 14) stellen dat:

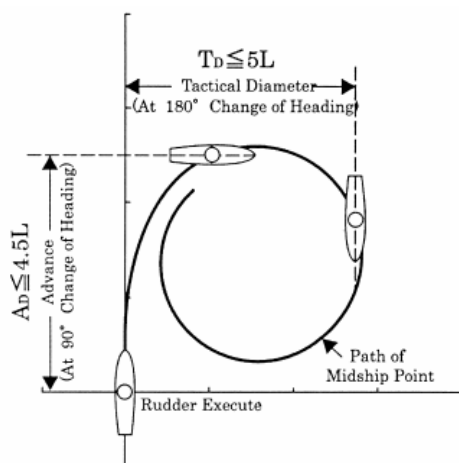
Quote:

- *Turning ability with maximum Rudder angle (draaimogelijkheden met maximale roeruitslag)*
- *Advance $< 4.5L$ (vooruit)*
- *Tactical Diameter $< 5.0L$ (tactische draaicirkel)*

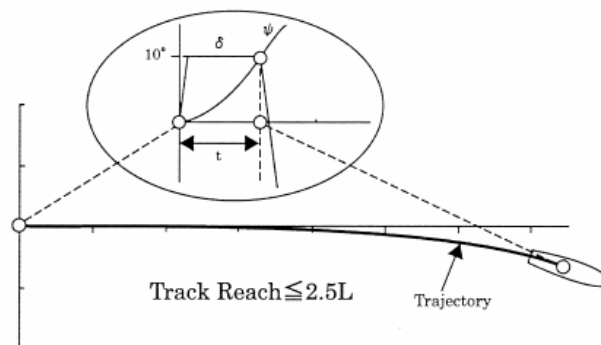
Unquote.

Toelichting:

Hierbij is L de scheeps lengte. In de volgende figuur wordt dit schematische weergegeven.



Figuur 1: draaicirkel



Figuur 2: eis betreffende stoppen

De afstand "Ad" uit figuur 1 is de advance afstand en is kleiner dan 4.5 maal de lengte van het schip. Deze is onder andere bepalend voor de nodige ruimte en afstand bij het uitwijken en manoeuvreren. De afstand Track Reach is de afstoplengte om van manoeuvreersnelheid tot stilstand te komen. Deze dient kleiner of gelijk te zijn aan 2,5 maal de lengte van het schip. Bij uitwijken heeft een schip in de regel een bepaalde snelheid zodat de roerfunctie goed is. Bij lage snelheden, wanneer de roerfunctie gering is, zal er of voldoende manoeuvreerruimte zijn (juist vanwege de lage snelheid) of moeten er in alle andere gevallen maatregelen getroffen worden zodat er veilig gemanoevreed kan worden, bijvoorbeeld met behulp de boegschroef of van sleepboten. Dit is onafhankelijk van de aanwezigheid van een windpark.

- 1: De stopafstand
- 2: Daarbij de afstand die het schip verdrijft ten gevolge van stroming en wind
- 3: Draaicirkel van het schip
- 4: De veiligheidsafstand.

Voor een schip van 110 [m] geldt dan de volgende rekensom:

Ad 1:

De ontworpen stopafstand voor een schip is 2,5 maal de lengte van het schip. Dat is $2,5 * 110$ [m] = 275 [m]. De stopafstand is de afstand om van maximale vaarsnelheid tot snelheid nul te komen, dit is de vaarsnelheid door het water.

Ad 2:

Het verdrijven van een schip zal gelet op de (maximale)stroming en wind in het gebied maximaal 2 lengtes zijn gedurende een manoeuvreerbeweging (ref. 2). De verdrijfafstand is 2 scheepslengtes. Dat is $2 * 110$ [m] = 220 [m].

Ad 3:

De draaicirkel in de lengte van het schip is bepalend en maximaal 4,5 de lengte. Dus $4,5 * 110$ [m] = 495 [m]. De draaicirkel is de maximaal toelaatbare draaicirkel bij de ontwerpsnelheid van het schip.

De rekensom van hier voor is zelfs een conservatieve berekening om de volgende redenen:

1. Voor zowel de stopafstand als de draaicirkel gelden dat de snelheid lager zal zijn omdat de vaart tijdig uit het schip wordt gehaald om veilig en beheerst te kunnen manoeuvreren
2. Voor de draaicirkel geldt dat op lage snelheid de werking van het roer minder wordt, indien dat voor het manoeuvreren een risico oplevert dan zullen maatregelen worden genomen met behulp van de voortstuwingsinstallatie en boegschroef een kleine draaicirkel kan maken.

Conclusie:

Een volledige rondtorn tussen de windturbines is niet bij alle varianten in het MER (zie onderstaand tabel) mogelijk. Echter de manoeuvreerstanden zijn klein genoeg om achter en tussen de windturbines te manoeuvreren als daar onverhoopt noodzaak toe is. De varianten in het MER met een grotere tussenafstand tussen de windturbines geven de meeste manoeuvreerruimte.

MER variant	Rotordiameter [m]	Tussenafstand Noordermeerdijk Binnendijks [m]	Tussenafstand Westermeerdijk Binnendijks [m]
3-4 MW 4x rotordiameter	107	428	428
5-8 MW 4x rotordiameter	127	508	508
3-4 MW 5x rotordiameter	107	535	535
5-8 MW 5x rotordiameter	127	635	635

Tabel 1. Tussenafstanden per MER variant

3 AANVARINGSKANSEN

3.1 Scheepsbewegingen

Uitgaande van de beschikbare gegevens van het CBS die zijn gebruikt in de MER zijn de volgende kengetallen voor de vaarweg 230 Amsterdam- Lemmer van toepassing.

Omschrijving

Aantal passages totale scheepvaart (x1.000) 2002

Aantal passages door schepen bestemd voor vervoer van lading (x1.000), 2002

Aantal passages door schepen niet bestemd voor vervoer van lading (x1.000), 2002

Aantal passages door schepen met gevaarlijke stoffen, incl. lege niet ontgaste schepen, 2002

Ontwikkeling in het totaal aantal scheepvaartpassages, in 2002 t.o.v. 2001

Ontwikkeling in het totaal aantal scheepvaartpassages, in 1994-2002

Ontwikkeling in de passages door schepen bestemd voor vervoer van ladingen in 2002 t.o.v. 2001

Ontwikkeling in de passages door schepen bestemd voor vervoer van ladingen in 1994-2002

Ontwikkeling in de passages door schepen niet bestemd voor vervoer van ladingen 2002 t.o.v. 2001

Ontwikkeling in de passages door schepen bestemd voor vervoer van ladingen in 1994-2002

Kengetal

Geschat op: 60 tot 80

Geschat op: 40 tot 60

Geschat op: 30 tot 40

Geschat op: 3.500 tot 5.000

0% tot 5%

0% tot 15%

0% tot 15%

0% tot 5%

5% tot 10%

0% tot 15%

In de berekeningen is geen rekening gehouden met het gegeven dat niet alle beroepsvaart geladen is. Uitgangspunt is 100% geladen schepen.

3.2 Veiligheid scheepvaart

De veiligheid van de scheepvaart kan op de route Amsterdam- Lemmer nabij het geplande windpark Westermeerwind nadelig beïnvloed worden door de aanwezigheid van het windpark. Tegelijkertijd vertegenwoordigt de scheepvaart een risico voor de windturbines.

De nadelige beïnvloeding bestaat uit het gegeven dat in geval van koersafwijking een aanvaring kan ontstaan tussen een schip en een windturbine. In de huidige situatie zijn deze windturbines niet aanwezig en heeft een schip in geval van een koersafwijking meer tijd, en daarmee een lager risico, op aanvaring. In de huidige situatie betreft aanvaring stranden op de voet van de IJsselmeerdijk (respectievelijk Westermeedijk en Noordermeerdijk).

Koersafwijkingen kunnen optreden op de volgende wijze:

1. Schepen in nood kunnen door wind, golven en stroming uit koers raken;
2. Langdurig varen kan leiden tot onachtzaamheid en verlies van concentratie waardoor een schip te lang doorvaart op een koers met een kleine afwijking met als gevolg een aanvaring;
3. Slecht zicht kan leiden tot desoriëntatie waardoor koersafwijkingen kunnen ontstaan.

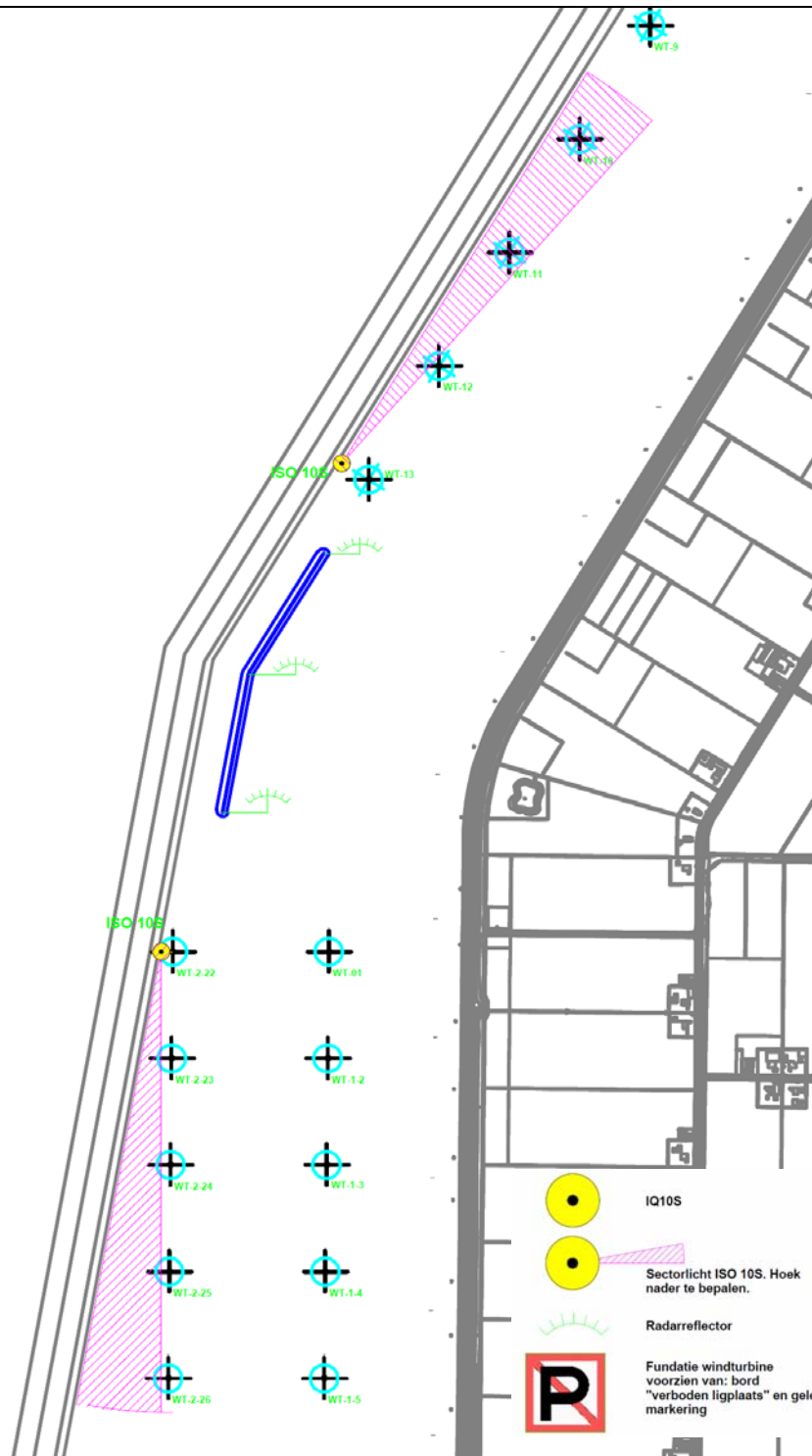
De genoemde argumenten zijn relevant in zowel de huidige als in de geplande, nieuwe situatie. Daarom is een eerste orde schatting gemaakt in hoeverre de kans relatief toeneemt op incidenten ten opzichte van de huidige situatie. Daarna wordt als bovengrens gesteld ten aanzien van de kans op incidenten in de huidige situatie op basis van het aantal voorgevallen incidenten dat de kans op een incident op jaarbasis kleiner is dan 5%. Met deze bovengrens kan dan met de relatieve kanstoename een verwachte bovengrens gesteld worden voor de nieuwe, geplande situatie. Door het hanteren van de bovengrens wordt een worst-case kans bepaald. Eveneens is in de kwantitatieve aanvaringskansen geen rekening gehouden met de sectorlichten en radarreflectoren welke zullen worden aangebracht.

In figuur 3 is de locatie van de windturbines (uitsnede kaart uit WBR-aanvraag) weergegeven ten opzichte van de Vaargeul Amsterdam-Lemmer. In figuur 4, een uitsnede van figuur 3, is de positie van de sectorlichten en radarreflectoren aangegeven.



Figuur 3 positie

windturbines en vaargeul



Figuur 4 Uitsnede situatie nabij Rotterdamse Hoek

3.3 Relatieve kanstoename t.o.v. de huidige situatie

- ad 1. Schepen in nood kunnen door wind, golven en stroming uit koers raken: Aangenomen wordt dat de kans dat een schip in zijwaartse richting verplaatst normaal verdeeld is. De kansdichtheid wordt dan beschreven met onderstaande formule:

$$p = \frac{1}{d_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{d^2}{2d_0^2}\right)$$

waarbij d de afstand is van de koerslijn tot aan het eerste obstakel, de windturbines of de kustlijn en d_0 de gemiddelde variatie in drift is als gevolg van wind, golven en stroming.

De verhouding in kansdichtheid tussen de geplande, nieuwe situatie en de huidige situatie wordt dan:

$$\frac{p_{\text{windmolens}}}{p_{\text{kustlijn}}} = \exp\left(-\frac{d_{\text{windmolens}}^2 - d_{\text{kustlijn}}^2}{2d_0^2}\right)$$

- ad 2. Langdurig varen kan leiden tot onachtzaamheid en verlies van concentratie waardoor een schip te lang doorvaart op een koers met een kleine afwijking met als gevolg een aanvaring: De hoek tussen de te varen koers en de gevaren koers, α kan variëren in de loop der tijd. Deze hoek variatie zal normaal verdeeld zijn rond 0 graden. Verder is van belang de snelheid v waarmee gevaren wordt, de tijd t die nodig is om de afstand te overbruggen naar het eerste obstakel. In dit geval zal:

$$d = \sin(\alpha)vt$$

waarbij d de afstand tussen de vaargeul en het eerste obstakel is, v de snelheid en t de tijd die verstreken is sinds het laatste moment dat het schip op koers lag.

In eerste orde benadering wordt dit:

$$d = \alpha vt$$

De kans dat een afstand d wordt afgelegd is de gecombineerde kans dat bij een hoek α gedurende een tijd t geen koerscorrectie optreed.

$$p = \frac{1}{\alpha_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\alpha_0^2}\right) \exp(-\lambda t)$$

- ad 3. Slecht zicht kan leiden tot desoriëntatie waardoor koersafwijkingen kunnen ontstaan. In principe gaat het hier om dezelfde kans alleen de tijd t voordat een koerscorrectie optreedt is veel langer, waardoor bij benadering de kans op het verstryken van een tijd t zonder een koerscorrectie gelijk aan 1 is. De kansverdeling wordt dan:

$$p = \frac{1}{\alpha_0 \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\alpha^2}{2\alpha_0^2}\right)$$

De verhouding tussen de kans op een aanvaring met de windturbines ten opzichte van de kustlijn wordt dan gegeven door:

$$\frac{p_{\text{windmolens}}}{p_{\text{kustlijn}}} = \exp\left(-\frac{\alpha_{\text{windmolens}}^2 - \alpha_{\text{kustlijn}}^2}{2\alpha_0^2}\right) \exp(-\lambda(t_{\text{windmolen}} - t_{\text{kustlijn}}))$$

Verder dient opgemerkt te worden dat de kans dat een schip de windturbines raakt, het grootst is voor de schepen die varen in de richting van Amsterdam naar Lemmer en wel op het traject voor de Westermeerdijk. De vaarrichting is dan gericht naar de kust en de windturbines toe, waarbij een kleine hoekverandering kan leiden tot het in varen op de kust of de windturbines. Voor de overige koersen is de kans aanzienlijk kleiner

aangezien met parallel of van de windturbines af vaart wanneer met de oude koers vasthoudt. De windturbines aan de Noordermeerdijk zijn ruim genoeg opgesteld bij de Friese hoek vandaan, zodat de huidige situatie ten opzichte van nieuwe, geplande situatie geen drastische toename in de kans op aanvaring laat zien. Voor de koers van Lemmer naar Amsterdam worden de schepen geacht aan de andere zijde van de vaargeul te varen, wat betekent dat de afstand tot aan de windturbines voor deze richting ongeveer 115 m meer bedraagt.

3.4 Schatting bovengrens huidige situatie

Gegeven het aantal scheepsbewegingen per jaar $N_{\text{bewegingen}}$ is er voor iedere passage een kans p_{incident} dat er een incident voordoet. Deze kans p_{incident} is voor de gevallen met zware schade conform tabel 15 van de "Risicoatlas Hoofdvaarwegen Nederland" (Ministerie van V&W, 2003-2) $3,5 \cdot 10^{-8} / \text{km}$, specifiek voor de vaargeul Amsterdam-Lemmer. Anderzijds heeft de commissie geadviseerd om uit te gaan van een ongevalkans voor een falend schip van $5,2 \cdot 10^{-6} / \text{km}$ welke afkomstig is uit de studie Monitoring Nautische Veiligheid (MNV, 1990-1998).

Uitgaande van de huidige situatie en het aantal ongevallen dat zich heeft voorgedaan in de afgelopen jaren nabij de Rotterdamse Hoek kan op grond daarvan geconcludeerd worden dat de initiële kans van $3,5 \cdot 10^{-8} / \text{km}$ te laag is. De oorzaak is het verhoogde risico als gevolg van reflecterende golven op de IJsselmeerdijk. Hierdoor neemt de golfhoogte toe in dit gebied, waardoor schepen door teveel aan dekwater ten onder kunnen gaan. Er zal dus gerekend worden met de hogere kans van $5,2 \cdot 10^{-6} / \text{km}$.

3.4.1 Voorbeeld Huidige situatie versus nieuwe, geplande situatie

Als gevolg van de aanwezigheid van de scheepvaartveiligheidsvoorziening kunnen schepen niet de vaargeul verlaten bij de Rotterdamse hoek om de hoek af te snijden. Er worden geen wijzigingen in vaarroutes verwacht. Als gevolg van de aanwezigheid van de scheepvaartveiligheidsvoorziening wordt eveneens niet verwacht dat schepen tussen de dijk en de turbines bij de Noordermeerdijk zullen varen (dit is voor geladen schepen overigens in beginsel niet aannemelijk gezien de lagere snelheid die zij hier zullen behalen).

Een koersafwijking op het traject Amsterdam – Lemmer ter hoogte van de Westermeerdijk van 10 graden geeft in de huidige situatie een minimale lengte van 6,6 km voordat de kust geraakt wordt en dat is ter hoogte van de Rotterdamse hoek. Dit komt overeen dat een koerscorrectie binnen de 33 minuten wordt vereist bij een snelheid van 12 km per uur om een aanvaring met de kust te voorkomen. Voor kleinere hoeken is deze tijd langer.

In de nieuwe situatie wordt de minimale lengte 317 meter voordat, bij een koersafwijking van 10 graden, de eerste windturbine (WT 2-22) aan de noordkant wordt geraakt bij de opstelling voor de Westermeerdijk. Dit komt overeen bij een snelheid van 12 km per uur dat een koerscorrectie binnen de 95 sec gemaakt moet worden.

Het relevante traject voor de huidige situatie wordt op 3 km gesteld (zie paragraaf 4.3) de afstand dat een vol schip verdaagt. Aangezien voornamelijk volle schepen in de problemen komen bij de Rotterdamse Hoek als gevolg van dekwater. Met deze afstand kan de kans van een incident gelijk gesteld worden aan $1,56 \cdot 10^{-5}$. Wanneer we deze waarden gebruiken voor de koersafwijking welke

een normaalverdeling vertoont afhankelijk van de hoek, dan kan hiermee een bovengrens voor de standaarddeviatie bepaald worden.

3.4.2 Bovengrens kans op aanvaring

De koersafwijking is berekend op het traject Amsterdam – Lemmer ter hoogte van de Westermeerdijk onder de volgende condities:

- De snelheid is gemaximaliseerd op 12 km/uur
- De bovengrens voor de standaarddeviatie in de koersafwijking, α_0 , is op basis van een aanvaringskans van $1.56 \cdot 10^{-5}$ correspondeert met een $\alpha_0 < 10^0 / 4,16$ oftewel $\alpha_0 < 2,40^0$
- De gemiddelde frequentie waarmee een koerscorrectie plaats vindt, is geschat op 2x per min ($\lambda = 2 \text{ min}^{-1}$).

Hiermee zijn rekeninghoudende met de koers en de afstand tot aan de windturbines, cq. de kust de volgende resultaten gevonden:

Aanvaring	Kans per schip	Kans op jaarbasis
1 ^e windturbine Westermeerdijk	$< 3,3 \cdot 10^{-6}$	$< 6,9 \cdot 10^{-2}$
2 ^e windturbine Westermeerdijk	$< 3,3 \cdot 10^{-9}$	$< 7,3 \cdot 10^{-5}$
Huidige situatie	$< 2,5 \cdot 10^{-31}$	$< 5,6 \cdot 10^{-27}$

Hierbij valt op dat 1^e windturbine aan de Westermeerdijk een aanzienlijk hogere bovengrens heeft dan de overige windturbines.

3.4.3 Cumulatieve kans voor de verschillende opstellingen

Uit de voorgaande berekening blijkt dat de ongevallenkans voor de 1^e windturbine een factor 1.000 hoger ligt dan de overige windturbine. Het is dan ook deze kans die bepalend is voor de cumulatieve kans en de bijdrage van de overige turbines zal minder zijn dan 5% ($< 50 / 1.000$).

Aangezien er voor alle alternatieven in het MER de locatie voor de 1^e windturbine bij de Westermeerdijk hetzelfde blijft zal de gecumuleerde kans voor alle alternatieven weinig uiteenlopen. De bijdrage van de overige windturbines is weinig relevant. De aanvaringskans verschilt derhalve niet significant tussen de verschillende varianten.

4 OVERIGE ASPECTEN SCHEEPVAARTVEILIGHEID EN WINDPARK

4.1 Goed zeemanschap

Goed zeemanschap. Dit is het samenstel aan kennis en vaardigheden welke van een gewone bemanning verwacht wordt:

- Als schepen havens of gebieden met veel obstakels naderen zal de gezagvoerder de snelheid van zijn schip zo nodig aanpassen.
- Tevens zal de gezagvoerder extra uitkijken.
- De gezagvoerder zal de radar, als die al niet gedurende de vaart aan staat, inschakelen. De gezagvoerder, dan wel zijn vervanger, zal uitwijk manoeuvres tijdig uitvoeren.

Het effect van goed zeemanschap is dat de kans op koersafwijking ten gevolge van onachtzaamheid/verlies van concentratie afneemt. Het effect hiervan is niet gekwantificeerd. Het verschil met de huidige situatie waarin nagenoeg geen markering van de situatie nabij de Rotterdamse Hoek is relatief groot. Op grond hiervan mag worden verwacht dat in de nieuwe situatie een hogere alertheid zal zijn.

4.2 Kans op een black out

Het transport engineering softwaresysteem SafeTrans heeft als onderdeel de kans op een black out, het uitvallen, van schepen dat is gebaseerd op historische data. Voor de onderhavige bij een vaartijd van een half uur, de tijd welke benodigd om de Rotterdamse Hoek te passeren en het begin van de beide windturbineopstellingen, is de kans 1 op de 2.500.000 passages.

4.3 Driften bij een black out

De aanvaring met een windturbine wordt bepaald door de kans dat na de black out een schip op drift een windturbine raakt. Bij de berekening is het volgende conservatieve uitgangspunt genomen dat het schip bij een black out dwars op de wind en golven komt te liggen. Voor de berekeningen is een standaard binnenvaart tanker, welke als representatief voor het IJsselmeer wordt beschouwd (CEMT-klasse Vb) genomen met de volgende afmetingen:

Lengte	110.00 [m]
Breedte	11.98 [m]
Diepgang leeg	1.00 [m]
Windoppervlak	403.50 [m ²]
Diepgang vol	3.75 [m]
Windoppervlak	183.50 [m ²]
Omgevingscondities:	
Windkracht	33.00 [knopen]= 16.98 [m/sec]
Significante golf	0.60 [m]

De belasting voor het lege schip:

Windbelasting	7.25 [ton]
Golfbelasting	0.72 [ton]

Berekening voor de versnelling

Door middel van de volgende formule kunnen we de versnelling berekenen:

$$\frac{F \cdot G}{(l \cdot b \cdot T) \cdot C_b \cdot \rho}$$

Toelichting letters & symbolen.

F	= De kracht in [ton] die uit de bollard pull berekening komt
G	= De Zwaartekrachtconstante die is vastgesteld op 9,81 [m/sec ²]
l	= De lengte van het schip in meters [m]
b	= De breedte van het schip in meters [m]
T	= De diepgang van het schip in meters [m]
C _b	= De blokcoëfficiënt van 0.8
ρ	= De dichtheid van het water (zoetwater ρ = 1.000 zoutwater ρ = 1.025) [ton/m ³]

Uit deze formule komt versnelling in [m/sec²]

Voor het volle schip komt dit neer op een versnelling van het driften van 0.0076 [m/sec²]. Het schip zal een snelheid krijgen van 1.7 [knopen] = 0.9 [m/sec]. Wij gaan ervanuit dat er binnen 1 uur sleepboot assistentie ter plaatse kan zijn. Het volle schip zal ongeveer 3 [km] verdagen.

Voor het lege schip komt dit neer op een versnelling van het driften van 0.048 [m/sec²]. Het lege schip zal een snelheid krijgen van 6.7 [knopen] = 3.4 [m/sec], dit bereikt het schip in enkele minuten. Wij gaan er vanuit dat er binnen 1 uur sleepboot assistentie ter plaatse kan zijn. Het lege schip zal ongeveer 12 [km] verdagen.

Conclusie:

1. Voor een leeg schip is de conclusie dat het gevaar van een ongeval gelijk blijft alleen het incident is anders, te weten driften tegen een windturbine of op de dijk lopen.
2. Voor het volle schip is er wel een andere vervolgcans op aanvaring, omdat voor het deel Westermeerdijk Buitendijks de afstand tot de kust varieert van 3 [km] tot 1.2 [km] en de ongevalskans toeneemt voor het deel nabij de Westermeerdijk.
3. Voor het deel nabij de Noordermeerdijk is de afstand tot de kust 1.3 [km] voor het volle schip is er ongeveer een half uur tijd om een ongeval te voorkomen. De afstanden tot de windturbines zijn 100 [m] met nauwelijks mogelijkheid een ongeval te voorkomen. Alleen bestaat er een kans dat het schip tussen de molens door glijdt. Gegeven de afstand tussen de molens is de kans 1 op 4 dat het schip de molens raakt.

4.4 Radar en visuele waarnemingen

De verlichting door middel van sectorlichten van het windpark kan positief bijdragen aan visuele plaatsbepaling. Turbines worden conform richtlijnen van de International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities verlicht juist omwille van maritieme veiligheid. Bovendien is de verlichting van het windpark zo dat dit geen desoriëntatie zal opleveren voor scheepvaart. De windturbineparken hebben voldoende onderscheidend vermogen en de effecten ervan op het radarbeeld zijn als acceptabel te beschouwen. Aan de hand van uitgevoerde praktijkonderzoek is gebleken dat windturbines in het IJsselmeer met behulp van radar

onderscheidend kunnen worden waargenomen. Het toepassen van additionele maatregelen zoals steunradar en radarreflectoren wordt niet als noodzakelijk beschouwd.

4.5 Aanvaringskansen Scheepvaart Veiligheidsvoorziening (SVV)

De kans op aanvaring met de Scheepvaart Veiligheidsvoorziening (SVV) is een stuk kleiner dan is berekend voor de eerste windturbine (zie paragraaf 3.4.2). De aanvaringskans ligt meer dan een factor 100 lager ($< 10^{-8}$ per schip en $< 10^{-4}$ op jaarbasis (22.000 passages)).

5 MITIGERENDE MAATREGELEN

Uit de berekening van de aanvaringskansen blijkt dat de eerste windturbine (WT 2-22) nabij de Rotterdamse Hoek van de buitenste opstelling Westermeerdijk Buitendijks bepalend is voor de aanvaringskans van een schip met een windturbine voor elke variant. De oorzaak hiervan is gelegen in de combinatie van de ligging van de vaargeul (in een hoek gericht op de turbine) en de ligging van de turbine nabij de vaargeul. Om de aanvaringskansen met het windpark te beperken liggen maatregelen met betrekking tot deze turbine derhalve ook in de rede. Daarbij kan gedacht worden aan het verminderen van de aanvaringskans maar ook aan het verminderen van de gevolgschade.

Mogelijke mitigerende maatregelen:

- Het bepalen van het effect van signalering; zoals toepassing van het sectorlicht en de radarreflectoren. Een vergelijking met de effectiviteit van deze maatregelen bij andere objecten in of nabij de vaarweg, zoals bruggilaren wordt daarbij aanbevolen.
- Het verplaatsen van de windturbine of de buitenste rij van windturbines om de afstand tot de vaargeul te vergroten. Een verplaatsing van 50 m naar de Westermeerdijk toe kan leiden tot een vermindering van de aanvaringskans ($< 3.5 \cdot 10^{-8}$ per schip en $< 7.7 \cdot 10^{-4}$ op jaarbasis (22.000 passages)).
- Het achterwege laten van de betreffende windturbine WT 2-22
- Om de gevolgschade te beperken kan een constructie op of bij de windturbine worden overwogen, zoals een goede fendering. Aandachtspunt daarbij is dat dit niet leidt tot een andere aanvaringskans en dat er aandacht voor moet zijn dat de maatregel niet resulteert in een grotere aanvaringskans.

(Indien er een goede fendering wordt aangebracht dan komt een schip in geval van aanvaring met haar berghoutsgang tegen de windmolen. De berghoutsgang van een schip is daarvoor sterk ontworpen.)

6 CONCLUSIES

6.1 Conclusie met betrekking tot ontwerpcriteria

Een volledige rondtorn tussen de windmolens is niet mogelijk, echter de manoeuvreerstanden zijn klein genoeg om achter en tussen de windturbines te manoeuvreren als daar onverhoopt noodzaak toe is.

6.2 Conclusie kansen op gevaar van aanvaring

De aanvaringskansen voor de huidige en de toekomstige situatie zijn bepaald. Daarbij is uitgegaan van de bovengrens en is geen rekening gehouden met de toepassing van sectorlichten en radarreflectoren.

Rekeninghoudende met de koers en de afstand tot aan de windturbines, cq. de kust de volgende resultaten gevonden:

Aanvaring	Kans per schip	Kans op jaarbasis
1 ^e windturbine Westermeedijk	$< 3,3 \cdot 10^{-6}$	$< 6,9 \cdot 10^{-2}$
2 ^e windturbine Westermeedijk	$< 3,3 \cdot 10^{-9}$	$< 7,3 \cdot 10^{-5}$
Huidige situatie	$< 2,5 \cdot 10^{-31}$	$< 5,6 \cdot 10^{-27}$

Hierbij valt op dat 1^e windturbine aan de Westermeedijk een aanzienlijk hogere bovengrens heeft dan de overige windturbines.

De gecumuleerde kans van alle windturbines wordt voor meer dan 95% bepaald door de 1^e windturbine bij Westermeedijk welke voor alle alternatieven hetzelfde is. Daardoor zal de gecumuleerde kans voor alle alternatieven niet significant verschillen zonder toepassing van de mitigerende maatregel (achterwegen laten van de betreffende turbine).

De kans op aanvaring met de Scheepvaart Veiligheidsvoorziening (SVV) is een stuk kleiner dan is berekend voor de eerste windturbine (zie paragraaf 3.4.2). Deze kans is een factor 100 kleiner dan de aanvaring met de 1^e windturbine bij de Westermeedijk.

Zowel de Scheepvaart Veiligheidsvoorziening als het sectorlicht zal in geval van onoplettendheid een bijdrage in positieve zin geven, dit leidt tot een verhoogde alertheid. Dit is niet meegenomen in de berekeningen. Hierover kan namelijk in kwantitatieve zin geen eenduidige uitspraak worden genomen.

6.3 Conclusie betreffende driften bij een black out

De initiële kans op een black out bedraagt, voor een tijd van een half uur, 1 op 2.500.000 passages. Voor de vervolgekans op aanvaring met een windturbine bij drift geldt:

1. Voor een leeg schip is de conclusie dat het gevaar van een aanvaring gelijk blijft alleen het incident is anders, te weten driften tegen een windturbine of op de dijk lopen.
2. Voor het volle schip is er wel een andere aanvaringskans omdat voor het zuidelijk deel, Westermeedijk buitendijks, de afstand tot de kust varieert van 3 [km] tot 1.2 [km] en de aanvaringskans toeneemt voor het zuidelijke deel.

3. Voor het noordelijke gedeelte, Noordermeerdijk buitendijks, is de afstand tot de kust 1.3 [km] voor het volle schip is er ongeveer een half uur tijd om een ongeval te voorkomen. De afstanden tot de windturbines zijn 100 [m] met nauwelijks mogelijkheid een ongeval te voorkomen. Alleen bestaat er een kans dat het schip tussen de turbines door glijdt. Gegeven de afstand tussen de turbines is de kans 1 op 4 dat het schip de turbines raakt.

7 REFERENTIES

1. Vergunningaanvraag Wet beheer rijkswaterstaatswerken Windpark Westermeerwind, Westermeerwind B.V. 708013, 20 oktober 2009.
2. Locatie specifiek deel MER, deel 6 van de MER
3. Bijlage 7A 15D-WP-NOP-NMD-WMD nautische markeringen-Rev01
4. Bijlage 7B 15D-WP-NOP-NMD-WMD nautische markeringen- Rev01
5. Veiligheid scheepvaart op de hoofvaaroute Amsterdam- Lemmer, Grontmij Nederland B.V., Infrastructuur& Milieu, De Bilt, 18 september 2009.
6. Beleidsbrief zeevaart April 2008: Verantwoord varen en een vitale vloot (brief 2^{de} kamer, 04 april 2008)
7. Proceeding of the 23rd International Towing Tank Conference (ITTC) Volume III, 2003, Group discussion B.2: IMO Standards and ITTC.

**BIJLAGE A BEREKENINGEN KANS OP AANVARING WINDTURBINES
WESTERMEERDIJK**

Tabel A-1: Overzicht afstand vaargeul tot aan windturbine voor de windturbines voor de Westermeerdijk.

Windturbine voorste rij	Afstand tot vaargeul (m)
1	55
2	134
3	214
4	293
5	373
6	452
7	531
8	611
9	690
10	769
11	849
12	928
13	1008
14	1087
15	1166
16	1246
17	1325
18	1404
19	1484
20	1563
21	1643

Tabel A-2: Overzicht kansen voor verschillende posities voor aanvaring met de Rotterdamse hoek in de huidige situatie. Hierbij is t de geplande vaartijd tot aan het punt dat de Rotterdamse hoek wordt gepasseerd, d de afstand tot aan de Rotterdamse hoek, α is de minimaal vereiste hoekafwijking om de Rotterdamse hoek te raken, p_{hoek} de bijbehorende kansdichtheid (normaal verdeling) met een standaarddeviatie van $2,40^0$, p_{tijd} de kansdichtheid (Poisson verdeling) op basis van de afstand, de snelheid (12 km/uur) en de koerscorrectie frequentie van 2 per min., $p_{aanvaring}$ de gecombineerde kans p_{hoek} en p_{tijd} en $\langle p_{aanvaring} \rangle_{tijd}$ de tijdsgemiddelde kansdichtheid van $p_{aanvaring}$.

Huidige Situatie

t (min)	d (m)	α (deg)	$\delta\alpha$ (deg)	p_{hoek}	p_{tijd}	$p_{aanvaring}$	$\langle p_{aanvaring} \rangle_{tijd}$
0	1200.	79.000	0.716	0	6.14E-06	0	
0.5	1223.	74.396	0.703	0	4.88E-06	0	0
1	1253.	69.990	0.686	0	3.59E-06	0	0
1.5	1291.	65.817	0.666	0	2.47E-06	0	0
2	1335.	61.900	0.644	0	1.59E-06	0	0
3	1440.	54.864	0.597	0	5.55E-07	0	0
4	1564.	48.862	0.549	0	1.61E-07	0	0
5	1702.	43.786	0.505	0	4.04E-08	0	0
6	1851.	39.500	0.464	0	9.06E-09	0	0
7	2010.	35.872	0.428	0	1.86E-09	0	0
8	2175.	32.784	0.395	0	3.56E-10	0	0
9	2346.	30.138	0.366	0	6.47E-11	0	0
10	2521.	27.855	0.341	0	1.12E-11	0	0
11	2699.	25.872	0.318	0	1.89E-12	0	0
12	2880.	24.136	0.298	0	3.08E-13	0	0
13	3064.	22.606	0.280	0	4.91E-14	0	0
14	3250.	21.251	0.264	0	7.68E-15	0	0
15	3437.	20.042	0.250	0	1.18E-15	0	0
16	3625.	18.959	0.237	1.33E-15	1.79E-16	2.39E-31	2.3908E-31
17	3815.	17.983	0.225	2.69E-14	2.69E-17	7.23E-31	7.2329E-31
18	4006.	17.100	0.215	3.72E-13	4E-18	1.49E-30	1.4857E-30
21	4582.	14.894	0.188	1.45E-14	1.25E-18	1.81E-30	5.4305E-30

	9			10	20	30	
	5360.			2.35E-	5.27E-	1.24E-	
25	0	12.695	0.160	08	24	31	4.9481E-31
	6339.			1.11E-	2.94E-	3.25E-	
30	4	10.709	0.136	06	28	34	1.6268E-33
	6929.			5.19E-	8.02E-	4.16E-	
33	8	9.787	0.124	06	31	36	1.2479E-35

Tabel A-3: Overzicht kansen voor verschillende posities voor de 1^e Windturbine voorste rij Westermeedijk. Hierbij is t de geplande vaartijd tot aan het punt dat de windturbine wordt gepasseerd, d de afstand tot aan de 1^e windturbine, α is de minimaal vereiste hoekafwijking om de 1e windturbine te raken, p_{hoek} de bijbehorende kansdichtheid (normaal verdeling) met een standaarddeviatie van $2,40^0$, p_{tijd} de kansdichtheid (Poisson verdeling) op basis van de afstand, de snelheid (12 km/uur) en de koerscorrectie frequentie van 2 per min., $p_{\text{aanvaring}}$ de gecombineerde kans p_{hoek} en p_{tijd} en $\langle p_{\text{aanvaring}} \rangle_{\text{tijd}}$ de tijdsgemiddelde kansdichtheid van $p_{\text{aanvaring}}$.

Nieuwe Geplande Situatie - 1e Windmolen

t (min)	d (m)	α (deg)	$\delta\alpha$ (deg)	p_{hoek}	p_{tijd}	$p_{\text{aanvaring}}$	$\langle p_{\text{aanvaring}} \rangle_{\text{tijd}}$
0	55.0	79.000	15.255		0	0.57695	0
0.5	123.0	26.041	6.954		0	0.292353	0
1	217.3	14.386	3.949	1.21E-07	0.113826	1.38E-08	6.91174E-09
1.5	315.2	9.864	2.725	0.000201	0.042786	8.6E-06	4.30219E-06
2	414.0	7.493	2.075	0.003429	0.015918	5.46E-05	2.7288E-05
3	612.9	5.054	1.402	0.026755	0.002179	5.83E-05	5.83062E-05
4	812.3	3.811	1.058	0.05057	0.000297	1.5E-05	1.50024E-05
5	1011.9	3.058	0.849	0.06294	4.03E-05	2.54E-06	2.53597E-06
6	1211.7	2.554	0.709	0.066976	5.47E-06	3.66E-07	3.66087E-07
7	1411.5	2.192	0.609	0.066642	7.41E-07	4.94E-08	4.93813E-08
8	1611.4	1.920	0.533	0.06429	1E-07	6.46E-09	6.45543E-09
9	1811.3	1.708	0.474	0.061127	1.36E-08	8.31E-10	8.31494E-10
10	2011.2	1.538	0.427	0.057742	1.84E-09	1.06E-10	1.06385E-10
11	2211.2	1.399	0.389	0.054415	2.5E-10	1.36E-11	1.35768E-11
12	2411.1	1.283	0.356	0.051268	3.38E-11	1.73E-12	1.73212E-12
13	2611.1	1.185	0.329	0.048349	4.57E-12	2.21E-13	2.21172E-13
14	2811.0	1.101	0.306	0.045667	6.19E-13	2.83E-14	2.82834E-14
15	3011.0	1.027	0.285	0.043215	8.38E-14	3.62E-15	3.6234E-15
16	3210.9	0.963	0.268	0.040974	1.14E-14	4.65E-16	4.65094E-16
17	3410.9	0.907	0.252	0.038928	1.54E-15	5.98E-17	5.9816E-17
18	3610.9	0.857	0.238	0.037056	2.08E-16	7.71E-18	7.70784E-18
21	4210.8	0.735	0.204	0.032318	5.16E-19	1.67E-20	5.00173E-20
25	5010.8	0.617	0.172	0.027536	1.73E-22	4.77E-24	1.90721E-23
30	6010.7	0.515	0.143	0.023189	7.87E-27	1.82E-28	9.11896E-28
33	6610.7	0.468	0.130	0.021168	1.95E-29	4.13E-31	1.23834E-30

Tabel A-4: Overzicht kansen voor verschillende posities voor de 2° Windturbine voorste rij Westermeedijk. Hierbij is t de geplande vaartijd tot aan het punt dat de windturbine wordt gepasseerd, d de afstand tot aan de 2° windturbine, α is de minimaal vereiste hoekafwijking om de 2° windturbine te raken, p_{hoek} de bijbehorende kansdichtheid (normaal verdeling) met een standaarddeviatie van $2,40^0$, p_{tijd} de kansdichtheid (Poisson verdeling) op basis van de afstand, de snelheid (12 km/uur) en de koerscorrectie frequentie van 2 per min., $p_{aanvaring}$ de gecombineerde kans p_{hoek} en p_{tijd} en $\langle p_{aanvaring} \rangle_{tijd}$ de tijdsgemiddelde kansdichtheid van $p_{aanvaring}$.

Nieuwe Geplande Situatie - 2e Windmolen

t (min)	d (m)	α (deg)	$\delta\alpha$ (deg)	p_{hoek}	p_{tijd}	$p_{aanvaring}$	$\langle p_{aanvaring} \rangle_{tijd}$
0	134.4	79.000	6.369		0	0.260862	0
0.5	182.2	46.394	4.707		0	0.161754	0
1	261.4	30.310	3.285		0	0.073265	0
1.5	351.3	22.051	2.445		0	0.029795	0
2	445.6	17.218	1.928	6.79E-12	0.011607	7.88E-14	3.94208E-14
3	639.4	11.906	1.344	1.4E-06	0.001672	2.34E-09	2.33833E-09
4	836.1	9.077	1.028	0.000151	0.000234	3.52E-08	3.52449E-08
5	1034.1	7.329	0.831	0.001377	3.23E-05	4.45E-08	4.44679E-08
6	1232.7	6.143	0.697	0.004505	4.43E-06	2E-08	1.99569E-08
7	1431.7	5.286	0.600	0.008965	6.05E-07	5.43E-09	5.42759E-09
8	1631.0	4.639	0.527	0.01366	8.26E-08	1.13E-09	1.12763E-09
9	1830.4	4.133	0.470	0.017833	1.12E-08	2E-10	2.00402E-10
10	2029.9	3.726	0.423	0.021177	1.53E-09	3.24E-11	3.23587E-11
11	2229.5	3.392	0.385	0.023667	2.08E-10	4.91E-12	4.91298E-12
12	2429.2	3.113	0.354	0.025405	2.82E-11	7.16E-13	7.16018E-13
13	2629.0	2.876	0.327	0.02653	3.82E-12	1.01E-13	1.01473E-13
14	2828.7	2.673	0.304	0.02718	5.19E-13	1.41E-14	1.41019E-14
15	3028.5	2.496	0.284	0.027468	7.04E-14	1.93E-15	1.93267E-15
16	3228.3	2.342	0.266	0.027489	9.54E-15	2.62E-16	2.62223E-16
17	3428.2	2.205	0.251	0.027314	1.29E-15	3.53E-17	3.5318E-17
18	3628.0	2.084	0.237	0.026999	1.75E-16	4.73E-18	4.73131E-18
21	4227.7	1.788	0.203	0.025581	4.36E-19	1.11E-20	3.34488E-20
25	5027.4	1.503	0.171	0.023328	1.47E-22	3.42E-24	1.36879E-23
30	6027.1	1.254	0.143	0.020652	6.68E-27	1.38E-28	6.89669E-28
33	6627.0	1.141	0.130	0.01923	1.66E-29	3.19E-31	9.56331E-31

Tabel A-5: Overzicht van de gecumuleerde tijdsgemiddelden voor de verschillende cases.

	per schip	per jaar
1e Windmolen		
<P _{aanvaring} >tijd	3.26862E-06	0.069385175
2e Windmolen		
<P _{aanvaring} >tijd	3.29703E-09	7.25319E-05
Huidige Situatie		
<P _{aanvaring} >tijd	2.53789E-31	5.58336E-27