

Challenging wind and waves

Linking hydrodynamic research to the maritime industry

VEILIGHEIDSSSTUDIE OFFSHORE WINDPARK Q4-WEST

Eindrapport

Rapport Nr. : 26171-1-MSCN-rev.3

Datum : 21 maart 2013

Paraaf Management:



VEILIGHEIDSTUDIE OFFSHORE WINDPARK Q4-WEST

Opdrachtgever : Pondera Consult B.V.
Welbergweg 49
Postbus 579
7550 AN Hengelo

Revisienr.	Status	Datum	Auteur	Voor gezien
1	Concept	14 januari 2013	Ir. W.H. van Iperen	
2	Concept	18 maart 2013	Ir. W.H. van Iperen	
3	Eind	21 maart 2013	Ir. W.H. van Iperen	Y. Koldenhof

INHOUDSOPGAVE	Pag.
1 INLEIDING.....	6
2 DOELSTELLING	6
3 WERKWIJZE	7
3.1 SAMSON.....	7
3.2 Effect van het windpark.....	9
3.3 Modelinvoer en uitgangspunten.....	10
3.3.1 Verkeer	10
3.3.2 Gebruikte modellen	11
3.4 Gevolgschade	11
3.4.1 Schade aan windturbine en schip.	12
3.4.2 Bepalen van persoonlijk letsel.....	15
3.5 Effecten voor de scheepvaart	15
3.6 Cumulatieve effect	17
3.7 Kruisende scheepvaart	17
3.8 Tijdelijk onmanoeuvrerebare schepen	30
4 RESULTATEN.....	33
4.1 Locatie, scenario's en configuraties.....	33
4.2 Aanvaar/aandrijf frequenties windparken	35
4.3 Gevolgschade	39
4.3.1 Schade aan het schip.....	39
4.3.2 Schade aan de windturbines	39
4.3.3 Milieuschade.....	39
4.3.4 Persoonlijk letstel.....	40
4.4 Effecten en overige risico's voor de scheepvaart	41
4.5 Het effect van het werkverkeer op het risico.....	41
4.6 Het cumulatieve effect	42
4.7 Radardekking van de Nederlandse havens.....	42
4.8 Kruisende scheepvaart	42
5 MAATREGELEN	43
5.1 Gebruik van AIS.....	43
5.2 Inzet van een ETV (Emergency Towing Vessel)	43
5.3 Autonome ontwikkeling uitstroom van olie.....	44
6 CONCLUSIES	46
REFERENTIES	47
APPENDIX A1:.....	1
Resultaten windpark Q4-West variant v112.....	1
APPENDIX A2:.....	7
Resultaten windpark Q4-West variant v164.....	7

OVERZICHT VAN TABELLEN EN FIGUREN

Tabellen:

Tabel 3-1	Bezijskvormen met de geschatte percentages van voorkomen en de schatting van de resulterende schade aan de turbine en het schip.....	14
Tabel 4-1	Configuratiegegevens varianten windpark Q4-West.....	34
Tabel 4-2	Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen per jaar voor windpark Q4-West per variant.....	37
Tabel 4-3	Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen gemiddeld per turbine voor windpark Q4-West per variant.....	37
Tabel 4-4	Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen per MWh voor windpark Q4-West per variant.....	37
Tabel 4-5	Uitstroomkans en hoeveelheid van bunkerolie en ladingolie	40
Tabel 4-6	Uitstroomkans en hoeveelheid bunkerolie en ladingolie per MWh40	
Tabel A1-1	Locatie, aanvaar- en aandrijfkansen turbines windpark Q4-West variant v112	1
Tabel A1-2	Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor Q4-West variant v112	3
Tabel A1-3	Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende sloopstypen	3
Tabel A1-4	Schade aan het totale windpark Q4-West variant v112.....	3
Tabel A1-5	Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de sloopstypen en energieklassen voor alle Q4-West windturbines in variant v112	4
Tabel A1-6	Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine.....	4
Tabel A1-7	Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine.....	5
Tabel A1-8	Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine.....	5
Tabel A1-9	Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine.....	6
Tabel A1-10	Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt	6
Tabel A2-1	Locatie, aanvaar- en aandrijfkansen turbines windpark Q4-West variant v164	7
Tabel A2-2	Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor Q4-West variant v164	9
Tabel A2-3	Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende sloopstypen	9
Tabel A2-4	Schade aan het totale windpark Q4-West variant v164.....	9
Tabel A2-5	Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de sloopstypen en energieklassen voor alle Q4-West windturbines in variant v164 ..	10
Tabel A2-6	Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine.....	10
Tabel A2-7	Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine.....	11
Tabel A2-8	Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine.....	11
Tabel A2-9	Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine.....	12
Tabel A2-10	Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt	12

Figuren:

Figuur 3-1	Systeemdiagram SAMSON	8
Figuur 3-2	Figuren van de verschillende bezwijkvormen.	12
Figuur 3-3	Windpark gezien vanaf het eigen schip.....	18
Figuur 3-4	Windpark gezien vanaf het schip met een klein schip in het buitenbeeld	19
Figuur 3-5	Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks (I) ...	22
Figuur 3-6	Opstelling windturbines in dichte opstelling versprongen (II).....	22
Figuur 3-7	Opstelling versprongen maar net als II maar 90° gedraaid (III)	23
Figuur 3-8	Opstelling vierkant als I maar dan 45° gedraaid (IV).....	23
Figuur 3-9	Schaduwstukken > 10 m, > 20 m en > 30 m.....	24
Figuur 3-10	Schaduw > 40 m, > 50 m en maximale lengte van een schaduwstuk	25
Figuur 3-11	Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, vaarafstand 500 m	26
Figuur 3-12	Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, vaarafstand 1000 m	26
Figuur 3-13	Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, afstand tussen turbines 580 m en vaarafstand 500 m	27
Figuur 3-14	Schaduw > 10 m, > 20 m en > 30 m lengte van een schaduwstuk voor de gevoeligheidsanalyse	28
Figuur 3-15	Schaduw > 40 m, > 50 m en maximale lengte van een schaduwstuk voor de gevoeligheidsanalyse	29
Figuur 3-16	NUC-records met snelheid over de grond < 6 knopen en drifthoek > 30° (maart -december 2005, bruin westwaarts, zwart oostwaarts)	30
Figuur 3-17	Aantal storingen op traject tot havenmond.....	32
Figuur 3-18	Aantal storingen op traject tot havenmond.....	32
Figuur 4-1	Overzicht van de nieuwe verkeerssituatie en de vergunde en aanwezige windparken.	34
Figuur 4-2	Verkeerssituatie in de directe omgeving van windparklocatie Q4- West.....	35
Figuur 4-3	Weergave van aanvaar- en aandrijfkansen voor Q4-West variant v112 en de turbines van windparken Q4, Prinses Amalia Windpark en Near Shore Windpark Egmond aan Zee	38
Figuur A1-1	Lay-out en aanvaar- en aandrijfkansen turbines windpark Q4-West variant v112	1
Figuur A1-2	Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer) ...	4
Figuur A2-1	Lay-out en aanvaar- en aandrijfkansen turbines windpark Q4-West variant v164	7
Figuur A2-2	Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer) .	10

1 INLEIDING

Eneco is voornemens een offshore windpark Q4-West te ontwikkelen op de gelijknamige locatie in de Noordzee. Voor deze ontwikkeling dient Eneco een MER uit te voeren, en heeft Pondera Consult B.V. opdracht gegeven dit MER op te stellen. In opdracht van Pondera heeft MARIN een veiligheidsstudie uitgevoerd om de risico's van het windpark voor de scheepvaart te bepalen.

De aanwezigheid van een offshore windpark heeft over het algemeen consequenties voor de routes van het scheepvaartverkeer in de buurt van het windpark. Sommige schepen moeten alternatieve routes kiezen of omvaren. De veranderingen van de verkeersstromen rond het windpark kunnen resulteren in toename van het aanvaringsrisico van schepen onderling. De aanwezigheid van het windpark veroorzaakt ook direct een risico op aanvaring of aandrijving van de turbines door de schepen.

In de omgeving van de locatie Q4-West zijn meerdere windparken gepland en reeds vergund, en twee windparken zijn bovendien reeds enkele jaren in gebruik. Bij de berekeningen wordt daarom uitgegaan van de verkeerssituatie waarin ook de vergunde windparken aanwezig zijn. Daarnaast wordt in de berekeningen niet uitgegaan van de huidige verkeerssituatie, maar de situatie zoals deze zal zijn nadat op 1 augustus 2013 de nieuwe routestructuur op de Noordzee van kracht zal zijn.

De opbouw van dit rapport is als volgt:

Hoofdstuk 2 bevat de doelstelling van deze studie. In Hoofdstuk 3 is geschetst hoe de veiligheidsstudie is opgezet, welke informatie nodig is en waar deze informatie vandaan komt. Wanneer men hiermee bekend is kan het tweede deel van het hoofdstuk dus worden overgeslagen. In afwijking van andere veiligheidsstudies is het cumulatieve effect door andere aanwezige windparken in deze studie opgenomen als basissituatie, en niet als extra beschouwing. De nieuwe routestructuur houdt namelijk al rekening met de andere parken.

De resultaten van de veiligheidsstudie voor het windpark Q4-West worden gegeven in Hoofdstuk 4. In Hoofdstuk 5 wordt ingegaan op eventuele maatregelen die het risico voor de scheepvaart kunnen verkleinen. Hoofdstuk 6 bevat de conclusies van de studie.

2 DOELSTELLING

Het doel van de studie is om voor twee varianten van het windpark Q4-West de risico's voor de scheepvaart te bepalen. Dit wordt gedaan door de aanvaar- en aandrijfkansen van de windturbines te bepalen, en daarnaast de verwachte frequenties en volumes van olie-uitstroom.

3 WERKWIJZE

In dit hoofdstuk wordt de generieke werkwijze bij veiligheidsstudies voor windparken beschreven. Deze beschrijving is op veel punten identiek aan de beschrijving uit voorgaande windpark studies, maar wijkt ook op een aantal onderdelen af.

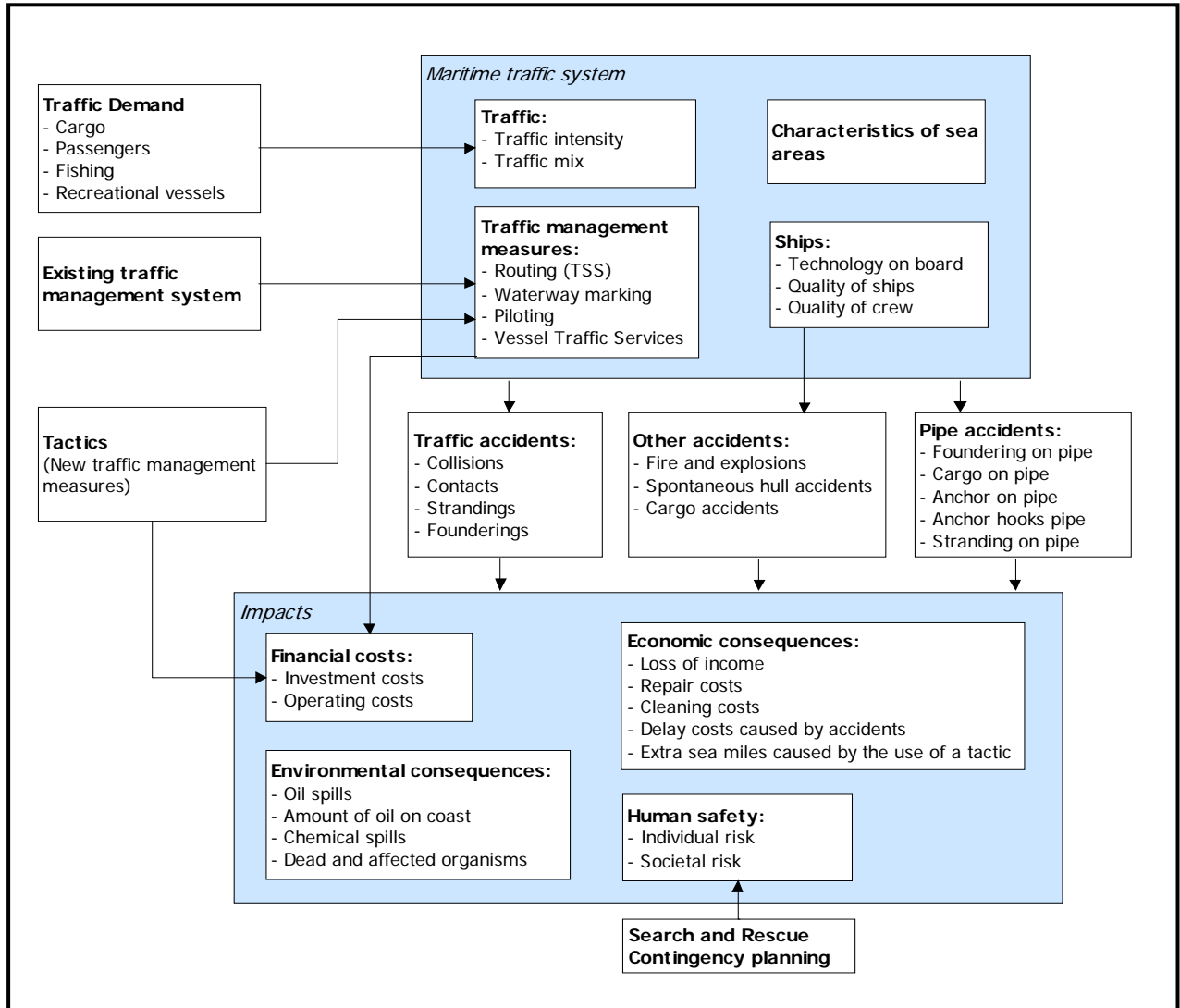
3.1 SAMSON

Het SAMSON-model (Safety Assessment Model for Shipping and Offshore on the North Sea) is ontwikkeld voor het voorspellen van effecten van ruimtelijke ontwikkelingen in de Noordzee, van ontwikkelingen in de scheepvaart zelf en van maatregelen ten aanzien van de scheepvaart. De effecten die met het model bepaald kunnen worden bestaan uit:

- Aantal ongevallen per jaar, onderverdeeld naar aard van de ongevallen en betrokken schepen en objecten.
- Omgevaars afstand en gerelateerde kosten
- Emissie van milieugevaarlijke stoffen
- Consequenties van ongevallen, zoals het uitstromen van lading- of bunkerolie of persoonlijk letsel.

Het model is ontwikkeld voor Directoraat-Generaal Goederenvervoer (nu Directoraat-Generaal Transport en Luchtvaart) en wordt gebruikt om de kansen en consequenties van alle type ongevallen op zee te schatten. Een algemene beschrijving van het model kan worden gevonden in [1]. In de executive summary van POLSSS, Policy for Sea Shipping Safety [2], wordt beschreven op welke wijze SAMSON gebruikt is om de kosten en gevolgen van een groot aantal beleidsmaatregelen te voorspellen.

In Figuur 3-1 wordt het systeemdiagram weergegeven van het SAMSON-model, vrijwel alle blokken in dit diagram zijn beschikbaar binnen het model. Het grote blok "Maritime traffic system" (rechts boven) bevat vier sub-blokken. Deze vier sub-blokken beschrijven het verkeersbeeld; het aantal scheepsbewegingen, de scheepskenmerken (lengte enz.) en de lay-out van het zeegebied. De ongevalsmodellen voor een aanvaring, stranding, brand/explosie etc. worden gebruikt om de ongevals-frequentie te voorspellen gebaseerd op het verkeersbeeld. Het grote blok "Impacts" bevat de sub-blokken waarmee de consequenties bepaald worden van de ongevallen.



Figuur 3-1

Systeemdiagram SAMSON

3.2 Effect van het windpark

De aanleg van het windpark heeft gevolgen voor de scheepvaart. Een schip dat nu een route volgt door het toekomstige windpark, zal in de toekomst zijn route moeten verleggen en het windpark op minimaal 500 meter afstand passeren. Dit betekent dat dit schip **hinder** ondervindt van het windpark. Er zijn echter meer gevolgen. Doordat het schip een andere route neemt krijgen de scheepvaartroutes buiten het windpark een hogere (misschien fractioneel) intensiteit. Als gevolg van de hogere intensiteiten op deze routes is het de verwachting dat het aantal ontmoetingen en dus ook het aantal ongevallen toeneemt.

Er treden echter ook nieuwe typen ongevallen op, namelijk **aanvaringen** en **aandrijvingen** met een windturbine van het windpark. In SAMSON worden dit soort ongevallen aangeduid met respectievelijk **rammings** en **drifting contacts**;

- Een **ramming** (aanvaring) is het gevolg van een navigatiefout, wanneer de navigator van een schip, dat op ramkoers ligt met een windturbine van het windpark, niet of te laat reageert. Een navigatiefout kan verschillende oorzaken hebben, zoals; onwetendheid, het niet zien van het windpark, het niet aanwezig zijn op de brug, onwel worden en niet kunnen reageren etc. De snelheid bij de aanvaring is hoog.
- Een **drifting** (aandrijving) treedt op wanneer een schip door een machinestoring niet meer manoeuvreerbaar is. In eerste instantie zal men proberen voor anker te gaan, maar indien dit niet mogelijk is, is het schip overgeleverd aan wind, golven en stroom. Een driftend schip kan vervolgens tegen een windturbine van het windpark komen zonder dat men dit aan boord kan voorkomen. De aanvaring is dwarsscheeps en de snelheid gering.

Deze ongevallen komen voort uit het scheepvaartverkeer rondom het windpark en **behoeven niet noodzakelijkerwijs** tot de groep schepen beperkt te blijven die door het gebied van het windpark voeren toen dat er nog niet was.

Om de effecten van het windpark op de scheepvaart te kunnen berekenen moet de nieuwe afwikkeling van het scheepvaartverkeer voor de situatie met het windpark in SAMSON gemodelleerd worden. De scheepvaart moet het windpark op minimaal 500 m passeren. Door de grootte van het windpark wordt de verkeersafwikkeling duidelijk beïnvloed door het windpark. Voor iedere locatie van het windpark is daarom een nieuwe verkeersdatabase aangemaakt, waarin het veranderde vaarpatroon is ingebracht. Vervolgens kunnen de ongevalsmodellen van SAMSON toegepast worden voor het doorrekenen van de effecten van het windpark voor de scheepvaart. Op basis van de nieuwe verkeersdatabase wordt een complete **risicoanalyse** uitgevoerd. Dit houdt in dat het *veranderde* risico voor de scheepvaart wordt bepaald ten gevolge van de veranderingen in de verkeersafwikkeling rond het windpark. Daarboven wordt het door het windpark geïntroduceerde nieuwe risico, namelijk de kans op een aanvaring met het windpark bepaald.

3.3 Modelinvoer en uitgangspunten

De volgende uitgangspunten, zijnde aannames, modelinput en parameters worden voor de berekeningen gehanteerd.

3.3.1 Verkeer

Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van een verkeersdatabase. Een verkeersdatabase bevat links, linkintensiteiten en linkkarakteristieken. Een link is de rechte verbinding tussen twee punten. De linkintensiteit beschrijft het aantal schepen dat per jaar over die link vaart, onderverdeeld naar scheepstype en scheepsgrootte. De linkkarakteristiek beschrijft hoe breed de link is en de laterale verdeling hoe het verkeer over die link verdeeld is. Het verkeer op zee wordt onderverdeeld in twee groepen, namelijk het "routegebonden" en het "niet-routegebonden" verkeer. Het routegebonden verkeer bevat de scheepsbewegingen van de koopvaardij schepen, die op weg zijn van haven A naar haven B. Het niet-routegebonden verkeer bevat de scheepsbewegingen van de schepen die een missie ergens op zee hebben, zoals visserij, supplyvaart, werkvaart en recreatievaart. In SAMSON zijn deze scheepsgroepen op een verschillende manier gemodelleerd.

Het *routegebonden* verkeer is gemodelleerd op scheepvaartroutes over de Noordzee. Vanwege de ligging van de havens en de verkeersscheidingsstelsels beweegt het grootste deel van deze schepen zich over een netwerk van links (met een bepaalde breedte), vergelijkbaar met het wegennetwerk op het land. In de praktijk kunnen er schepen buiten deze links varen aangezien men overal mag varen, zolang men de regels in acht neemt. Dit aandeel is echter zeer klein aangezien de links met elkaar alle kortste verbindingen tussen havens omvatten.

De linkstructuur gaat uit van de nieuwe routestructuur op de Noordzee, zoals deze vanaf 1 augustus 2013 zal zijn. In deze routestructuur is al rekening gehouden met de ontwikkeling van een aantal reeds gebouwde of vergunde windparken.

De intensiteiten (aantal schepen dat per jaar passeert) op de scheepvaartroutes zijn bepaald door alle scheepsreizen van een jaar die geheel of gedeeltelijk over de Noordzee hebben plaatsgevonden, toe te wijzen aan deze links. Al deze scheepsreizen worden door Lloyd's Marine Intelligence Unit (voorheen Lloyd's Maritime Information Services) verzameld. De laatste keer dat deze informatie ten behoeve van SAMSON is gekocht en verwerkt, betrof alle scheepsreizen van het jaar 2008. Bij het toewijzen van het verkeer worden de aantallen schepen varende van vertrekpunt A naar bestemming B uit 2008 gerouteerd over de routestructuur van 2013.

Voor de windparklocatie wordt een aangepaste verkeersdatabase gegenereerd, waarbij ervoor wordt gezorgd dat het *routegebonden* verkeer niet door de desbetreffende windparklocatie vaart. De aanvaar- en aandrijfkansen voor de turbines worden alleen bepaald voor de aangepaste verkeersdatabase, de database waarbij de locatie voor het windpark is vrijgemaakt.

Het *niet-routegebonden* verkeer (visserij, supplyvaart, werkvaart en recreatievaart) kan niet op de voorgaande wijze worden gemodelleerd. Het gedrag van dit verkeer op zee is duidelijk anders. Men vaart niet van haven A naar haven B langs duidelijke routes, maar van haven A naar een of meerdere bestemmingen op zee en vervolgens meestal weer terug naar de vertrekhaven A. Het gedrag op zee is meestal onvoorspelbaar. Vissers varen bovendien nog vaak heen en weer in een visgebied. Dit is de reden waarom dit verkeer door middel van dichtheden in SAMSON is gemodelleerd. De gemiddelde dichtheid in 8 bij 8 km gridcellen komt uit het VerkeersOnderzoek NOordzee Visuele Identificatie (VONNOVI). VONNOVI is gebruikt voor de validatie van de scheepvaartroutes

van het *routegebonden verkeer* en voor het bepalen van de benodigde dichtheden van het *niet-routegebonden verkeer*.

Tijdens een VONNOVI-vlucht wordt een aantal raaien afgevlogen. Zodra men een schip dat binnen een raai vaart ziet, wordt de positie en de scheepsnaam genoteerd. Later worden andere scheepskenmerken toegevoegd en worden alle waarnemingen verwerkt. Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van de verkeersdichtheden op basis van de VONNOVI-vluchten van 1999 -2001. Het overgrote deel van de *niet-routegebonden* scheepvaart bestaat uit vissers.

Supplyvaart: De supplyvaart verzorgt de bevoorrading van de platforms. Ze onderscheiden zich van de vissers en recreatievaart doordat de bestemming vaak vast ligt. IJmuiden en Den Helder zijn supply bases. Hier is relatief veel supplyvaart. Deze vaart gedraagt zich direct buiten de havens veel meer als *routegebonden* vaart. De supplyvaart is dan ook uit het *niet-routegebonden* verkeer gehaald en op extra links aan de routestructuur van de *routegebonden* schepen toegevoegd.

3.3.2 Gebruikte modellen

Het totale SAMSON-model bestaat uit verschillende submodellen voor de verschillende ongevallen. Om het effect van het windpark te kwantificeren op de locatie van het wind park wordt het aantal aanvaringen en aandrijvingen per jaar bepaald. Hiervoor worden de volgende modellen gebruikt:

- Contact met een vast object (windturbine)
 - als gevolg van een navigatie fout (ramming)
 - als gevolg van een motorstoring (drifting)

Om het effect van het windpark voor de scheepvaart buiten de windparklocatie te schatten, wordt het risiconiveau met en zonder het windpark vergeleken. Om het "algemene" risiconiveau vast te stellen worden de volgende modellen gebruikt:

- Schip-schip aanvaringen
- Contact met een platform
 - als gevolg van een navigatiefout (ramming)
 - als gevolg van een motorstoring (drifting)
- Contact met een pier
 - als gevolg van een navigatiefout (ramming)
 - als gevolg van een motorstoring (drifting)
- Stranden
 - als gevolg van een navigatiefout (ramming)
 - als gevolg van een motorstoring (drifting)

3.4 Gevolgschade

Als gevolg van een aandrijving of een aanvaring van een windturbine kan schade ontstaan, zogenaamde gevolgschade. Deze schade bestaat uit schade aan de windturbine, schade aan het schip, milieuschade als gevolg van een uitstroom van olie bij schade aan een schip en persoonlijk letsel als gevolg van de aanvaring/aandrijving.

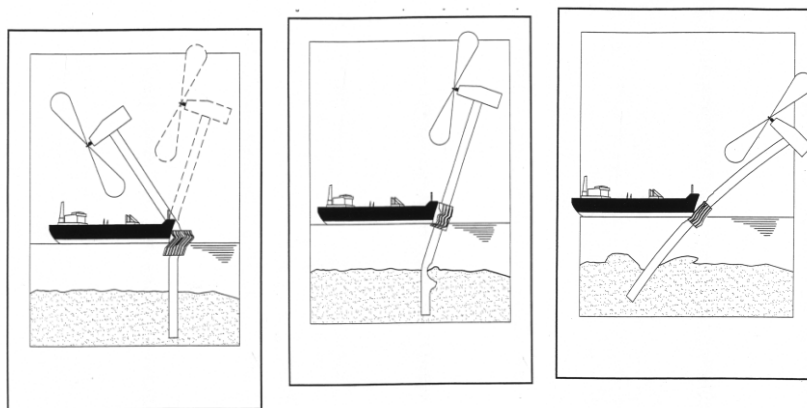
Van de schepen welke in aanvaring of aandrijving met het windpark komen is de verdeling bekend over de vaarsnelheden, vaarrichting, scheepstype en scheepsgroottes. Deze gegevens zijn voldoende om de energie welke maximaal aanwezig is in de botsing te bepalen. Deze energiemaat wordt gebruikt om deels op basis van ervaring deels op basis van complexe berekeningen de schade aan het schip te bepalen die in aanvaring met elkaar of een object komen. Uitgangspunt is dat de

volledige energie gedissipeerd wordt in de botsing. De aanwezige energie in varende of driftende schepen is voor deze studie ook bepaald en gepresenteerd per scheepstype met de daarbij behorende kansen van optreden.

3.4.1 Schade aan windturbine en schip.

Voor de meeste scheepstypen is geen sprake van volledige dissipatie van de energie na een botsing vanwege de beperkte energieopname van het aangevaren object. Het bezwijkgedrag van de windturbines is onderzocht [3]. Hieruit bleek dat voor bijna alle scheepstypen de windturbine statisch gezien bezwijkt en daarbij slechts een fractie van de energie dissipeert. Voor de verdere analyse van de gevolgschade worden de volgende twee bezwijkvormen onderscheiden:

- **Knikken;** de windturbine bezwijkt door te knikken op het punt van impact, gevolgd door plastische vervorming, waarbij de mast blijft vast zitten. Ten slotte valt de turbine naar het schip toe of juist van het schip af. In het geval dat de turbine richting het schip valt kan de rotor met de gondel op het dek terechtkomen.
- **Scharnieren;** de windturbine bezwijkt door het ontstaan van een plastisch scharnier bij de “bevestiging” op de bodem van de zee. De windturbine kan als gevolg van het ontstaan van dit scharnier afbreken of wordt in zijn geheel (inclusief bodem) omver geduwd. Het feitelijke scharnierpunt wordt dan verdeeld over de lengte in de bodem en is geen punt meer maar een deel van de mastfundering in de bodem die plastisch buigt en deels meegeeft.



Figuur 3-2 *Figuren van de verschillende bezwijkvormen.*

Welke van deze beide bezwijkvormen optreedt, is alleen op basis van een dynamische berekening vast te stellen. Experts hebben op basis van hun onderzoek de frequentie van voorkomen geschat voor de verschillende bezwijkvormen. Daar waar de effecten nog niet zijn in te schatten heeft men voor een conservatief standpunt gekozen. Zo kan de mast met gondel van het schip af of op het schip vallen. Wat in werkelijkheid gebeurt, hangt van veel constructiewaarden en omgevingsfactoren af. Voor de nu uitgevoerde berekeningen wordt aangenomen dat de mast met gondel altijd op het schip valt ingeval van knikken.

In Tabel 3-1 wordt een overzicht gegeven van verschillende bezwijkvormen als gevolg van een aanvaring of aandrijving van een windturbine per scheepsgrootte. Ook wordt in de tabel aangegeven wat de verwachte schade aan het schip zal zijn. Dit is de gevolgschadetabel die ook in [3] is gebruikt. Het bovenste deel van Tabel 3-1 geldt wanneer de turbine knikt. Kleine schepen hebben niet genoeg massa om de turbine te

doen knikken. Pas vanaf een scheepsgrootte van 1000 GT kan dit optreden (kans 10%) en bij schampen treedt dit pas op bij 1600 GT. Bij aandrijven is de energie onvoldoende om de turbine te doen knikken.

Bij de frontale en de frontale/laterale (schampen) aanvaringen zal wel ernstige schade ontstaan aan de boeg van het schip, maar geen ernstige schade ("Geen" in Tabel 3-1) optreden in het ladinggedeelte van het schip. De constructie van het schip voor het aanvaringsschot (voorpiekschot) is zeer stijf waardoor de schade beperkt zal blijven tot het deel van het schip voor het aanvaringsschot waar lek raken geen uitstroom tot gevolg heeft omdat er geen lading of brandstof in dit deel van het schip aanwezig is. Bij het schampen zal het zeer stijve en uitwaaiierende voordek van het schip de energie zonder veel schade opvangen. Wel kan er schade ontstaan aan het dek, in het geval de mast en/of gondel op het dek valt.

Bij aandrijving van een windturbine wordt geen milieuschade verwacht omdat de windturbine zodanig is opgebouwd dat er geen uitsteeksels zijn die de huid van het tegen de windturbine drijvende schip beschadigen.

Persoonlijk letsel en milieuschade zijn voor een aanvaring/aandrijving alleen te verwachten wanneer de gondel met mast op het schip valt ("Gosmos" in Tabel 3-1).

Wel komt er een zeer geringe hoeveelheid olie in het water van de windturbine zelf wanneer deze omvalt of bezwijkt. De verontreiniging bestaat uit 250 liter minerale olie (qua viscositeit en verdamping vergelijkbaar met de SAMSON-categorie ladingolie) en maximaal 100 liter dieselolie (qua viscositeit en verdamping vergelijkbaar met SAMSON-categorie bunkerolie).

Tabel 3-1 *Bezwijkvormen met de geschatte percentages van voorkomen en de schatting van de resulterende schade aan de turbine en het schip.*

Bezwijkvormen	Scheepsgrootte	Aanvaring (rammen)						Aandrijving (driften)					
		Frontaal (10%)			Schampen (90%)			Lateraal middenschips (100%)			Lateraal excentrisch (0%)		
		Aan-deel	Beschadiging		Aan-deel	Beschadiging		Aan-deel	Beschadiging		Aan-deel	Beschadiging	
			Turbine	Schip		Turbine	Schip		Turbine	Schip		Turbine	Schip
Knikken	<500	0%	Nee	Geen	0%	Nee	Geen						
	500-1000	0%	Ja	Geen	0%	Nee	Geen						
	1000-1600	5%	Gos Mos ¹	Dek	0%	Ja	Geen						
	1600-10000	10%	Gos Mos	Dek	5%	Gos Mos	Dek						
	10000-30000	10%	Gos Mos	Dek	10%	Gos Mos	Dek						
	30000-60000	10%	Gos Mos	Dek	10%	Gos Mos	Dek						
	60000-100000	10%	Gos Mos	Dek	10%	Gos Mos	Dek						
	>100000	10%	Gos Mos	Dek	10%	Gos Mos	Dek						
Scharnieren	<500	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen
	500-1000	100%	Ja	Geen	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen	100%	Nee	Geen
	1000-1600	95%	Ja	Geen	100%	Ja	Geen	100%	Nee	Huid	100%	Nee	Geen
	1600-10000	90%	Ja	Geen	95%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Nee	Geen
	10000-30000	90%	Ja	Geen	90%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Ja	Geen
	30000-60000	90%	Ja	Geen	90%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Ja	Geen
	60000-100000	90%	Ja	Geen	90%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Ja	Geen
	>100000	90%	Ja	Geen	91%	Ja	Geen	100%	Ja	Huid	100%	Ja	Geen

¹ GosMos = Gondel Op Schip en Mast Op Schip na plastische vervorming

3.4.2 Bepalen van persoonlijk letsel

Voor de windturbines zijn de frequenties van de verschillende schadevormen bepaald, waaruit de mogelijk optredende milieuschade in termen van persoonlijk letsel en milieuschade is bepaald. Hierbij is uitgegaan van een aantal worst case benaderingen.

Uitgaande van het aantal aanvaringen/aandrijvingen zijn de volgende rekenslagen per scheepstype en grootte gemaakt.

- Aantal aanvaringen/aandrijvingen wordt vermenigvuldigd met de bijbehorende kans op een bepaalde bezwijkvorm.
- Vermenigvuldiging met de kans voor die bezwijkvorm dat de gondel met mast op het schip valt ("Gosmos" in de Tabel 3-1). Aangezien niet bekend is wat de kans is dat de mast op het schip valt, dan wel van het schip af valt wordt hier met een factor 1 gerekend, dus met het worst case scenario dat de mast altijd op het schip valt.
- Vermenigvuldiging met het beschadigingsgedeelte van het dek. Hierin zitten twee worst case benaderingen, namelijk;
 - De mast valt geheel op het schip. Bij het schampen zal echter de mast vaak schuin over het dek kantelen en hierbij slechts geringe schade aanrichten.
 - Het oppervlak van de mast inclusief het volledige rotorblad wordt genomen, dus alsof de windturbine al draaiend intact op het dek valt.
- Vermenigvuldiging met de kans dat iemand zich bevindt op het beschadigde gedeelte. De kans dat een persoon zich ergens aan dek bevindt wordt op 10% geschat. In werkelijkheid is deze kans veel kleiner, aangezien vrijwel alleen bij vissersschepen bemanning aan dek te vinden is, maar deze groep zit vrijwel niet in de groep schepen die de mast doet knikken. Deze 10% bevat ook de mensen die indirect worden getroffen door het doorwerken van de dekschade tot de ruimtes daaronder waarin personen aanwezig zijn.
- Vermenigvuldiging met het aantal personen aan boord, immers de kans is voor ieder persoon afzonderlijk bepaald.

Het persoonlijk letsel doordat mensen vallen door de klap zelf is niet gemodelleerd, ook niet voor de kleine schepen die frontaal tegen de bescherming van de mast varen waarbij het schip (recreatievaartuig) volledig vernield wordt. Voor deze categorie schepen zijn de kansmodellen ook onbetrouwbaar. Bovendien zullen deze schepen vrijwel altijd schampen.

3.5 Effecten voor de scheepvaart

Het gebied van het windpark indien het eenmaal gebouwd is, vormt een "verboden" gebied voor alle scheepvaart (met uitzondering van reparatie/onderhoudsvaartuigen). Het is dus goed mogelijk dat schepen een andere route moeten volgen dan voor de bouw van het windpark. Hierdoor verandert het verkeersbeeld rond het windpark. Het aantal afgelegde scheepsmijlen kan door de aanwezigheid van het windpark toenemen.

De toename van de afgelegde scheepsmijlen, de extra kosten en de CO₂ uitstoot worden berekend door de resultaten voor de situatie met een windpark te vergelijken met de situatie zonder windpark, de zogenaamde autonome situatie. (De autonome situatie is in deze studie echter vrijwel dezelfde als de situatie met windpark, aangezien het routegebonden verkeer in de nieuwe verkeersstructuur niet door de aanwezigheid van het windpark beïnvloed zal worden. In deze studie zal het onderstaande daarom niet worden uitgevoerd.)

In de POLSSS (POLicy for Sea Shipping Safety) studie [2] voor het Directoraat-Generaal Goederenvervoer (DGG) is gebruik gemaakt van een scorekaart voor het weergeven van effecten voor de scheepvaart van maatregelen. De aanwezigheid van het windpark heeft over het algemeen invloed op de verkeersafwikkeling en heeft daardoor effect op de veiligheid voor de scheepvaart. Vanuit de POLSSS-scorekaart is de windpark-scorekaart afgeleid door een aantal (voor het windpark) nauwelijks ter zake doende items te verwijderen.

Scorekaart

De resultaten voor de situatie met een windpark worden steeds vergeleken met de nulsituatie voor het windpark, zijnde de situatie zonder windparken.

Voor ieder item van de scorekaart wordt het totaal resultaat voor de Nederlandse Exclusieve Economische Zone (EEZ) gegeven voor de situatie met het windpark. Van ieder item wordt ook het **effect van het windpark** bepaald, dus het resultaat van de situatie met het windpark minus de situatie zonder windpark. Om een idee te vormen van wat het *effect van het windpark* betekent, wordt de procentuele verandering van de situatie met het windpark ten opzichte van de autonome situatie gegeven.

De scorekaart bevat de volgende items:

Algemeen:

Per scheepstype wordt het gemiddeld aantal aanwezige schepen in de EEZ gegeven. Omdat de mogelijkheid bestaat dat schepen moeten “omvaren” door de aanwezigheid van het windpark, betekent dit dat het schip “langer” op zee is en dus het gemiddeld aantal aanwezige schepen toeneemt.

Veiligheid:

- Het aantal schepen (routegebonden en niet-routegebonden) dat per jaar betrokken is bij een aanvaring tussen schepen.
- Het aantal strandingen per jaar als gevolg van een navigatiefout
- Het aantal strandingen per jaar als gevolg van een motorstoring (driften)
- Het aantal schepen dat gemiddeld per jaar zinkt
- Het verwachte aantal incidenten per jaar dat er door externe omstandigheden een gat in de huid ontstaat, waardoor bijvoorbeeld olie in zee kan stromen
- Het totaal aantal ongevallen per jaar

3.6 Cumulatieve effect

Naast het windpark beschreven in dit rapport wordt een aantal andere windparken gebouwd op de Noordzee. Het cumulatieve effect van deze windparken op de verkeersveiligheid wordt, in tegenstelling tot eerdere veiligheidsstudies, niet apart inzichtelijk gemaakt, maar wordt als basissituatie beschouwd. De nieuwe routestructuur die vanaf 1 augustus 2013 van kracht zal zijn, houdt namelijk al rekening met deze windparken. Het cumulatieve effect dat de toekomstige windparken kan hebben op de scheepsroutes, wordt dus al opgevangen door de nieuwe routestructuur.

De windturbines van de op dit moment (januari 2013) meest waarschijnlijke realisatie voor een park zijn als vaste objecten meegenomen in de scenario's. In Hoofdstuk 4 wordt bij de beschrijving van deze configuraties aangegeven welke windparken als gerealiseerd worden beschouwd.

Voor het bepalen van de impact op de scheepvaartveiligheid door de gezamenlijke windparken, is het eigenlijk nodig dat de inrichtingen van alle windparken, die hierin meegenomen worden, bekend zijn. De definitieve inrichting van andere windparken is echter nog niet altijd bekend. Daarom wordt in zulke gevallen uitgegaan van de meest waarschijnlijke inrichtingsvariant.

Uitgaande van deze inrichtingsvarianten is een verkeersdatabase gemaakt waarbij de gebieden voor de windparken zijn vrijgehouden voor het routegebonden verkeer.

3.7 Kruisende scheepvaart

Schepen die elkaar naderen met kruisende koersen dienen tijdig vast te kunnen stellen of er gevaar voor aanvaring bestaat en dienen voldoende mogelijkheden c.q. ruimte te hebben om een mogelijke aanvaring te voorkomen. Daartoe dient men goed zicht op elkaar te hebben, zowel visueel als via de radar. Windturbineparken belemmeren dit zicht. Zowel visueel (windturbines blokkeren zicht op de navigatielichten van het schip) als op de radar (afscherming, valse echo's, windturbines geven o.a. dikke echo's op het scherm). Dit geldt zeer zeker waar zich vele windturbines tussen de beide schepen bevinden, en in mindere mate waar zich enkele windturbines tussen beide schepen bevinden. Echter, op het punt dat zich nog maar enkele windturbines tussen beide schepen bevinden, kunnen de schepen elkaar al dicht genaderd zijn. De "Bepalingen ter voorkoming van aanvaring op zee", (artikel 8) eisen dat men tijdig en duidelijk actie neemt op basis van betrouwbare informatie.

In dit hoofdstuk wordt nagegaan in hoeverre het mogelijk is om tijdelijk actie te nemen op basis van betrouwbare informatie.

Om meer inzicht in de problematiek te verkrijgen is een windpark gebouwd (gemodelleerd) in het buitenbeeld van de full scale manoeuvreersimulator van het MARIN. In dit beeld zijn steeds twee kruisende schepen gemodelleerd. De navigator bestuurt het schip dat aan de westkant van het park van zuid naar noord vaart en een "collision avoidance manoeuvre" moet uitvoeren voor het andere schip, dat aan de noordkant van het park van oost naar west vaart (zie Figuur 3-5). De simulatiorun is zo samengesteld dat wanneer beide schepen niets zouden doen er een aanvaring zal plaatsvinden. Dit snijpunt van de kruisende koerslijnen wordt verder 'kruispunt' genoemd. De navigator heeft alle navigatiemiddelen (met uitzondering van AIS) ter beschikking. Het windpark en de verstoring van het windpark op achterliggende objecten, zijn gemodelleerd. De vraag is of de navigator in staat is om het andere kleine (om het probleem te vergroten) schip vroegtijdig te signaleren, de koers en snelheid van dit schip te bepalen en eventueel een manoeuvre in te zetten om de aanvaring te voorkomen.

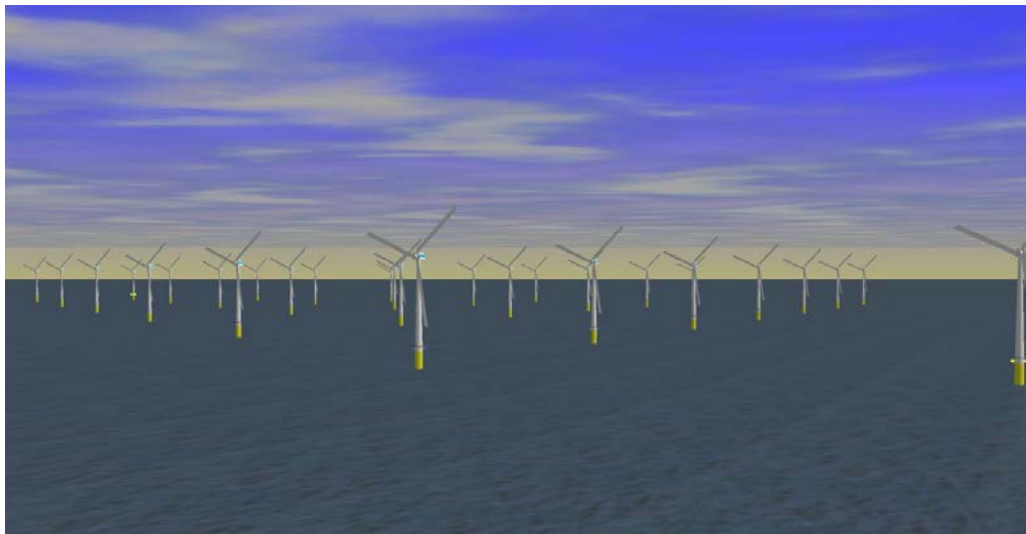
Er is specifiek voor dit “worst case” scenario gekozen omdat een schip in de ontmoetingssituatie, om een aanvaring te voorkomen, in eerste instantie naar stuurboord zal uitwijken. Hier doet zich dan een probleem voor omdat het windpark zich aan deze kant bevindt. Figuur 3-3 en Figuur 3-4 zijn twee opnames van wat men kan zien vanaf de brug van het eigen schip. Het eigen schip is het schip waarvoor in de simulator het buitenbeeld wordt geprojecteerd en dat bedienbaar is. In Figuur 3-3 is nog geen tweede schip te zien en in Figuur 3-4 is het tweede schip wel aanwezig (herkenbaar aan het rode stipje juist onder de horizon, links van de rij windturbines op 3/4 van de figuur). Het feit dat het tweede schip slecht te zien is, komt meer door de foto dan door de verstoring van de windturbines.

Voor dit scenario zijn de volgende parameters gevarieerd:

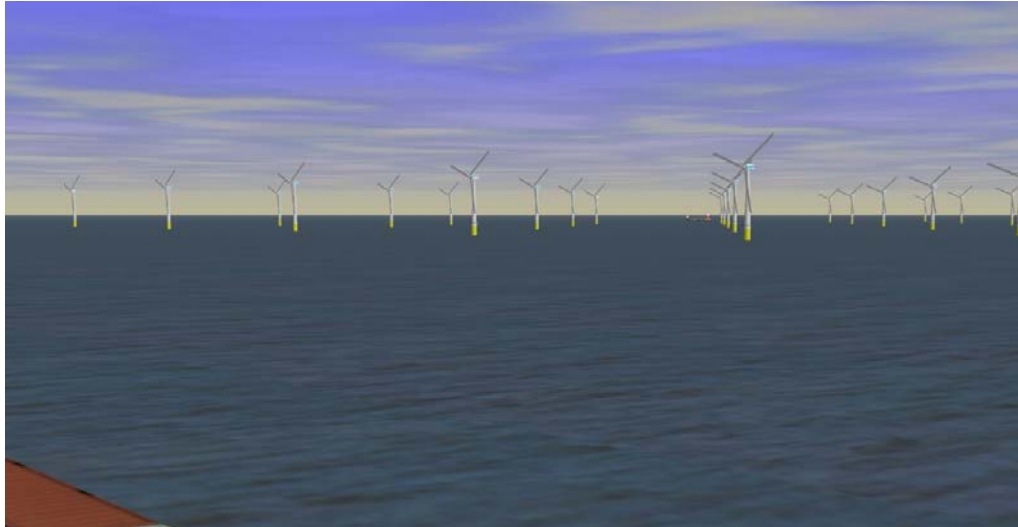
- Dag en nacht;
- Configuratie van het windpark;
- Afstand tot het windpark.

Op de simulator zijn drie windparken gemodelleerd:

1. een windpark met de windturbines op de hoekpunten van vierkanten;
2. een windpark met een versprongen opstelling;
3. een windpark zoals in de eerste optie, maar dan met een scherpe punt van 45°.



Figuur 3-3 *Windpark gezien vanaf het eigen schip*



Figuur 3-4 *Windpark gezien vanaf het schip met een klein schip in het buitenbeeld*

De runs zijn uitgevoerd voor een passageafstand van 500 meter en 1000 meter voor beide schepen. In de vele runs die uitgevoerd zijn op de simulator, kon het schip steeds tijdig gesignaleerd worden, zowel visueel als op de radar. Dit geeft echter geen garantie voor de praktijk. In de praktijk kunnen er meer schepen varen die de uitwijkmanoeuvre kunnen bemoeilijken. Op de simulator is bekend dat er een schip achter het windpark vaart, waardoor men beter oplet en eerder reageert dan in de praktijk. Verder dient wel opgemerkt te worden dat, hoewel de wettige passeerafstand 500 meter is, men in de praktijk op grotere afstand langs het windpark zal varen, juist om ervoor te zorgen dat men naar stuurboord kan uitwijken. ("Preparedness" is een belangrijke eigenschap voor goed zeemannschap). Dit zal zeker worden gedaan door moeilijk manoeuvreerbare schepen. Bovendien komt de situatie zoals hier beschreven lang niet bij ieder windpark voor. Bij veel parken zorgt de normale scheepsafwikkeling, gegeven de herkomst en bestemming, vaak voor grotere afstanden tot het windpark dan de 500 en 1000 m die in de simulatorruns zijn gebruikt. Op de specifieke aspecten voor een windpark wordt in hoofdstuk 4 ingegaan.

Met behulp van een simulatorstudie kunnen kwalitatieve uitspraken worden gedaan, maar is het onmogelijk om een bepaald risico te kwantificeren. De simulatorstudie heeft aangetoond dat de verstoring van het zicht en het radarbeeld niet zo groot is dat dit direct tot onoverkomelijke problemen zal leiden.

Als vervolg op de simulatorstudie is gezocht naar een methode om de mate van zicht en radarverstoring op een andere manier te kwantificeren. Met andere woorden, een methode waarmee in ieder geval de grootteorde van het probleem kan worden gekwantificeerd, die gebruikt kan worden om verschillende windparken onderling op doorzichtbaarheid te vergelijken. De methode is opgezet voor zichtlijnen, maar het resultaat hiervan geldt tevens voor de radar. Met de radar kan zelfs iets achter het object worden gekeken, maar een radar heeft als nadeel dat er meer verstoringen optreden. De resultaten voor ieder windpark worden gegeven door een aantal kenmerken over schaduwstukken en zichtstukken in figuren weer te geven. In dit hoofdstuk worden vier generieke configuraties van het windpark beschouwd. In hoofdstuk 4 worden voor de opstellingen van het eigen windpark dezelfde figuren gemaakt.

Het presenteren van het zicht, of eigenlijk de ondoorzichtbaarheid, is lastig. Wanneer men nog op grote afstand van het ontmoetingspunt zit, is men niet geïnteresseerd in de schepen die al vlakbij het kruispunt varen, omdat deze allang gepasseerd zijn op het tijdstip dat het eigen schip het kruispunt passeert. Evenzo is men vlakbij het kruispunt niet geïnteresseerd in schepen op grote afstand. Deze constatering is belangrijk bij het kwantificeren van de (on)doorzichtbaarheid. Dit betekent dat vooral doorzichtbaarheid is gewenst in het gebied dat zich op dezelfde afstand van het kruispunt bevindt. Natuurlijk is dit weer niet precies die afstand omdat de snelheden van beide schepen verschillen, maar over het algemeen kan worden gezegd dat dit het belangrijkste gebied is.

De berekeningen in dit generieke stuk zijn gemaakt voor vier opstellingen zoals weergegeven in Figuur 3-5, Figuur 3-6, Figuur 3-7 en Figuur 3-8, welke als representatief beschouwd kunnen worden voor een windpark met 3 MW windturbines. Het effect van de opstelling is nagegaan voor deze opstellingen waarbij de kruisende schepen op een afstand van 500 m van het windpark varen.

Niet de doorzichtbaarheid is weergegeven maar juist de ondoorzichtbaarheid is weergegeven, omdat dit beter aangeeft of een schip door het windpark heen gezien kan worden. De ondoorzichtbaarheid kan aangegeven worden in het aantal schaduwstukken van een zekere lengte. Een schip van 40 m kan altijd geheel of gedeeltelijk gezien worden wanneer de schaduwgrootte kleiner dan 40 m blijft en kan dus soms wegvallen bij grotere schaduwstukken. De schaduwstukken bewegen met het schip mee. Een schip zal daarom nooit constant in de schaduw blijven, maar het is duidelijk dat de kans om niet gezien te worden toeneemt met het aantal schaduwstukken, en groter wordt wanneer de schaduwstukken groter worden. Daarom is onderzocht hoe de frequentie van de schaduwstukken groter dan een bepaalde lengte verloopt. Voor de vier opstellingen zijn de schaduwstukken berekend, in stapjes van 0.1 nm op de aanvaarroute (van zuid naar noord) waarvan de resultaten worden getoond in Figuur 3-9 en in Figuur 3-10. Boven de plaatjes staat steeds wat wordt afgebeeld (y-as) als functie van de nog af te leggen weg van het schip tot aan het kruispunt (x-as, zie onderste plaatje). Deze figuren tonen het aantal schaduwstukken groter dan 10 m voor een bepaalde afstand x van het kruispunt voor het eigen schip op de vaarlijn van het andere schip op een even groot traject van x vanaf het kruispunt. Deze zelfde afstand x , waarvoor de schaduw bepaald wordt, is gekozen omdat de schaduwstukken op grote afstand niet meer belangrijk zijn wanneer het schip het kruispunt nadert. Wanneer de figuren doorlopen worden, dan kan voor een afstand op 4 nm van het ontmoetingspunt gezegd worden, dat het traject van het ander schip van 0 tot 4 nm voor het kruispunt:

- 40 schaduwstukken groter dan 10 m bevat;
- waarvan 10 schaduwstukken groter dan 20 m;
- waarvan 5 groter dan 30 m;
- waarvan 2 groter dan 40 m;
- een enkele schaduw groter dan 50 m;
- en de maximale schaduw ongeveer 70 m bedraagt.

De schaduwgroottes zijn berekend in stapjes van 0.1 nm op de aanvaarroute (van zuid naar noord). Het springen in de grafieken wordt veroorzaakt door deze discretisatie. Er kan geconcludeerd worden dat vanaf 4 nm voor het kruispunt schaduwen groter dan 50 m praktisch niet voorkomen. Ook het aantal schaduwen groter dan 40 m en groter dan 30 m blijft beperkt. Gezien ook nog de wisselingen in de posities van de schaduwen kan geconcludeerd worden dat een oplettende uitkijk ook een klein schip op tijd kan waarnemen. Er is zeker geen sprake van een blokkade van het zicht door het windpark vanaf deze afstand.

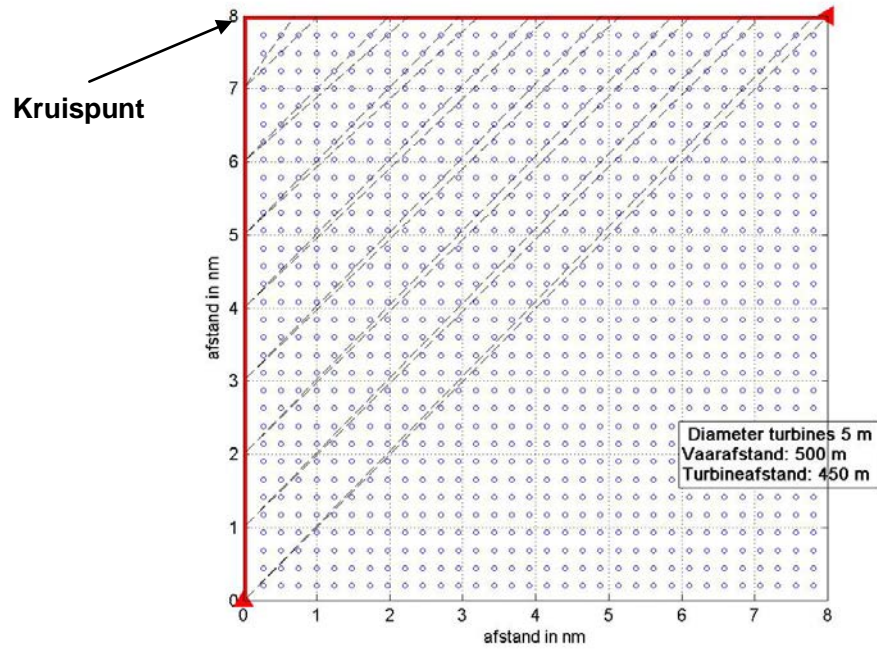
De figuren tonen dat er geen groot verschil is in de doorzichtbaarheid van de hier beschouwde opstellingen voor de windparken.

De doorzichtbaarheid verandert als de afstand tot het windpark groter wordt en ook wanneer de afstand tussen de windturbines anders wordt. Om dit te onderzoeken zijn er nog drie opstellingen met elkaar vergeleken, maar dan alleen voor de eerste opstelling met de windturbines in een vierkant. De eerste opstelling in Figuur 3-11 is gelijk aan die van Figuur 3-5. Figuur 3-12 bevat dezelfde opstelling maar dan voor een vaarafstand van 1000 m en Figuur 3-13 toont de opstelling die representatief is voor een windpark met 5 MW turbines met een turbineafstand van 580 m en een diameter van 6 m. De plaatjes met de schaduw lengtes worden gegeven in Figuur 3-14 en Figuur 3-15. Hieruit is duidelijk te halen dat de rode lijn het beste is met de minste schaduwstukken, dus dat de vaarafstand een belangrijke factor is. De groene lijn ligt ook meestal onder de blauwe lijn, wat betekent dat een windpark met 5 MW turbines beter is dan een 3 MW park maar dat door de toegenomen diameter een deel van het voordeel wordt weggenomen. Ook leidt de toegenomen diameter tot een iets grotere maximale schaduw.

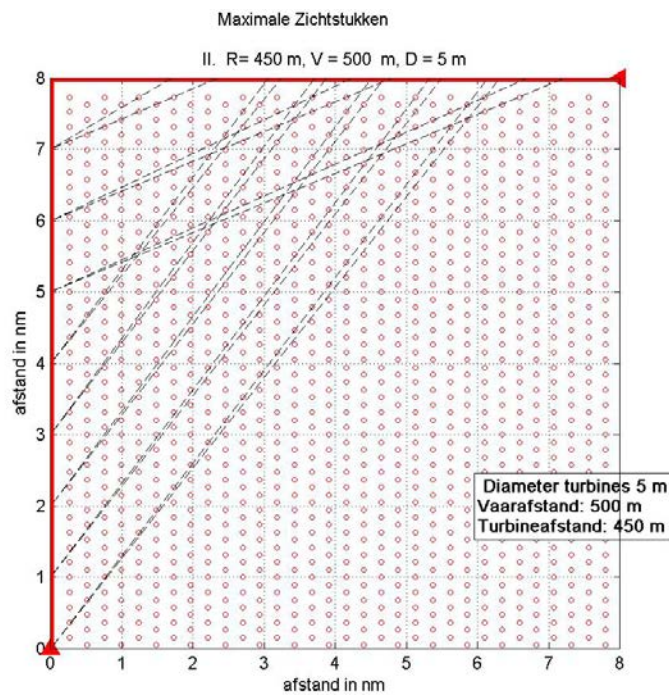
Conclusie

Uit het voorgaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

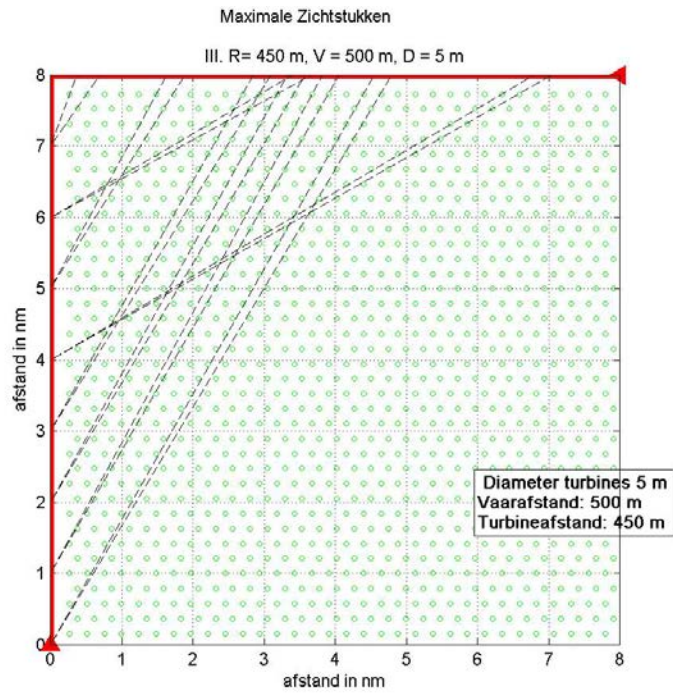
- De ondoorzichtbaarheid van een windpark is niet erg gevoelig voor de opstelling van de windturbines, mits regelmatig opgesteld in rijen, de versprongen opstelling heeft wel als voordeel dat er meer turbines op dezelfde oppervlakte kunnen worden geplaatst;
- De ondoorzichtbaarheid wordt bij langs varen kleiner wanneer de afstand tot het park groter wordt;
- De ondoorzichtbaarheid van een windpark met 5 MW turbines is iets minder groot, maar het voordeel van de grotere afstand tussen de windturbines wordt deels tenietgedaan door de grotere diameter van de windturbine.



Figuur 3-5 Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks (I)

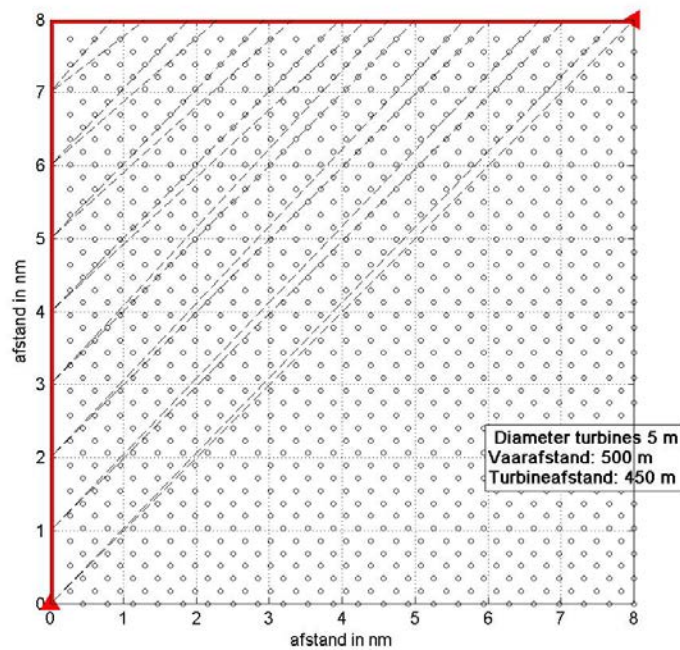


Figuur 3-6 Opstelling windturbines in dichte opstelling versprongen (II)



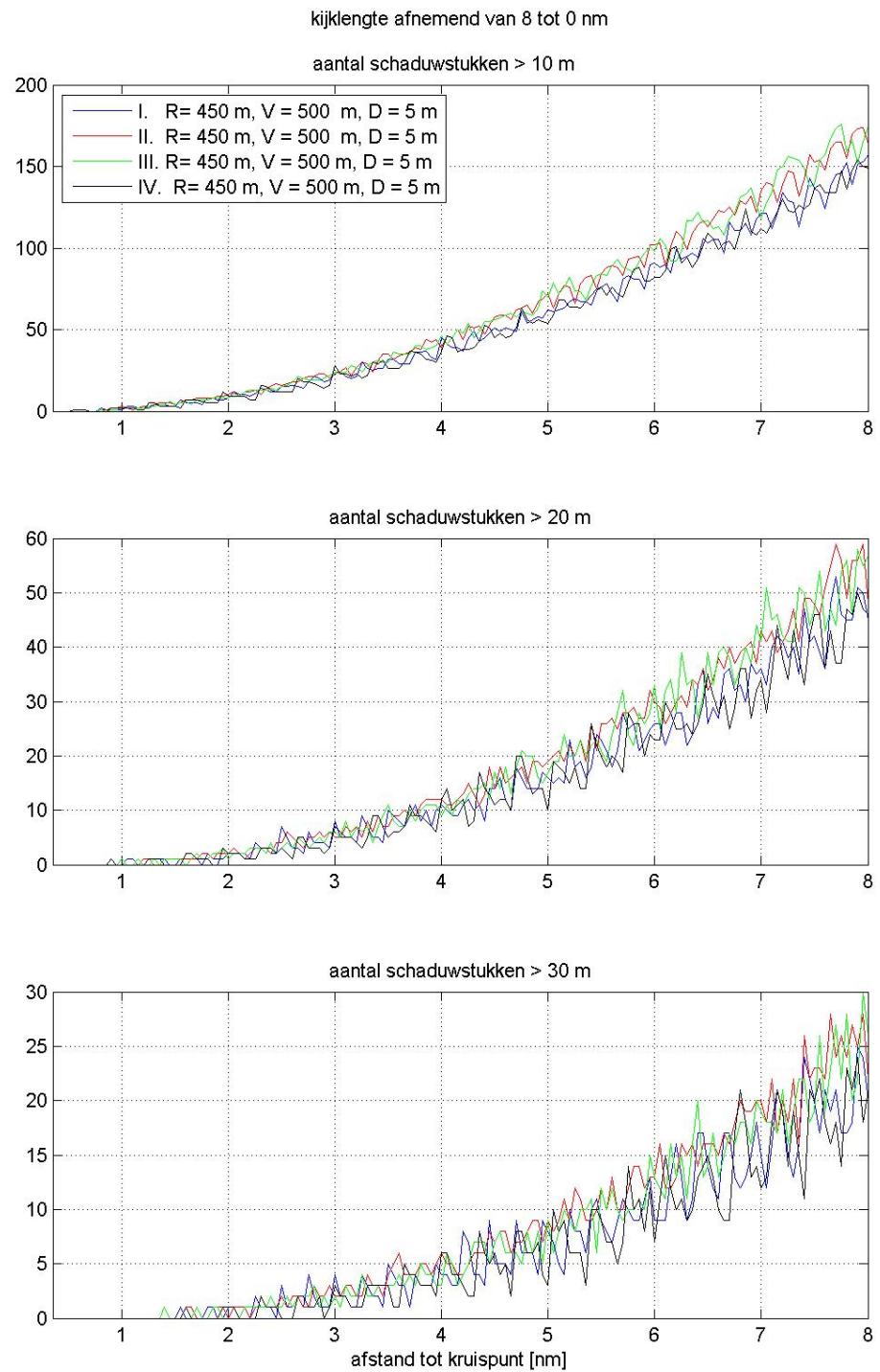
Figuur 3-7

Opstelling versprongen maar net als II maar 90° gedraaid (III)

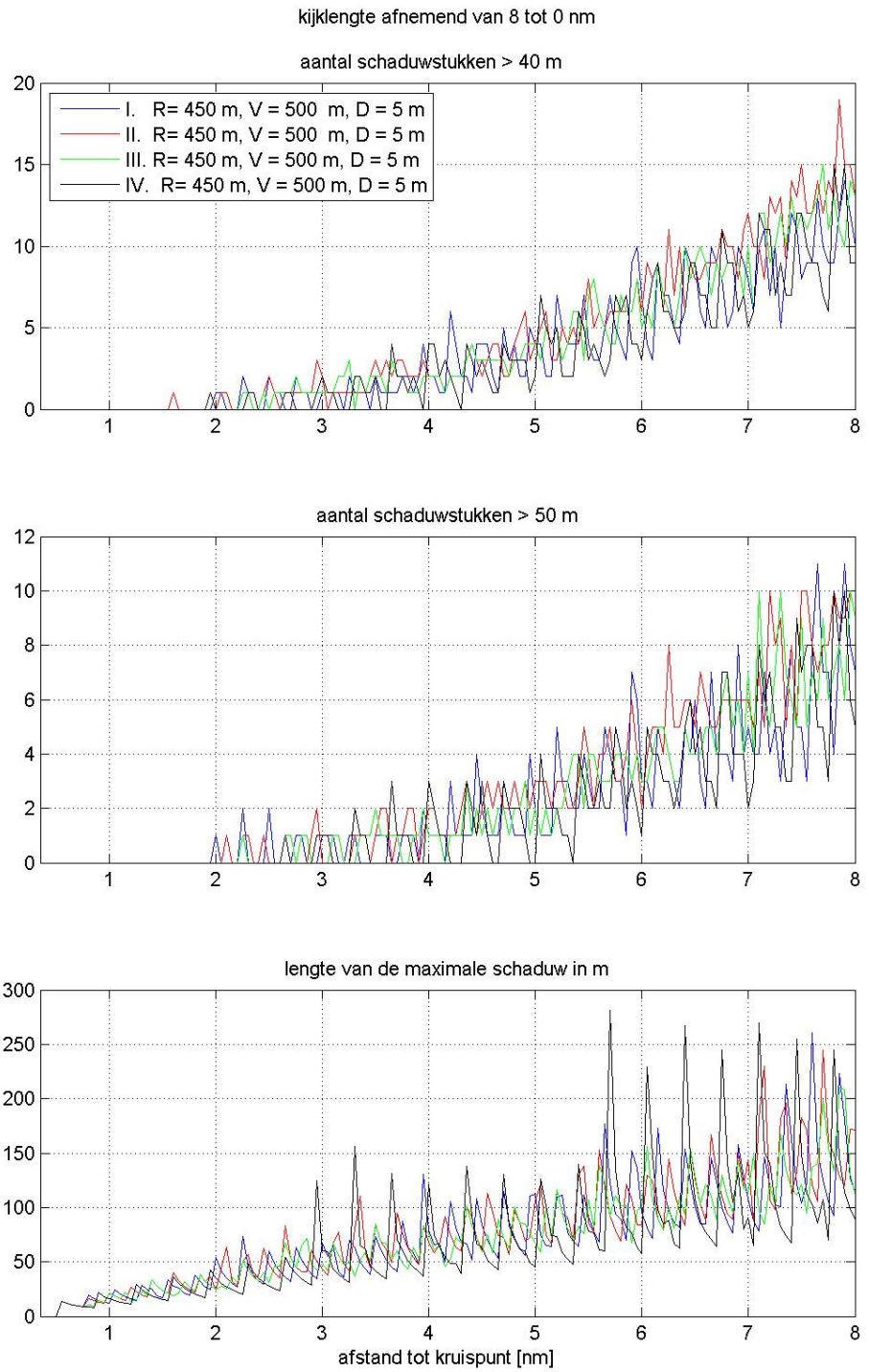


Figuur 3-8

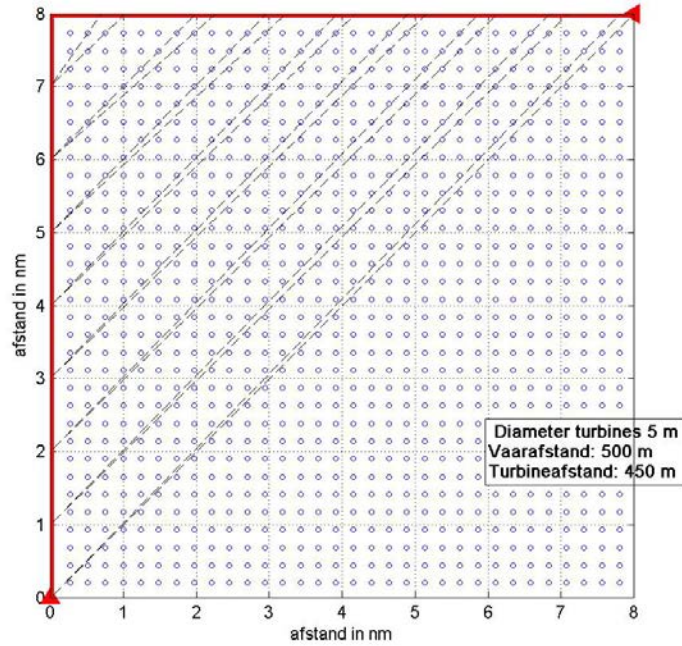
Opstelling vierkant als I maar dan 45° gedraaid (IV)



Figuur 3-9 **Schaduwstukken > 10 m, > 20 m en > 30 m**

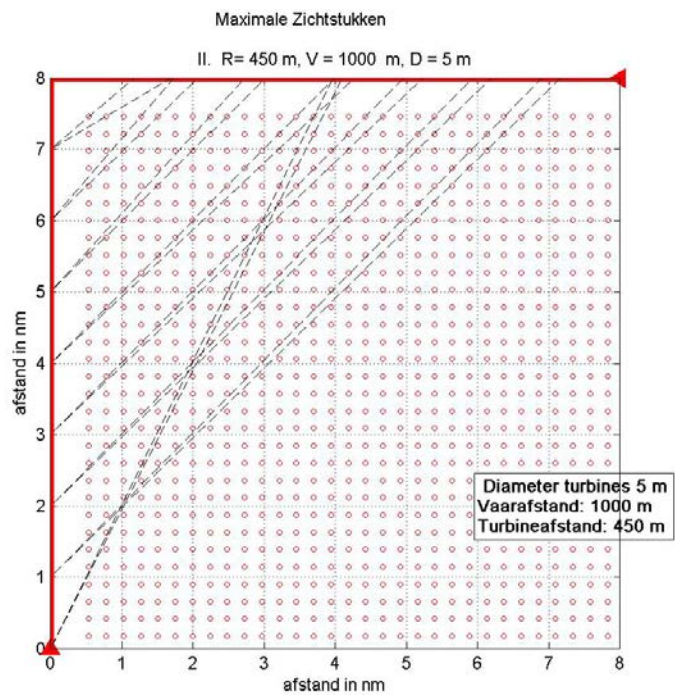


Figuur 3-10 **Schaduw > 40 m, > 50 m en maximale lengte van een schaduwstuk**



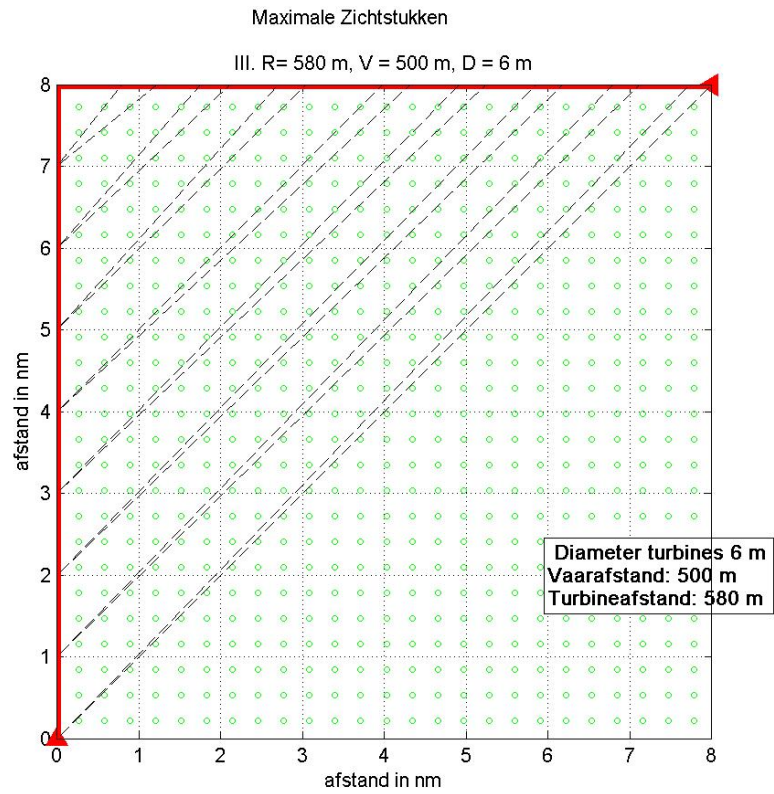
Figuur 3-11

Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, vaarafstand 500 m



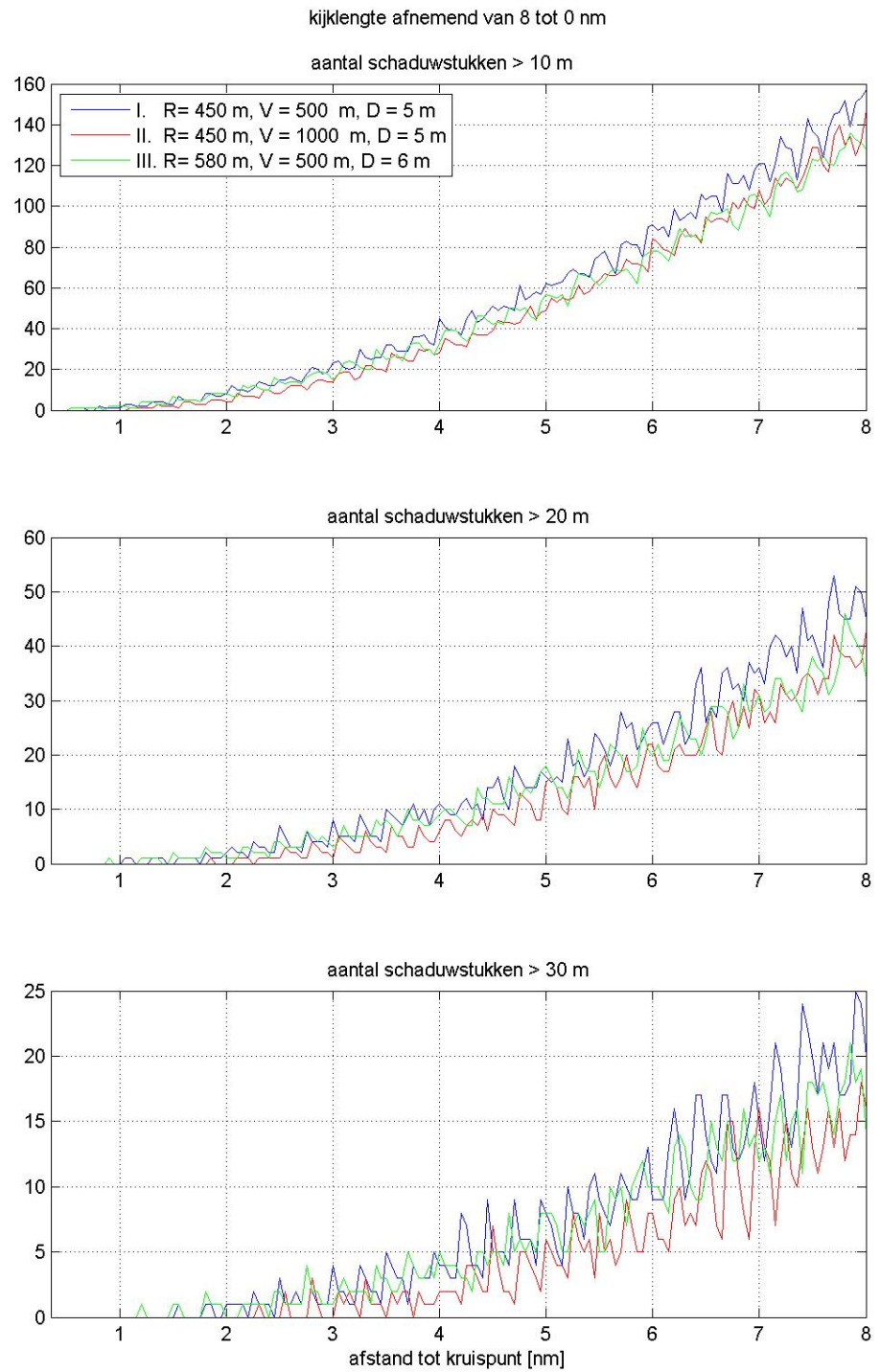
Figuur 3-12

Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, vaarafstand 1000 m

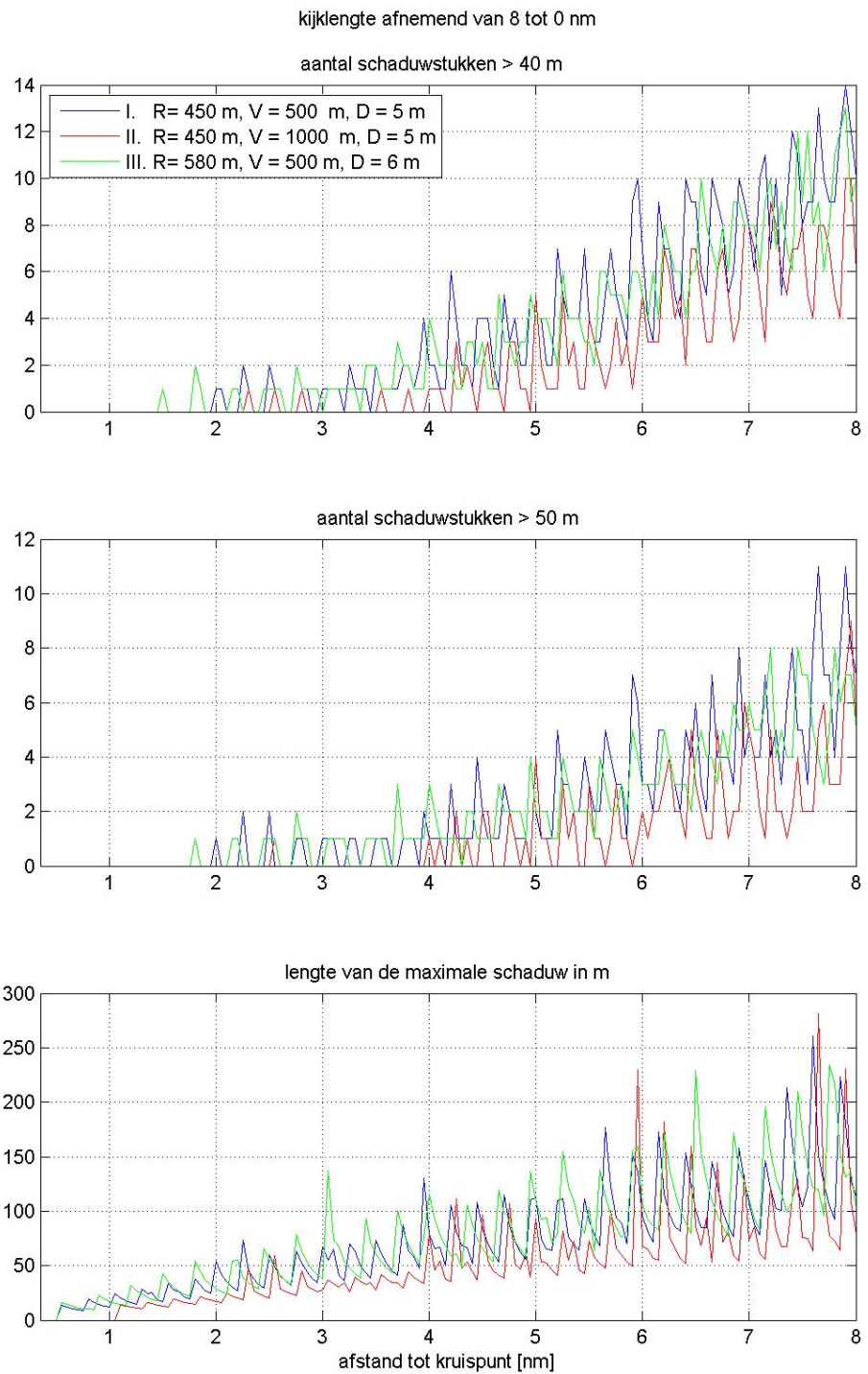


Figuur 3-13

Opstelling windturbines in vierkant evenwijdig aan vaarlinks, afstand tussen turbines 580 m en vaarafstand 500 m



Figuur 3-14 **Schaduw > 10 m, > 20 m en > 30 m lengte van een schaduwstuk voor de gevoeligheidsanalyse**

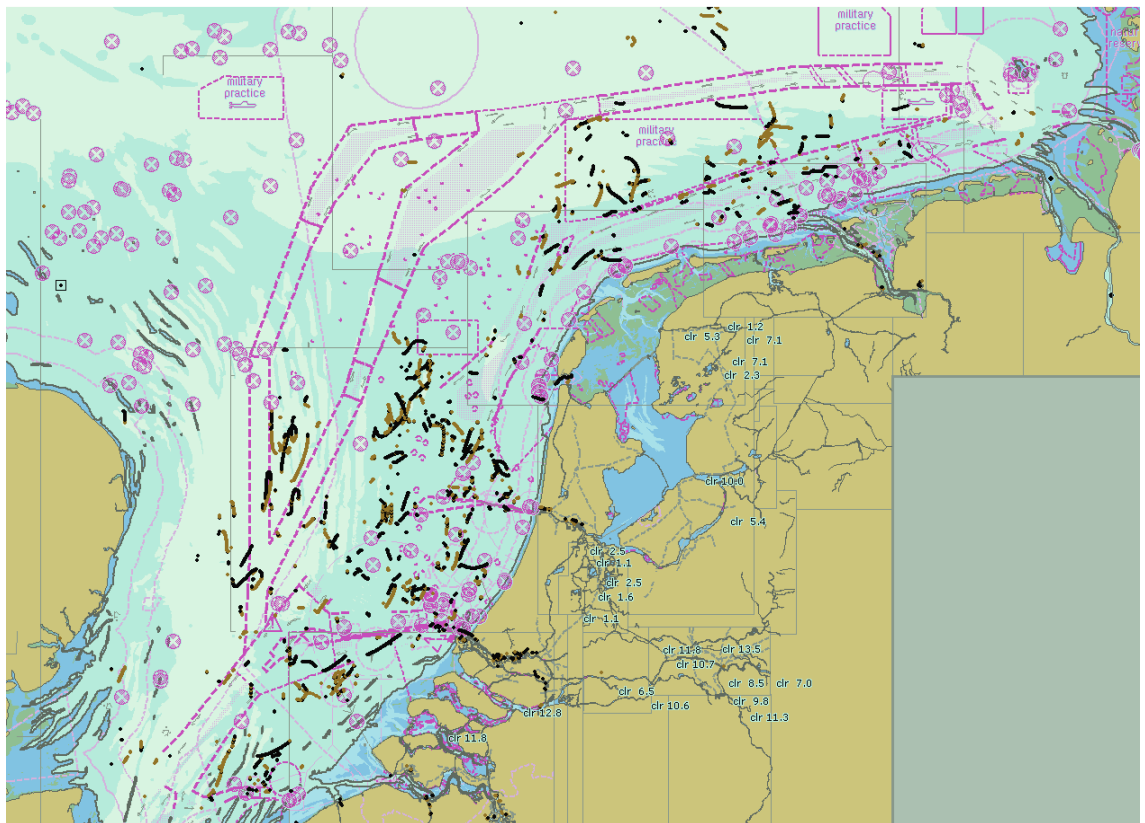


Figuur 3-15 **Schaduw > 40 m, > 50 m en maximale lengte van een schaduwstuk voor de gevoeligheidsanalyse**

3.8 Tijdelijk onmanoeuvrerbare schepen

MARIN heeft een studie uitgevoerd voor DGTL naar het aantal drifters op de Noordzee. Hierin valt een analyse van de AIS-data van de kustwacht van 1 maart 2005 – 31 december 2005. Deze dataset bevat alle vaarbewegingen van de schepen met AIS aan boord, die zijn ontvangen door de AIS-basestations langs de Nederlandse kust. Deze set dekt een strook langs de Nederlandse kust. De records zijn onderzocht op de navigatiestatus “Not under command” (verder aangeduid met NUC-records), wat wil zeggen dat ze op dat moment niet in staat zijn om de normale uitwijkregels in acht te nemen. Alle drifters zouden dat moeten uitzenden. De dataset is niet volmaakt, mede door het feit dat de navigatie status handmatig ingevoerd moet worden in de AIS-transponder. Daarom zijn er een aantal filters toegepast om de waarschijnlijke drifters over te houden. In Figuur 3-16 zijn de waarschijnlijke drifters geplotted. De zwarte lijnen geven een koers over de grond tussen 0° en 180° aan en de bruine lijnen een koers groter dan 180° .

De data van 10 maanden is ook geanalyseerd om na te gaan of er een verhoogde kans is op een drifter nabij de haven en wat de orde van grootte van deze extra kans is. In dit rapport wordt niet in detail op deze analyse ingegaan maar worden de resultaten van de analyse voor wat betreft de onmanoeuvrerbare schepen nabij havens gepresenteerd.



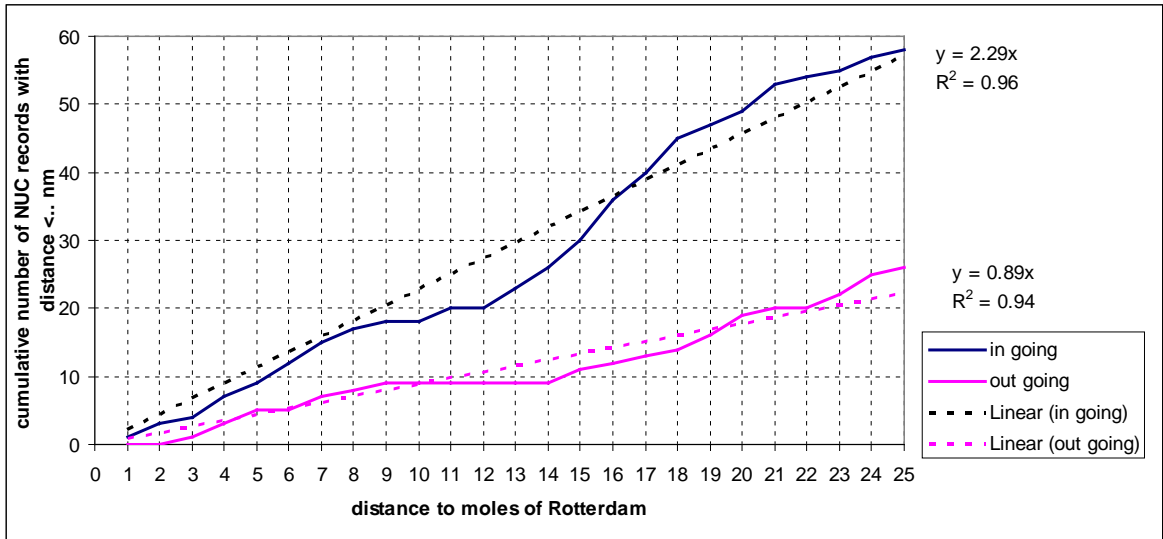
Figuur 3-16 NUC-records met snelheid over de grond < 6 knopen en drifthoek $> 30^{\circ}$ (maart -december 2005, bruin westwaarts, zwart oostwaarts)

Figuur 3-16 laat zien dat bij het inkomende verkeer door Maas West meer stringen voorkomen dan bij het uitgaande verkeer door Maas West. Dit wordt onder andere veroorzaakt door het overgaan van zeebedrijf naar havenbedrijf, waarbij de kans op een storing groter is, maar ook door het vaart verminderen voor het oppakken van de loods. Om dit verschil te kwantificeren is voor alle NUC-records op zee de afstand tot de

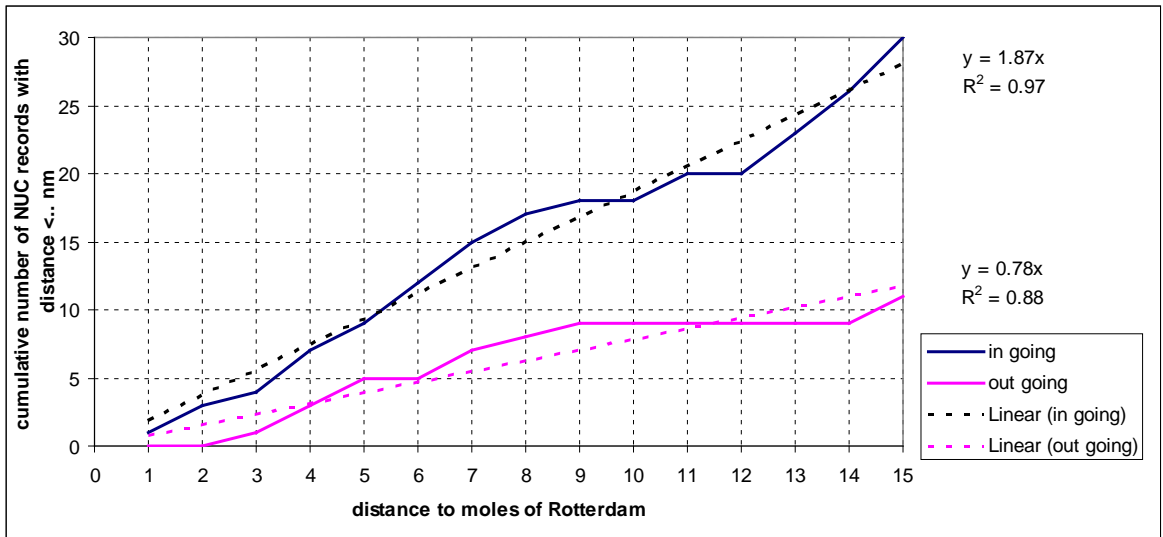
havenmond bepaald. Gerekend is met de kortste afstand, dus niet helemaal gelijk aan de vaarafstand, maar dat heeft geen effect op de resultaten van deze analyse. Vervolgens is een tabel gemaakt met het aantal NUC-records per mijl. Hierbij is een splitsing gemaakt tussen de inkomende schepen (bestemming Rotterdam, Moerdijk etc.) en de uitgaande schepen. De schepen zonder bestemming zijn niet behandeld. De resultaten worden getoond in Figuur 3-17. Uit de figuur blijkt dat het aantal NUC-records inkomend, groter is dan uitgaand, wat de grotere kans op een storing bij inkomende schepen bevestigt. Figuur 3-17 dient als volgt gelezen te worden. Er zijn 30 inkomende schepen die NUC-records hebben verzonden binnen een afstand van 15 mijl tot de havenmond van Rotterdam. Voor uitgaande schepen bedraagt dit aantal 11. Voor de grotere afstanden tot Rotterdam neemt het aantal voor uitgaande schepen relatief meer toe. De reden is dat deze schepen niet allemaal uit Rotterdam zijn vertrokken, maar bijvoorbeeld uit Hamburg met bestemming Antwerpen. Alleen voor schepen met een afstand kleiner dan 15 zeemijl van de havenmond van Rotterdam en bestemming buiten Rotterdam kan worden aangenomen dat ze uit Rotterdam vertrokken zijn. Om deze reden is Figuur 3-18 toegevoegd, waarbij de afstand en de regressielijnen zijn bepaald voor het traject tot 15 mijl voor Rotterdam. Op dit traject is de kans op een NUC $1.87/0.78 = 2.4$ keer zo groot.

Voor de berekeningen in hoofdstuk 4 wordt met deze factor van 2.4 gewerkt om het extra risico voor tijdelijk niet manoeuvreerbare schepen te kwantificeren. Hierbij wordt dan aangenomen dat bij deze schepen dezelfde storingsduur optreedt als gemiddeld op de Noordzee, wat vermoedelijk een overschatting van het probleem is omdat de storingen elders op zee eerder het gevolg zijn van een defecte machine en dus waarschijnlijk langer duren dan de storingen door het overgaan van zeestatus naar havenstatus.

Voor het kwantificeren van de extra aandrijfkans voor een windpark is een extra verkeersdatabase aangemaakt die alleen de ingaande links naar een haven bevatten. Er is verondersteld dat de extra storingskans optreedt op een traject van 10 zeemijl, voordat het loodsstation wordt bereikt vanuit alle richtingen voor de bestemmingen in de Rijnmond, IJmond, Den Helder, Harlingen en de Eemsmond.



Figuur 3-17 Aantal storingen op traject tot havenmond



Figuur 3-18 Aantal storingen op traject tot havenmond

4 RESULTATEN

In paragraaf 4.1 worden eerst de doorgerekende scenario's en varianten beschreven. Vanaf 4.2 worden de resultaten van de berekeningen beschreven. Gedetailleerde resultaten per scenario worden gegeven in verschillende tabellen in de appendix. Voor beide varianten is daarin eenzelfde set tabellen gegeven. In de tekst in dit hoofdstuk wordt alleen verwezen naar de appendix-tabellen voor de eerste variant. In de appendix zijn bovendien voor de twee varianten de lay-outs van het windpark in een figuur weergegeven, waarin tegelijkertijd de kansen grafisch zijn aangegeven. De routegebonden schepen worden in de tabellen verkort weergegeven met "R-schepen" en de niet-routegebonden schepen worden aangeduid met "N-schepen".

4.1 Locatie, scenario's en configuraties

De locatie van windpark Q4-West is in Figuur 4-1 weergegeven in de toekomstige verkeerssituatie vanaf 1 augustus 2013. Hierin zijn ook tien reeds vergunde windparken weergegeven. Dit zijn achtereenvolgens de parken NSW Offshore windpark Egmond aan Zee (OWEZ), Prinses Amalia Windpark (voorheen Q7-WP), Breeveertien II, West Rijn, Den Helder I, Brown Ridge Oost, RWE Tromp Binnen, Beaufort, Q10 (Eneco Luchterduinen) en Q4. In Figuur 4-2 is een meer gedetailleerd beeld van de omgeving gegeven. De parken OWEZ en Prinses Amalia zijn reeds gebouwd.

Windpark Q4-West ligt ruim buiten de verkeersroutes zoals die vanaf 1 augustus zullen gelden. Omdat de ligging de routegebonden verkeersstromen niet zal beïnvloeden, wordt gerekend met slechts één verkeerssituatie. Er zullen daarom ook geen effecten voor de scheepvaart worden berekend als gevolg van verschuiving van de routes, zoals beschreven in 3.5. De effecten van de nieuwe routestructuur ten opzichte van de huidige, zijn reeds berekend in [8].

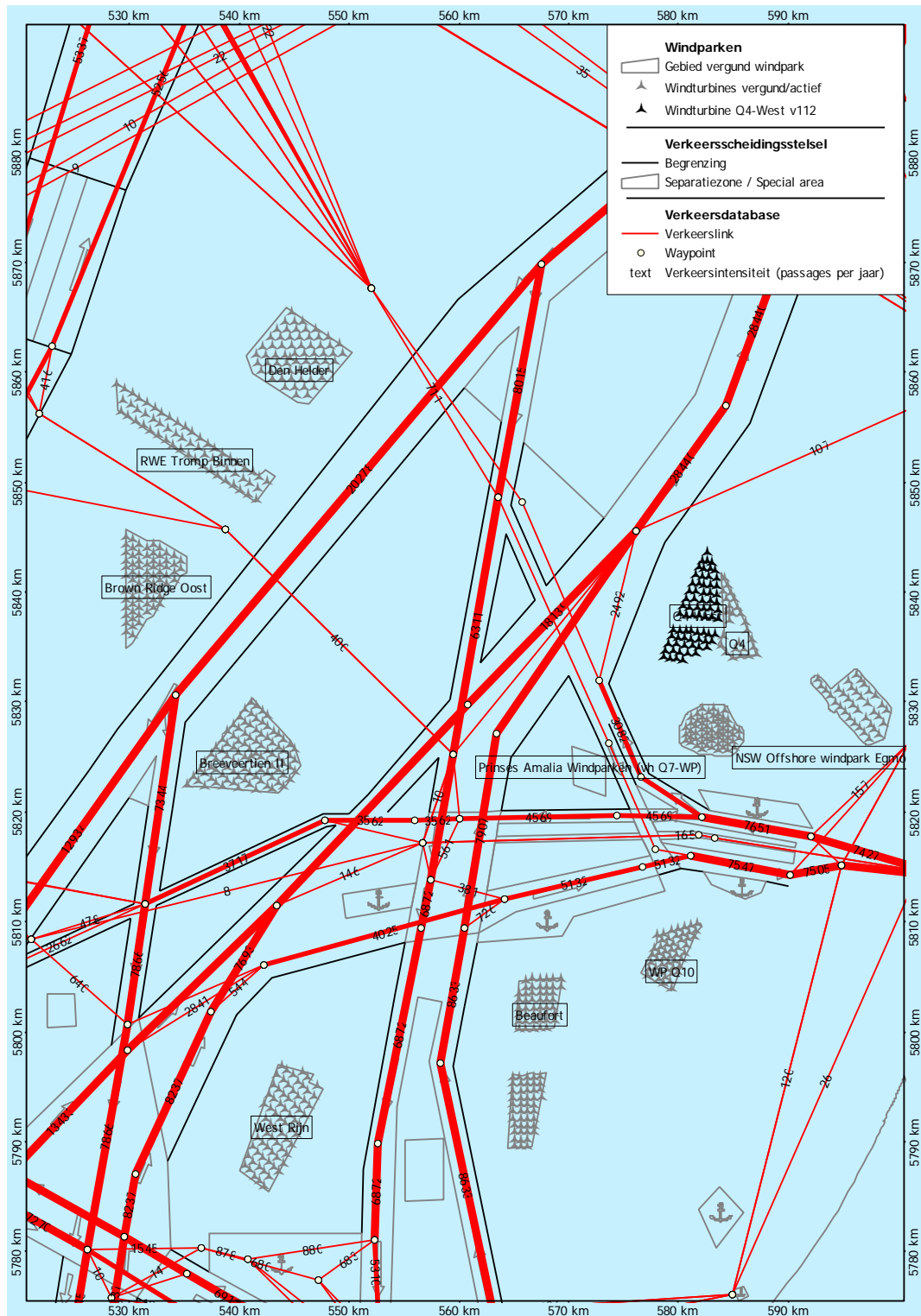
Voor Q4-West heeft de nieuwe routestructuur globaal als gevolg dat de drukke route vanuit Rotterdam naar het verkeersscheidingsstelsel Texel verder van het park af komt te liggen, dan onder het oude stelsel het geval zou zijn. Hierdoor wordt de aanvaringskans van turbines lager dan het onder de huidige situatie zou zijn. Dit effect wordt echter in deze studie niet berekend.

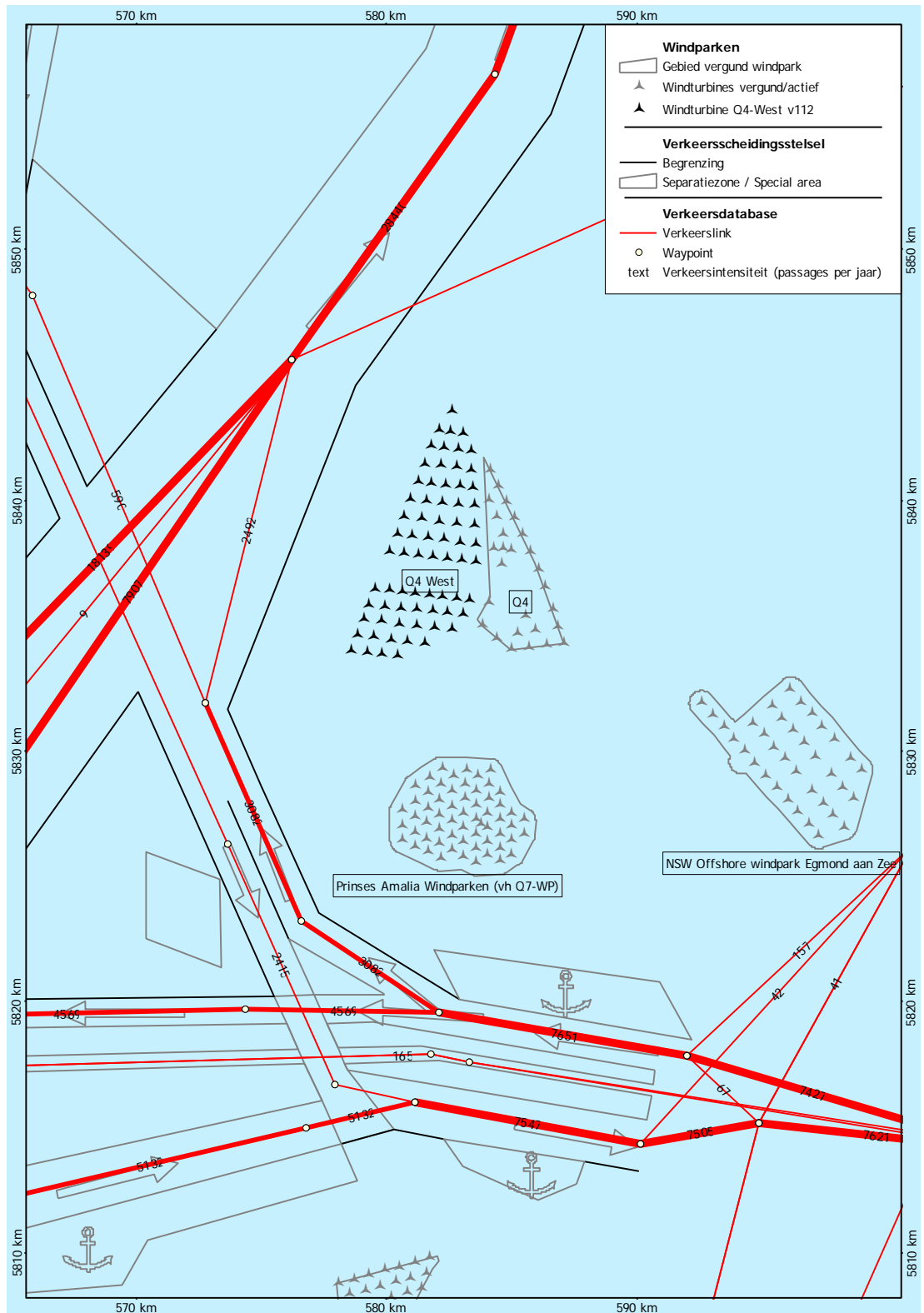
Er zijn twee configuraties voor windpark Q4-West doorgerekend. De gehanteerde gegevens per configuratie zijn gegeven in Tabel 4-1. De turbineposities zijn in detail weergegeven in Figuur A1-1 en Figuur A2-1. Hierbij zijn ook de uiteindelijke aanvaar- en aandrijfkansen grafisch weergegeven.

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met het offshore high voltage station (OHVS), omdat de posities hiervoor in de varianten in eerste instantie nog niet bekend waren. De uiteindelijke posities van de OHVS zijn wel weergegeven in Figuur A1-1 en Figuur A2-1. In beide varianten staan deze redelijk in het midden van het park, tussen de turbines met lagere aanvaringskansen. Voor windparken Prinses Amalia, Breeveertien II en Den Helder I zijn de OHVS wel meegerekend, en bleken de aanvaringskansen, ondanks de grotere afmetingen, lager dan voor de windturbines aan de rand. Het meenemen van de OHVS in die berekeningen had voor die parken slechts zeer gering effect op de totale aanvaringskans (1 à 2% van de totale kans voor het park kwam voor rekening van het OHVS). Voor windpark Q4-West zal dit van dezelfde orde van grootte zijn. Daarom zijn aanvullende berekeningen met OHVS voor Q4-West buiten beschouwing gelaten.

Tabel 4-1 Configuratiegegevens varianten windpark Q4-West

Variant	Turbines			Fundering		Aantal OHVS
	Aantal	Vermogen	Rotor diameter	Type	Afmeting	
v112	70	3 MW	112 m	monopile	4.2 x 4.2 m	1
v164	40	7 MW	164 m	monopile	7.0 x 7.0 m	1


Figuur 4-1 Overzicht van de nieuwe verkeerssituatie en de vergunde en aanwezige windparken.



Figuur 4-2 Verkeerssituatie in de directe omgeving van windparklocatie Q4-West

4.2 Aanvaar/aandrijf frequenties windparken

Door de aanwezigheid van het windpark is een nieuw type risico ontstaan op die locatie op zee, namelijk de kans dat een schip tegen één van de windturbines aanvaart (rammen) of aandrijft (driften). De frequenties voor deze ongevallen zijn bepaald met het

SAMSON-model. De resultaten van deze berekening worden gegeven in termen van het aantal mogelijke aanvaringen per jaar voor elke windturbine afzonderlijk en voor het gehele windpark.

Bij het bepalen van de frequenties is vanwege het nieuwe stelsel in de berekeningen nog geen rekening gehouden met de extra aandrijfkans (door routegebonden schepen) als gevolg van de verhoogde storingskans nabij de aanloop van een haven (zie 3.8). In de oude situatie was er voor het naastgelegen windpark Q4 een extra aandrijfkans van 7.2% voor routegebonden verkeer. In die situatie waren er echter een aantal verkeerslinks die dicht langs het park liepen. Verwacht kan worden dat de toename voor windpark Q4-West in de nieuwe situatie lager zal zijn.

In Tabel A1-1 van Appendix A staan voor variant v112 de aanvaar- en aandrijffrequenties per windturbine. Figuur A1-1 toont een grafische weergave hiervan. Voor de variant v164 staan deze frequenties in Tabel A2-1 en Figuur A2-1. (Voor het gemak zal in het vervolg alleen worden verwezen naar het tabel- of figuurnummer van de eerste variant). In Tabel A1-2 in Appendix A staat het totaal verwachte aantal aanvaringen en aandrijvingen per jaar voor het gehele windpark.

Uit deze tabellen en figuren blijkt dat de windturbines aan de rand van het park (met uitzondering van de rand grenzend aan Q4) een relatief hoge aanvaarkans hebben vergeleken met de turbines in het midden van het park. De turbines grenzend aan Q4 hebben een lagere frequentie, omdat scheepvaart vanwege de aanwezigheid van Q4 op grotere afstand vaart. In Figuur 4-3 worden naast de kansen voor Q4-West variant v112 ter vergelijking ook de aanvaar- en aandrijfkansen voor windparken Q4, Prinses Amalia Windpark en NSW Egmond aan Zee getoond.

Tabel 4-2 bevat de kans op een aanvaring/aandrijving per jaar voor beide varianten gesommeerd over alle windturbines. Daaronder is ook het totaal van de kansen voor de overige reeds bestaande en vergunde windparken uit Figuur 4-1 gegeven, zodat de kansen van Q4-West hiermee vergeleken kunnen worden. In de onderste twee rijen van de tabel zijn de kansen per variant gegeven als percentage van de kansen van de 10 overige windparken.

Uit de tabel blijkt dat voor variant v112 de kansen hoger zijn dan voor variant v164. Dit komt vooral door het hogere aantal turbines. De totale aanvaar- en aandrijffrequentie voor variant v112 is 0.03556. Dit is 11.6% van de totale kans voor de 10 overige windparken.

Omdat de kansen vooral afhangen van het aantal turbines, zijn in Tabel 4-3 de gemiddelde kansen per turbine gegeven. Hieruit blijkt dat de gemiddelde kans voor een turbine in variant v112 0.000508 bedraagt, en in variant v164 0.0005529. Deze grotere kans voor variant v164 wordt veroorzaakt door de grotere diameter van de monopile.

Te zien is verder dat voor beide varianten de gemiddelde kans iets hoger ligt dan het gemiddelde voor turbines in de overige windparken, om precies te zijn 5.5% en 14.8% hoger.

Tabel 4-4 laat tenslotte de kansen zien per verwachte eenheid energieopbrengst per jaar. Hieruit blijkt dat wat dat betreft variant v164 (met 7 MW turbines) veel beter scoort dan variant v112 (3 MW turbines). Ook in vergelijking met de overige windparken scoort deze variant aanmerkelijk beter. De aanvaarkans per MWh ligt op 58.4% van de gemiddelde kans per MWh voor de turbines in de overige windparken.

Bij het berekenen van de verwachte energieopbrengst is uitgegaan van een rendement van 35% van het turbinevermogen.

Tabel 4-2 *Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen per jaar voor windpark Q4-West per variant*

Variant Q4-West	Oppervlakte [km ²]	Energie opbrengst [MWh/jaar]	Aantal turbines	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
				R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Q4-West v112	26.11	643860	70	0.00091	0.00532	0.02556	0.00377	0.03556
Q4-West v164	26.07	858480	40	0.00057	0.00423	0.01497	0.00235	0.02211
Vergunde parken ¹	316.1	6926094	635	0.00954	0.06067	0.20613	0.02935	0.30570
% v112 / vergund	8.3%	9.3%	11.0%	9.5%	8.8%	12.4%	12.8%	11.6%
% v164 / vergund	8.2%	12.4%	6.3%	6.0%	7.0%	7.3%	8.0%	7.2%

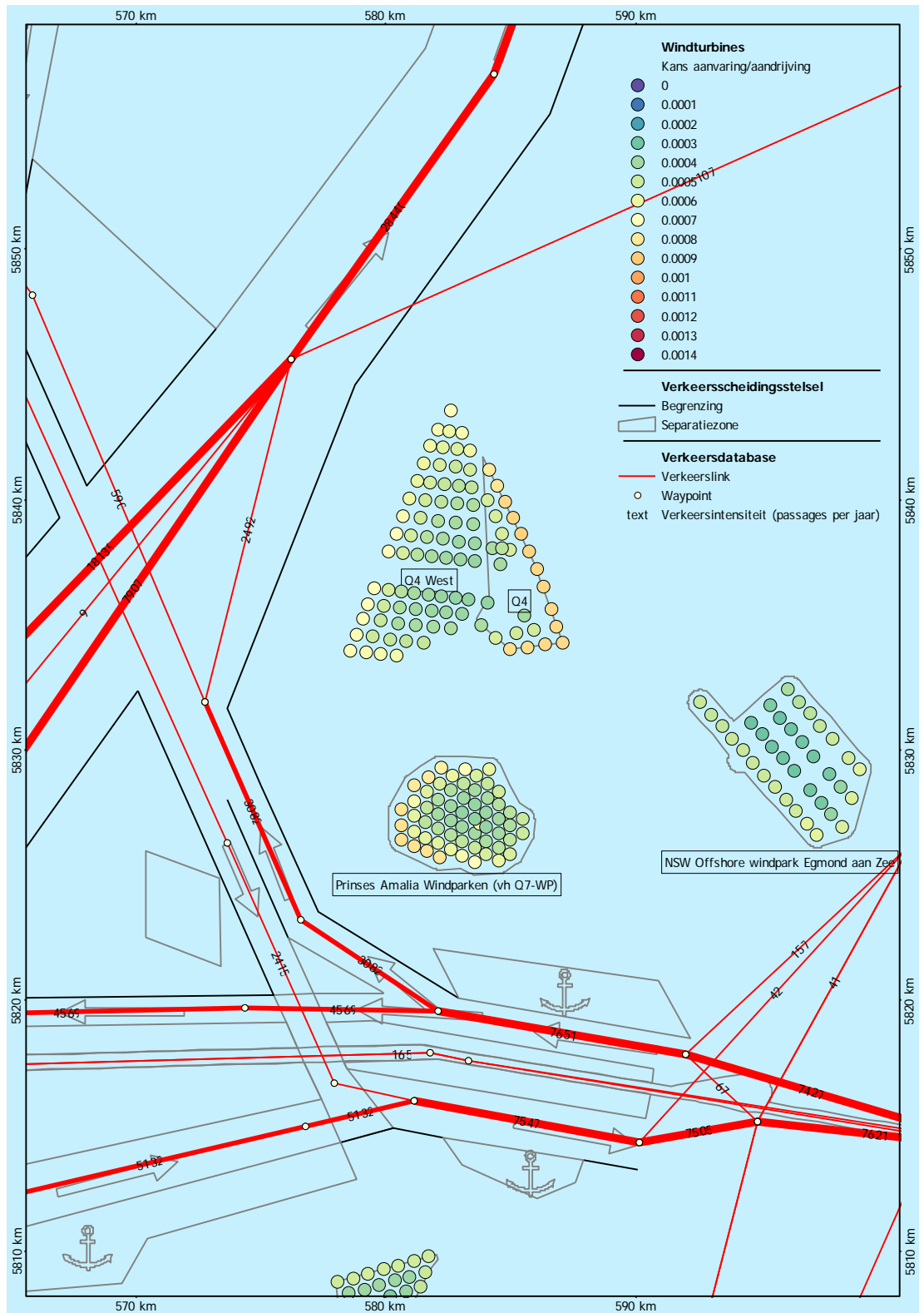
Tabel 4-3 *Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen gemiddeld per turbine voor windpark Q4-West per variant*

Variant Q4-West	Oppervlakte [km ²]	Energie opbrengst [MWh/jaar]	Aantal turbines	Aantal aanvaringen (rammen) per turbine		Aantal aandrijvingen (driften) per turbine		Totaal per turbine
				R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Q4-West v112	26.1	643860	70	1.299E-05	7.594E-05	3.652E-04	5.386E-05	5.080E-04
Q4-West v164	26.1	858480	40	1.423E-05	1.058E-04	3.741E-04	5.875E-05	5.529E-04
Vergunde parken	316.1	6926094	635	1.503E-05	9.555E-05	3.246E-04	4.622E-05	4.814E-04
% v112 / vergund	8.3%	9.3%	11.0%	86.4%	79.5%	112.5%	116.5%	105.5%
% v164 / vergund	8.2%	12.4%	6.3%	94.7%	110.7%	115.3%	127.1%	114.8%

Tabel 4-4 *Verwacht aantal aanvaringen/aandrijvingen per MWh voor windpark Q4-West per variant*

Variant Q4-West	Oppervlakte [km ²]	Energie opbrengst [MWh/jaar]	Aantal turbines	Aantal aanvaringen (rammen) per MWh		Aantal aandrijvingen (driften) per MWh		Totaal per MWh
				R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Q4-West v112	26.11	643860	70	1.41E-09	8.26E-09	3.97E-08	5.86E-09	5.52E-08
Q4-West v164	26.07	858480	40	6.63E-10	4.93E-09	1.74E-08	2.74E-09	2.58E-08
Vergunde parken	316.1	6926094	635	1.378E-09	8.760E-09	2.976E-08	4.238E-09	4.414E-08
% v112 / vergund	8.3%	9.3%	11.0%	102.5%	94.3%	133.4%	138.2%	125.1%
% v164 / vergund	8.2%	12.4%	6.3%	48.1%	56.2%	58.6%	64.6%	58.4%

¹ De vergunde parken boven de Waddeneilanden zijn hierbij buiten beschouwing gelaten. De beschouwde vergunde parken zijn de volgende 10 parken: NSW Offshore windpark Egmond aan Zee (OWEZ), Prinses Amalia Windpark (vh Q7-WP), Breeveertien II, West Rijn, Den Helder I, Brown Ridge Oost, RWE Tromp Binnen, Beaufort, Q10 (Eneco Luchterduinen), Q4



Figuur 4-3 Weergave van aanvaar- en aandrijfkansen voor Q4-West variant v12 en de turbines van windparken Q4, Prinses Amalia Windpark en Near Shore Windpark Egmond aan Zee

4.3 Gevolgschade

4.3.1 Schade aan het schip

Voor de gevolgschade aan het schip worden drie types onderscheiden: schade aan het schip in het geval dat de gondel en mastdeel op het schip valt na de aanvaring, alleen schade aan de scheepshuid en geen schade. De frequentie van ieder type schade aan het schip is voor de eerste variant gegeven in Tabel A1-3 in de Appendix. De frequenties worden gegeven voor zeven verschillende scheepstypen.

De onderlinge vergelijking vindt plaats in 4.3.3 bij de behandeling van de bunker en olie-uitstroom.

4.3.2 Schade aan de windturbines

Voor de gevolgschade aan de windturbines worden vier typen onderscheiden: geen schade, de turbine kan scheef gaan staan, de turbine kan omvallen, de gondel en mast kunnen op het schip vallen. De frequentie van deze verschillende types voor het gehele windpark gesommeerd is voor het eerste scenario gegeven in Tabel A1-4 in de Appendix.

Op basis van de gemiddelde massa van een bepaald scheepstype en scheepsgrootte en de gemiddelde snelheid kan de kinetische energie bepaald worden op het moment van 'impact'. De verdeling van de aanvaar/aandrijffrequenties voor de verschillende impactenergie-niveaus is gegeven in Tabel A1-5. Uit deze tabel volgt dat bij Q4-West variant 112 ongeveer 82.5% van de contacten met turbines door driften wordt veroorzaakt, en 17.5% door rammen. Verder blijkt dat het voor 74.4% routegebonden schepen betreft.

Figuur A1-2 bevat nogmaals de aanvaringsfrequenties. Met deze figuur wordt weergegeven hoe vaak aanvaringen met bepaalde impact voorkomen. Het aantal aanvaringen dat een impact heeft boven een bepaalde energiewaarde, zal afnemen naar mate die drempelwaarde (op de y-as) toeneemt. De lijnen lopen dus richting de y-as. De groene lijn valt vanaf iets meer dan 100 MJ (ongeveer vanaf $10^{2.2} \approx 158$ MJ) samen met de y-as. Dit betekent dat er nooit aandrijvingen met een impact van meer dan 158 MJ plaatsvinden. De blauwe en rode lijn vallen vanaf dat energieniveau samen. Alleen aanvaringen hebben dus een impact van meer dan 158 MJ.

4.3.3 Milieuschade

De schade aan het milieu als gevolg van een aanvaring/aandrijving van een windturbine wordt bepaald door de hoeveelheid olie die uit een schip stroomt. Er worden twee hoofdtypen olie onderscheiden: bunkerolie en ladingolie. In Tabel A1-6 wordt voor de eerste variant de frequentie voor de uitstroom van bunkerolie gegeven voor verschillende uitstroomvolume klassen. In Tabel A1-7 wordt de frequentie van uitstroom van ladingolie gegeven. In Tabel A1-8 worden beide oliesoorten naast elkaar gezet.

De totale kans op een uitstroom van olie en de gemiddelde hoeveelheid uitstroom per jaar per variant is gegeven in Tabel 4-5. Op basis van de frequenties is de gemiddelde tijd tussen twee uitstromingen van olie bepaald, bijvoorbeeld $1/(0.001348+0.000130) \approx 677$ jaar voor variant v112.

De gemiddelde uitstroom van 0.36 m^3 ladingolie voor deze variant in Tabel 4-5 dient alleen als vergelijking. Een uitstroom van 0.36 m^3 ieder jaar geeft immers een heel andere milieubelasting dan een uitstroom van 360 m^3 eens in de 1000 jaar op één bepaald moment. In de appendix is daarom in Tabel A1-6 en Tabel A1-7 de verdeling van het uitstroomvolume over verschillende volumeklassen gegeven.

Om een idee te krijgen van wat dit betekent is de uitstroom aan olie ten gevolge van een ongeval (alle verschillende typen) voor het gehele NCP toegevoegd. Dit getal geldt voor de situatie zonder windparken, en gaat nog uit van de huidige routestructuur. De kans op uitstroom van bunkerolie en ladingolie op het NCP neemt als gevolg van het risico op aanvaring met een windturbine van Q4-West variant v112 toe met $(0.001348 + 0.000130) / (0.353402 + 0.148723) \approx 0.29\%$. Voor variant v164 ligt dit lager (0.17%).

Tabel 4-5 *Uitstroomkans en hoeveelheid van bunkerolie en ladingolie*

Variant Q4-West	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de ... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³	Frequentie	Eens in de ... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³	Eens in de ... jaar
Q4-West v112	0.001348	742	0.669	0.000130	7681	0.360	677
Q4-West v164	0.000788	1269	0.389	0.000076	13176	0.208	1157
Gehele NCP (zonder windparken) ¹	0.353402	2.8	68.04	0.148723	6.7	1499.5	2

In Tabel 4-6 zijn de uitstroomfrequenties gegeven per MWh. Hieruit blijkt dat zowel de verwachte frequentie als het volume van uitstroom per MWh voor variant v164 lager ligt dan voor variant v112. Minder turbines met meer vermogen zorgen voor een lager risico.

Tabel 4-6 *Uitstroomkans en hoeveelheid bunkerolie en ladingolie per MWh*

Variant Q4-West	Energie-opbrengst [MWh/jaar]	Bunkerolie		Ladingolie	
		Frequentie per MWh	Gemiddelde uitstroom (m ³ /MWh)	Frequentie per MWh	Gemiddelde uitstroom (m ³ /MWh)
Q4-West v112	643860	2.09E-09	1.04E-06	2.02E-10	5.58E-07
Q4-West v164	858480	9.18E-10	4.53E-07	8.84E-11	2.43E-07

Naast de uitstroom van olie veroorzaakt ook de uitstroom van chemicaliën schade aan het milieu. Niet alle soorten chemicaliën zijn even schadelijk voor het milieu, de mate waarin een bepaalde stof schadelijk is wordt aangeduid met ecologisch risico. In Tabel A1-9 worden de frequenties gegeven van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aanvaring/aandrijving van een windturbine voor verschillend ecologisch risico.

4.3.4 Persoonlijk letstel

Persoonlijk letstel wordt veroorzaakt doordat de gondel en de mast op het dek van een schip vallen. In Tabel A1-10 is voor windpark Q4-West voor variant v112 een overzicht gegeven van het aantal directe doden als gevolg van het op het dek vallen van de gondel en de mast. Ook wordt een indicatie gegeven van het groepsrisico. Bij het groepsrisico is de kans op een ramp met meer dan 10 dodelijke slachtoffers gegeven. Een dergelijke ramp doet zich alleen maar voor wanneer een ferry de windturbine aanvaart, waarna deze knikt en op het dek terecht komt. Voor de frequenties wordt verwezen naar de detailtabellen in Appendix A.

¹ Hierbij is nog uitgegaan van de oude routestructuur op de Noordzee, en niet de situatie vanaf augustus 2013.

Beoordeling van het risico

Er bestaan geen echte normen voor het risico op zee maar voor het afschatten van de externe veiligheid is aansluiting gezocht bij de risiconormering vervoer gevaarlijke stoffen, zoals beschreven in [6].

Voor een windpark liggen alle contouren voor het individuele risico op het water zodat altijd aan de (eventuele) norm voor het individueel risico wordt voldaan.

In [6] is een oriënterende waarde voor het groepsrisico gegeven van 10^{-4} per jaar per kilometer route (vaarweg) voor een ramp met minstens 10 slachtoffers. Het is overigens de vraag of deze norm toegepast mag worden, want het gaat hier om slachtoffers van de vervoerders (die het ongeval veroorzaken) en niet om slachtoffers in de directe omgeving van de route. Toch is deze oriënterende waarde gebruikt voor het beoordelen van het groepsrisico.

Bij variant v112 is de kans op meer dan 10 doden gelijk aan $1/625000$ per jaar (zie Tabel A1-10). Voor variant v164 is dit lager. Het windpark heeft een lengte van ongeveer 10.6 km, gemeten langs de noordwestelijke rand waar de turbines met de hoogste aanvaarkansen staan. Per km vaarweg is de kans dus 1.51×10^{-7} . Er mag dus geconcludeerd worden dat het overlijdensrisico geen echte rol speelt bij de keuze van de inrichtingsvariant.

4.4 Effecten en overige risico's voor de scheepvaart

Windpark Q4-West ligt ruim buiten de verkeersroutes zoals die vanaf 1 augustus zullen gelden. De ligging van het park zal de routegebonden verkeersstromen niet beïnvloeden. Er zijn daarom geen effecten voor de scheepvaart berekend als gevolg van verschuiving van de routes, zoals beschreven in 3.5. De effecten van de nieuwe routestructuur ten opzichte van de huidige, zijn reeds berekend in [8]. Deze effecten kunnen niet aan de aanwezigheid van windpark Q4-West worden toegerekend.

4.5 Het effect van het werkverkeer op het risico

Gedurende de bouwperiode varen dagelijks enkele schepen (maximaal vijf) van en naar het windpark. De meeste van deze vaarbewegingen worden uitgevoerd met normale snelheid en geven daardoor niet meer hinder voor de andere scheepvaart dan een normale scheepsbeweging. Het effect van deze scheepvaart op het totale risico in een gebied hangt af van de drukte in het gebied. Deze vaarbewegingen moeten gezien worden als normale bedrijvigheid. Het verhoogde risico is van tijdelijke aard.

Vermoedelijk zal IJmuiden de uitvalsbasis voor het windpark Q4-West worden. Vanuit IJmuiden naar Q4-West is het ongeveer 1.25 uur varen. Met vijf schepen zijn dit 5×1.25 uur $\times 2$ (heen + terug) = 12.5 extra vaaruren per dag. Tijdens de bouwperiode zijn dus gemiddeld $12.5/24 = 0.52$ extra schepen aanwezig (buiten het park). Op een totaal van 300 gemiddeld aanwezige schepen op het NCP is dit een verhoging van 0.17%. Gedurende de bouwperiode is de kans op een aanvaring tussen schepen door de verhoogde verkeersintensiteit daarom $(1.0017^2 - 1) \times 100\% \approx 0.35\%$ hoger¹ dan normaal. In de praktijk zal dit minder zijn omdat de schepen de meeste tijd in relatief stille gebieden varen.

¹ Het aantal aanvaringen tussen schepen neemt kwadratisch met de intensiteit toe.

De kans op een ander type scheepsongeval neemt in deze periode toe met 0.17% (lineair met de toename van het aantal schepen).

4.6 Het cumulatieve effect

Het cumulatieve effect is in deze studie geen afzonderlijk onderwerp, omdat, in afwijking van voorafgaande studies, de geplande en vergunde windparken de verkeersroutes niet zullen wijzigen. De nieuwe routestructuur is juist dusdanig ontworpen dat deze reeds rekening houden met de vergunde windparken. Het beschouwde basisscenario is dus tevens het cumulatieve scenario.

4.7 Radardekking van de Nederlandse havens

Windpark Q4-West valt buiten de radardekking naar een Nederlandse haven. Zowel de radars van IJmuiden, Rotterdam en Scheveningen bereiken het windpark niet.

4.8 Kruisende scheepvaart

Routegebonden verkeer dat noord-oostwaarts langs het windpark Q4-West vaart in het Texel scheidingsstelsel, vaart op minimaal 2 mijl van de turbines. Er kan verondersteld worden dat eventueel niet-routegebonden verkeer dat van de oostkant van het windpark vandaan vaart, tijdig gezien kan worden. Van zichtbelemmering door de windturbines zal daarom weinig sprake zijn voor het routegebonden verkeer.

5 MAATREGELEN

5.1 Gebruik van AIS

Sinds 1 januari 2005 hebben alle schepen boven 300 GT (ongeveer 55 m) een AIS-transponder (Automatic Identification System), die de positie van het schip continu uitzendt. In de buurt varende schepen kunnen deze signalen ontvangen en hiermee is de positie, koers en snelheid van het andere schip bekend.

AIS, mits geïntegreerd in de navigatiehulpmiddelen op de scheepsbrug, biedt dan ook extra mogelijkheden om het kruisende schip vroegtijdig te zien. Te meer daar AIS niet verstoord wordt door het windpark. De verwachting is dat AIS, vooral wanneer AIS wordt geïntegreerd in de navigatiehulpmiddelen op de scheepsbrug de veiligheid op zee zal bevorderen. De verwachting is dat daardoor de kans dat een schip tegen een windturbine aanvaart (rammen) zal afnemen met 20%. Deze reductie volgt uit het SAFESHIP-project en de harmonisatie van de aannamen ten behoeve van veiligheidsstudies voor windparken voor de Duitse autoriteiten [7].

Het is de verwachting dat in de toekomst steeds meer kleinere schepen, waaronder vissers, met een AIS-transponder gaan varen, waardoor het probleem van kruisende scheepvaart steeds minder groot wordt.

Door AIS zal de kans op een aandrijving niet veranderen. Een hele kleine (eerder theoretische) reductie wordt verwacht doordat een te hulp geroepen sleepboot de positie van de drifter beter kent en ook doordat men met de AIS-data sneller in staat is de dichtstbijzijnde sleepboot naar de drifter te sturen.

5.2 Inzet van een ETV (Emergency Towing Vessel)

Zoals uit de berekeningen volgt, geeft aandrijven het grootste risico. Een aandrijving, als gevolg van een storing in de voortstuwing, wordt voorkomen wanneer het schip voor anker kan gaan of de storing op tijd verholpen wordt. Met deze processen is in de berekening rekening gehouden.

Een derde mogelijkheid waardoor de storing niet tot een aandrijving leidt is wanneer de drifter vroegtijdig wordt opgevangen door een sleepboot. De Waker was een dergelijke sleepboot (ETV) van de Nederlandse overheid die naar een drifter werd gestuurd zodra er een melding binnenkwam bij de Kustwacht. Na de machinekamerbrand in september 2009 is de Waker uit de vaart genomen. Inmiddels is de opvolger van de Waker gecharterd. Een ETV kan dus een aandrijving voorkomen wanneer het schip de drifter kan bereiken voordat een windturbine wordt geraakt. De reductie van het aantal aandrijvingen hangt sterk af van de positie van de ETV op het moment van de melding. De thuishaven van de Waker was Den Helder en bij windkracht vanaf 5 Beaufort lag de Waker op wacht in het Texel verkeersscheidingsstelsel, omdat bij deze weersomstandigheden de kans op een drifter relatief groot is, evenals de kans op een aandrijving, omdat de driftsnelheid relatief groot is.

De plaats van De Waker bij het verkeersscheidingsstelsel was gebaseerd op het huidige gevaar van een drifter met het oog op de offshore olie- en gasplatforms. Wanneer er veel windparken gebouwd gaan worden zou de positie van De Waker bij slecht weer kunnen veranderen. Om deze reden is De Waker niet in de standaardberekening opgenomen.

Om een inschatting te maken van het effect van de aanwezigheid van een ETV op de aanvaarfrequenties van het windpark, is een korte aanvullende berekening gemaakt waarbij de inzet van een ETV vanuit Den Helder (bij 0-4 Bft) of het verkeersscheidingsstelsel (vanaf 5 Bft) is meegenomen. De ETV reduceert alleen het aantal aandrijvingen.

Voor Q4-West variant v112 wordt de frequentie van het aantal aandrijvingen door inzet van een ETV gereduceerd met 38% van 0.029333 tot 0.018193 aandrijvingen per jaar. Voor variant v164 zal deze afname min of meer gelijk zijn.

5.3 Autonome ontwikkeling uitstroom van olie

Voor het bepalen van de kans op een uitstroom van olie is gebruik gemaakt van de schadematrix die is samengesteld uit het onderzoek uitgevoerd voor het Offshore Windpark Egmond aan Zee [3]. Dit is een 'worst-case' benadering. Wanneer nu de kans op een olie-uitstroom en de hoeveelheid uitstroom een belemmering zouden vormen voor het al dan niet bouwen van offshore windparken, dan verdient deze schadematrix verdere aandacht.

De volgende kanttekeningen kunnen bij deze modellering worden gemaakt:

- De uitstroom van ladingolie en bunkerolie kan optreden nadat een schip groter dan 1000 GT tegen een windturbine aandrijft en er een gat in de scheepshuid wordt aangenomen. In de praktijk zal de windturbine niet vol (centraal) geraakt worden maar met de voor- of achterkant van het schip, waardoor een deel van de botsingsenergie wordt omgezet in een rotatie van het schip.
- Het gebruik van een monopaal zonder uitsteeksels (een aanvaringsvriendelijke monopaal) zal minder vaak tot een gat in de scheepshuid leiden dan een jacket of een monopaal met een platform met andere attributen.
- Bij het bepalen van de uitstroom van ladingolie is uitgegaan van enkelwandige olietankers. De praktijk, autonome ontwikkeling, is dat deze enkelwandige olietankers bijna uitgefaseerd zijn op de Noordzee en zijn vervangen door dubbelwandige tankers. De kans dat er een gat in een ladingtank zal ontstaan bij een aandrijving van een windturbine is bij een dubbelwandige tanker kleiner. Dit betoog gaat niet op voor de kans op een uitstroom van bunkerolie omdat de meeste andere schepen niet dubbelwandig zijn uitgevoerd en de brandstoftank dus meestal enkelwandig is uitgevoerd. Dit betekent dat vooral de kans en hoeveelheid uitstroom van ladingolie minder zal zijn dan met het huidige model wordt berekend. De frequentie voor de uitstroom van bunkerolie zal niet veel afnemen.

In studies voor Duitse en Deense windparken wordt door de Germanischer Lloyd AG aangenomen dat iedere aandrijving en aanvaring leidt tot een gat in de scheepshuid met daaruit mogelijk een uitstroom. Det Norske Veritas veronderstelt alleen een mogelijke uitstroom na een aandrijving, maar laat niet iedere aandrijving tot een uitstroom leiden. Dit lijkt op de aanname zoals in de NSW-schadematrix (Tabel 3-1) is verwerkt, waarin iedere aandrijving van een schip boven 1000 GT tot een gat leidt, maar of dit vervolgens ook tot een uitstroom leidt hangt af van waar het schip wordt geraakt, of het een lading of ballasttank betreft en of het schip geladen is.

Door de technische universiteit Hamburg-Harburg zijn er ook berekeningen uitgevoerd waarbij is aangetoond dat er geen gat zal ontstaan in de ladingtank bij een dubbelwandig schip.

Conclusie

Gezien de ontbrekende praktijkgevallen blijft een conservatieve benadering van de olie-uitstroom gewenst. Wel mag geconcludeerd worden dat de uitstroom van ladingolie door de invoering van de dubbelwandige tankers bij aandrijvingen van windturbines beduidend minder kan zijn dan met de huidige worst case NSW-schadematrix wordt berekend.

6 CONCLUSIES

Voor twee varianten van windpark Q4-West zijn berekeningen uitgevoerd naar de aanvaar- en aandrijfkansen van de turbines wanneer de nieuwe routestructuur op de Noordzee van kracht is. Onderstaande tabel (Tabel 4-2) geeft de totale kansen per variant. Voor variant v112 zijn de kansen hoger dan voor variant v164. Dit komt vooral door het hogere aantal turbines. De totale aanvaar- en aandrijffrequentie voor variant v112 is 0.03556. Dit is 11.6% van de totale kans voor de 10 overige windparken.

Variant Q4-West	Oppervlakte [km ²]	Energie opbrengst [MWh/jaar]	Aantal turbines	Aantal aanvaringen (rammen) per jaar		Aantal aandrijvingen (driften) per jaar		Totaal aantal per jaar
				R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Q4-West v112	26.11	643860	70	0.00091	0.00532	0.02556	0.00377	0.03556
Q4-West v164	26.07	858480	40	0.00057	0.00423	0.01497	0.00235	0.02211
Vergunde parken	316.1	6926094	635	0.00954	0.06067	0.20613	0.02935	0.30570
% v112 / vergund	8.3%	9.3%	11.0%	9.5%	8.8%	12.4%	12.8%	11.6%
% v164 / vergund	8.2%	12.4%	6.3%	6.0%	7.0%	7.3%	8.0%	7.2%

Het hogere risico dat de grotere diameter van de turbines in de v164 turbine met zich meebrengt, wordt ruimschoots gecompenseerd door het lagere aantal turbines dat geplaatst wordt. Per geproduceerde MWh aan energie worden de verschillen nog duidelijker. Dit is te zien in onderstaande tabel (Tabel 4-4). Ook in vergelijking met de overige windparken scoort variant v164 aanmerkelijk beter. De aanvaarkans per MWh ligt op 58.4% van de gemiddelde kans per MWh voor de turbines in de overige windparken. Voor de v112 variant ligt de aanvaarkans per MWh 25.1% hoger dan de gemiddelde kans in de overige windparken.

Variant Q4-West	Oppervlakte [km ²]	Energie opbrengst [MWh/jaar]	Aantal turbines	Aantal aanvaringen (rammen) per MWh		Aantal aandrijvingen (driften) per MWh		Totaal per MWh
				R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Q4-West v112	26.11	643860	70	1.41E-09	8.26E-09	3.97E-08	5.86E-09	5.52E-08
Q4-West v164	26.07	858480	40	6.63E-10	4.93E-09	1.74E-08	2.74E-09	2.58E-08
Vergunde parken	316.1	6926094	635	1.378E-09	8.760E-09	2.976E-08	4.238E-09	4.414E-08
% v112 / vergund	8.3%	9.3%	11.0%	102.5%	94.3%	133.4%	138.2%	125.1%
% v164 / vergund	8.2%	12.4%	6.3%	48.1%	56.2%	58.6%	64.6%	58.4%

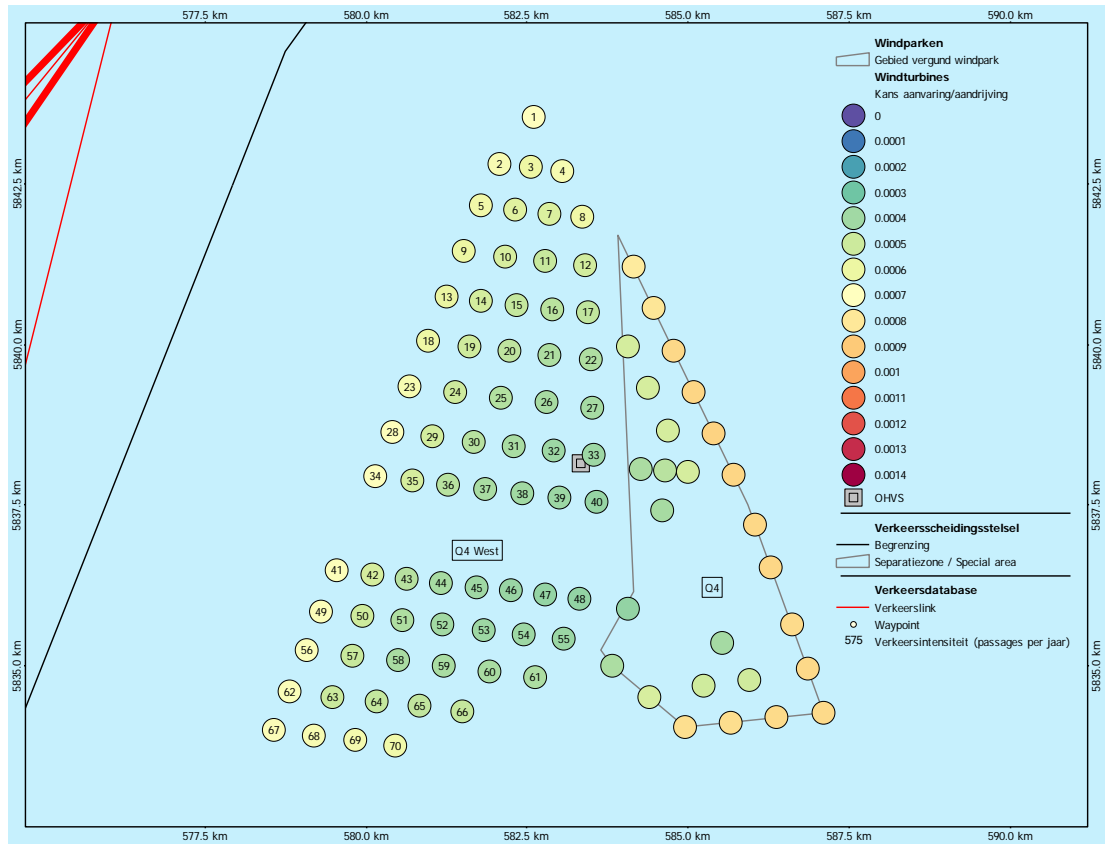
Als gevolg van variant v112 wordt eens per 677 jaar een uitstroom van olie verwacht, terwijl dit voor variant v164 eens per 1157 jaar is. De kans op uitstroom van bunkerolie en ladingolie op het gehele NCP neemt als gevolg van het risico op aanvaring met een windturbine van Q4-West variant v112 toe met 0.29%. Voor variant v164 is dit lager (0.17%).

De kans op persoonlijk letsel bij een aanvaring en aandrijving is bijzonder klein. Er wordt dan ook ruimschoots aan de criteria voor het extern risico voldaan, zowel wat betreft het individueel als het groepsrisico.

Een ETV kan onder de nieuwe routestructuur 38% van de aandrijvingen voorkomen wanneer het bij 0 tot 4 Bft vanuit Den Helder opereert en boven 5 Bft vanuit het Texel verkeersscheidingsstelsel.

REFERENTIES

- [1] C. van der Tak, J.H. de Jong
Safety Management Assessment Ranking Tool (SMART)
8th International Symposium on Vessel Traffic Services 1996
- [2] W.E. Walker, M. Pöyhönen, C. van der Tak, J.H. de Jong
POLSSS - Policy for Sea Shipping Safety, Executive Summary
RAND Europe and MARIN, December 1998
- [3] J. Barentse
Nadere toelichting: Gevolgen van aanvaringen door de windturbine-installatie
Jacobs Comprimo Nederland, juli 2000
- [4] C. van der Tak
Effecten van ruimteclaims in de Noordzee op de scheepvaart
MARIN, nr. 16498.620/2, november 2001
- [5] Y. Koldenhof, C. van der Tak
Risico vervoer (milieu)gevaarlijke stoffen op zee
MARIN, juli 2004
- [6] Kamerstuk 24611; vergaderjaar 1995-1996
Risico-normering vervoer gevaarlijke stoffen
- [7] Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Abschlussberichts der Unterarbeitsgruppe "Parameter für Risikoanalysen"
BSH 2005
- [8] C. van der Tak
Quantitative Risk Assessment for the proposed route structure in the North Sea
MARIN, nr. 25648-1-MSCN-rev.2, 30 November 2011

APPENDIX A1:
Resultaten windpark Q4-West variant v112

Figuur A1-1 Lay-out en aanvaar- en aandrijfkansen turbines windpark Q4-West variant v112

Tabel A1-1 Locatie, aanvaar- en aandrijfkansen turbines windpark Q4-West variant v112

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de ... jaar
	NB ggmm.m	OL ggmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
001.Q4West_v112	5244.0	413.3	0.000085	0.000105	0.000449	0.000059	0.000697	1434
002.Q4West_v112	5243.6	412.8	0.000076	0.000073	0.000454	0.000057	0.000660	1515
003.Q4West_v112	5243.6	413.3	0.000052	0.000071	0.000426	0.000057	0.000606	1650
004.Q4West_v112	5243.6	413.7	0.000036	0.000150	0.000405	0.000061	0.000652	1534
005.Q4West_v112	5243.3	412.6	0.000061	0.000066	0.000440	0.000055	0.000623	1605
006.Q4West_v112	5243.2	413.0	0.000041	0.000050	0.000419	0.000056	0.000566	1768
007.Q4West_v112	5243.2	413.5	0.000027	0.000063	0.000401	0.000057	0.000548	1825
008.Q4West_v112	5243.2	414.0	0.000019	0.000154	0.000383	0.000061	0.000617	1620
009.Q4West_v112	5242.9	412.3	0.000047	0.000066	0.000433	0.000055	0.000602	1662
010.Q4West_v112	5242.8	412.9	0.000029	0.000039	0.000412	0.000055	0.000535	1869
011.Q4West_v112	5242.8	413.4	0.000019	0.000031	0.000386	0.000055	0.000490	2040
012.Q4West_v112	5242.8	414.0	0.000012	0.000088	0.000361	0.000059	0.000520	1924
013.Q4West_v112	5242.5	412.1	0.000038	0.000072	0.000428	0.000054	0.000592	1689
014.Q4West_v112	5242.5	412.5	0.000025	0.000041	0.000407	0.000054	0.000527	1899
015.Q4West_v112	5242.4	413.0	0.000017	0.000030	0.000381	0.000054	0.000482	2073
016.Q4West_v112	5242.4	413.6	0.000011	0.000022	0.000371	0.000054	0.000459	2179
017.Q4West_v112	5242.4	414.0	0.000008	0.000055	0.000353	0.000058	0.000473	2113
018.Q4West_v112	5242.1	411.8	0.000030	0.000105	0.000421	0.000055	0.000610	1639
019.Q4West_v112	5242.1	412.4	0.000019	0.000046	0.000391	0.000054	0.000511	1957
020.Q4West_v112	5242.1	412.9	0.000012	0.000029	0.000376	0.000054	0.000470	2127

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de ... jaar
	NB ggmm.m	OL ggmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
021.Q4West_v112	5242.0	413.5	0.000008	0.000015	0.000355	0.000053	0.000431	2322
022.Q4West_v112	5242.0	414.0	0.000005	0.000040	0.000331	0.000057	0.000433	2308
023.Q4West_v112	5241.8	411.5	0.000024	0.000166	0.000410	0.000054	0.000655	1527
024.Q4West_v112	5241.7	412.2	0.000014	0.000054	0.000385	0.000054	0.000507	1974
025.Q4West_v112	5241.7	412.8	0.000009	0.000025	0.000358	0.000053	0.000444	2252
026.Q4West_v112	5241.6	413.4	0.000005	0.000011	0.000347	0.000052	0.000415	2411
027.Q4West_v112	5241.6	414.0	0.000003	0.000029	0.000325	0.000055	0.000412	2427
028.Q4West_v112	5241.4	411.3	0.000019	0.000214	0.000403	0.000054	0.000690	1449
029.Q4West_v112	5241.3	411.8	0.000012	0.000078	0.000381	0.000053	0.000524	1908
030.Q4West_v112	5241.3	412.4	0.000008	0.000031	0.000361	0.000053	0.000453	2209
031.Q4West_v112	5241.3	413.0	0.000005	0.000016	0.000347	0.000052	0.000420	2380
032.Q4West_v112	5241.2	413.5	0.000003	0.000009	0.000331	0.000051	0.000394	2539
033.Q4West_v112	5241.2	414.1	0.000002	0.000020	0.000317	0.000055	0.000394	2538
034.Q4West_v112	5241.0	411.0	0.000015	0.000225	0.000397	0.000054	0.000692	1446
035.Q4West_v112	5241.0	411.5	0.000010	0.000088	0.000376	0.000053	0.000528	1895
036.Q4West_v112	5240.9	412.1	0.000007	0.000036	0.000360	0.000052	0.000454	2202
037.Q4West_v112	5240.9	412.5	0.000005	0.000018	0.000346	0.000052	0.000420	2379
038.Q4West_v112	5240.9	413.1	0.000003	0.000010	0.000339	0.000050	0.000402	2486
039.Q4West_v112	5240.8	413.6	0.000002	0.000006	0.000331	0.000050	0.000390	2564
040.Q4West_v112	5240.8	414.1	0.000001	0.000014	0.000311	0.000053	0.000380	2634
041.Q4West_v112	5240.2	410.5	0.000009	0.000232	0.000389	0.000053	0.000684	1462
042.Q4West_v112	5240.2	411.0	0.000006	0.000097	0.000372	0.000052	0.000527	1896
043.Q4West_v112	5240.2	411.5	0.000004	0.000039	0.000358	0.000051	0.000452	2214
044.Q4West_v112	5240.1	411.9	0.000003	0.000017	0.000346	0.000051	0.000416	2404
045.Q4West_v112	5240.1	412.4	0.000002	0.000010	0.000335	0.000050	0.000397	2516
046.Q4West_v112	5240.0	412.9	0.000002	0.000009	0.000323	0.000051	0.000384	2604
047.Q4West_v112	5240.0	413.4	0.000001	0.000011	0.000312	0.000052	0.000376	2660
048.Q4West_v112	5240.0	413.9	0.000001	0.000014	0.000304	0.000053	0.000372	2691
049.Q4West_v112	5239.9	410.3	0.000008	0.000232	0.000388	0.000053	0.000681	1467
050.Q4West_v112	5239.9	410.9	0.000005	0.000083	0.000369	0.000051	0.000508	1968
051.Q4West_v112	5239.8	411.4	0.000003	0.000027	0.000352	0.000051	0.000433	2310
052.Q4West_v112	5239.8	411.9	0.000002	0.000012	0.000338	0.000050	0.000403	2483
053.Q4West_v112	5239.7	412.5	0.000001	0.000017	0.000322	0.000052	0.000393	2545
054.Q4West_v112	5239.7	413.1	0.000001	0.000024	0.000313	0.000054	0.000392	2548
055.Q4West_v112	5239.6	413.6	0.000001	0.000032	0.000299	0.000056	0.000387	2581
056.Q4West_v112	5239.6	410.1	0.000006	0.000231	0.000388	0.000053	0.000679	1474
057.Q4West_v112	5239.5	410.7	0.000004	0.000072	0.000364	0.000052	0.000492	2032
058.Q4West_v112	5239.5	411.3	0.000002	0.000023	0.000345	0.000051	0.000421	2376
059.Q4West_v112	5239.4	411.9	0.000001	0.000032	0.000333	0.000052	0.000419	2387
060.Q4West_v112	5239.4	412.6	0.000001	0.000048	0.000316	0.000055	0.000419	2384
061.Q4West_v112	5239.3	413.2	0.000001	0.000068	0.000303	0.000057	0.000428	2336
062.Q4West_v112	5239.2	409.8	0.000005	0.000231	0.000387	0.000053	0.000676	1479
063.Q4West_v112	5239.2	410.4	0.000003	0.000080	0.000363	0.000050	0.000496	2015
064.Q4West_v112	5239.1	411.0	0.000002	0.000080	0.000348	0.000053	0.000482	2073
065.Q4West_v112	5239.1	411.6	0.000001	0.000089	0.000332	0.000054	0.000476	2099
066.Q4West_v112	5239.0	412.2	0.000001	0.000111	0.000317	0.000056	0.000486	2058
067.Q4West_v112	5238.9	409.6	0.000004	0.000233	0.000387	0.000054	0.000679	1474
068.Q4West_v112	5238.9	410.1	0.000003	0.000234	0.000365	0.000055	0.000656	1524
069.Q4West_v112	5238.8	410.7	0.000002	0.000234	0.000348	0.000056	0.000640	1562
070.Q4West_v112	5238.8	411.3	0.000001	0.000235	0.000335	0.000057	0.000628	1593
Totaal per jaar			0.000911	0.005317	0.025562	0.003771	0.035561	28
Dit is eens in .. jaar			1098	188	39	265	28	

Tabel A1-2 Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor Q4-West variant v112

Scheepstype	Rammen		Driften		Totaal	
	Aantal per jaar	Eens in de ... jaar	Aantal per jaar	Eens in de ... jaar	Aantal per jaar	Eens in de ... jaar
Routegebonden	0.000909	1100	0.025562	39	0.026471	38
Niet-routegebonden	0.005318	188	0.003770	265	0.009088	110
Totaal	0.006227	161	0.029332	34	0.035559	28

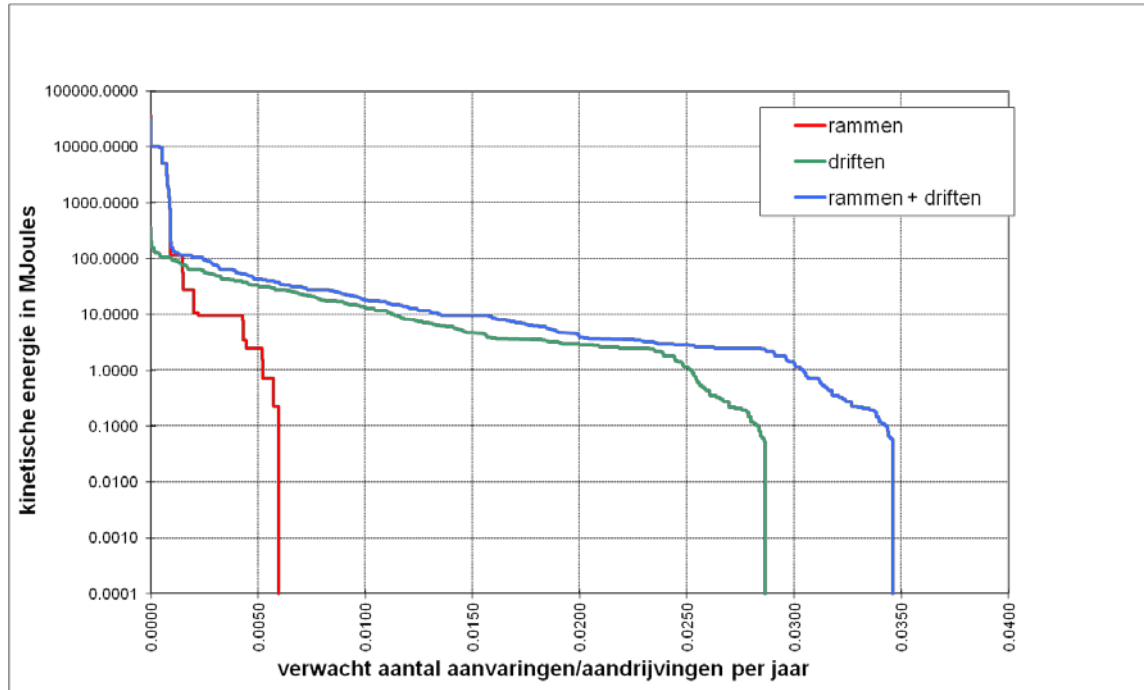
Tabel A1-3 Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen

Scheepstype	Soort schade			Totaal
	GosMos ¹	schade aan scheepshuid	geen schade	
Olietanker	0.000000	0.000778	0.000003	0.000781
Chemicaliën tanker	0.000000	0.002297	0.000021	0.002318
Gastanker	0.000000	0.000444	0.000000	0.000443
Container+ RoRo	0.000082	0.008206	0.000742	0.009030
Ferry	0.000002	0.000257	0.000019	0.000278
Overige R-schepen	0.000007	0.013013	0.000602	0.013622
N-schepen	0.000032	0.000034	0.009022	0.009088
Totaal	0.000122	0.025029	0.010409	0.035560

Tabel A1-4 Schade aan het totale windpark Q4-West variant v112

Schade aan turbine	Rammen				Driften		Totaal		Aantal per jaar	Eens in de ... jaar
	frontaal		Schampen		R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen						
Geen	0.000000	0.000417	0.000000	0.004248	0.001858	0.003736	0.001858	0.008401	0.010259	97
Scheef	0.000000	0.000055	0.000000	0.000022	0.013444	0.000034	0.013444	0.000111	0.013555	74
Omvalen	0.000082	0.000054	0.000738	0.000491	0.010260	0.000000	0.011080	0.000545	0.011625	86
GosMos ¹	0.000009	0.000006	0.000082	0.000026	0.000000	0.000000	0.000091	0.000032	0.000122	8168
Totaal	0.000091	0.000532	0.000820	0.004786	0.025562	0.003770	0.026473	0.009088	0.035561	28

¹ Gondel en mastdeel vallen op schip na plastische vervorming



Figuur A1-2 Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer)

Tabel A1-5 Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle Q4-West windturbines in variant v112

Kinetische energie in MJ	Rammen			Driften			Totaal		
	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal
<1	0.0%	2.8%	2.8%	1.1%	10.5%	11.6%	1.1%	13.3%	14.4%
1-3	0.0%	2.1%	2.1%	15.4%	0.1%	15.5%	15.4%	2.3%	17.7%
3-5	0.0%	0.4%	0.4%	14.4%	0.0%	14.4%	14.4%	0.4%	14.8%
5-10	0.0%	6.0%	6.0%	9.1%	0.0%	9.1%	9.1%	6.0%	15.1%
10-15	0.0%	0.5%	0.5%	5.9%	0.0%	5.9%	5.9%	0.5%	6.4%
15-50	0.0%	1.4%	1.4%	17.5%	0.0%	17.5%	17.5%	1.4%	18.9%
50-100	0.0%	0.0%	0.0%	5.9%	0.0%	5.9%	5.9%	0.0%	5.9%
100-200	0.0%	1.6%	1.6%	2.6%	0.0%	2.6%	2.6%	1.6%	4.2%
>200	2.6%	0.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%	2.6%	0.0%	2.6%
Totaal	2.6%	15.0%	17.5%	71.9%	10.6%	82.5%	74.4%	25.6%	100.0%

Tabel A1-6 Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine

Uitstroom van bunkerolie in m ³	Windpark Q4-West variant v112		
	Frequentie	Eens in de jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³
0.01-20	0.000005	187852	0.000
20-150	0.000430	2326	0.035
150-750	0.000640	1563	0.211
750-3000	0.000264	3783	0.394
3000-10000	0.000008	121177	0.030
Totaal	0.001348	742	0.669

Tabel A1-7 *Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine*

Uitstroom van ladingolie in m ³	Windpark Q4-West variant v112		
	Frequentie	Eens in de jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³
20-150	0.000000		0.000
150-750	0.000061	16309	0.031
750-3000	0.000024	41297	0.060
3000-10000	0.000043	23270	0.243
10000-30000	0.000002	605281	0.025
30000-100000	0.000000	35887614	0.001
Totaal	0.000130	7681	0.360

Tabel A1-8 *Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine*

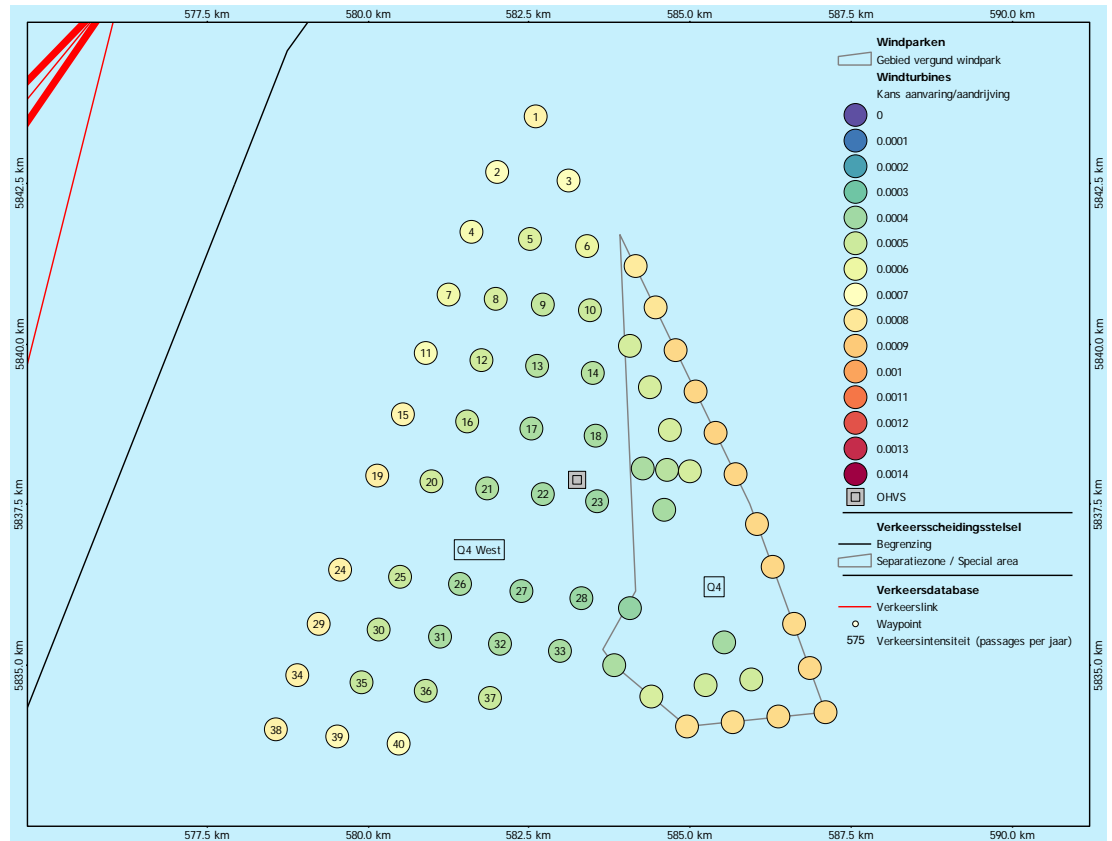
Windpark Q4-West variant v112	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³	Frequentie	Eens in de jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³	Eens in de ... jaar
	0.001348	742	0.669	0.000130	7681	0.360	677

Tabel A1-9 *Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine*

Ecologische risico-indicator	
Zeer hoog ecologisch risico	0.000033
Hoog ecologisch risico	0.000013
Gemiddeld ecologische risico	0.000010
Gering ecologisch risico	0.000054
Verwaarloosbaar ecologische risico	0.000049
Totaal	0.000158
Eens in de ... jaar	6310

Tabel A1-10 *Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt*

Scheepstype	Aanvaringstype Aantal per jaar		Samen eens in de ...jaar	Directe doden		Groepsrisico Eens in de ... jaar meer dan 10 doden
	Frontaal	Schampen		Gemiddeld aantal doden per keer	Gemiddeld aantal doden per jaar	
Olietanker	0.000000	0.000000	-	-	0.000000	-
Chemicaliën tanker	0.000000	0.000000	-	-	0.000000	-
Gastanker	0.000000	0.000000	-	-	0.000000	-
Container + RoRo	0.000008	0.000074	12156	1.07	0.000088	-
Ferry	0.000000	0.000001	625000	42.36	0.000068	625000
Overige R-schepen	0.000001	0.000006	148810	1.00	0.000007	-
N-schepen	0.000006	0.000026	31561	0.17	0.000005	-
Totaal	0.000015	0.000107	8179	1.37	0.000168	625000

APPENDIX A2:
Resultaten windpark Q4-West variant v164


Figuur A2-1 Lay-out en aanvaar- en aandrijfkansen turbines windpark Q4-West variant v164

Tabel A2-1 Locatie, aanvaar- en aandrijfkansen turbines windpark Q4-West variant v164

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de ... jaar
	NB gmm.m	OL gmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
001.Q4West_v164	5244.0	413.3	0.000089	0.000136	0.000459	0.000064	0.000748	1337
002.Q4West_v164	5243.5	412.8	0.000077	0.000093	0.000462	0.000062	0.000693	1442
003.Q4West_v164	5243.5	413.7	0.000033	0.000188	0.000406	0.000066	0.000693	1444
004.Q4West_v164	5243.0	412.4	0.000056	0.000086	0.000451	0.000060	0.000654	1530
005.Q4West_v164	5243.0	413.2	0.000029	0.000049	0.000412	0.000060	0.000549	1820
006.Q4West_v164	5242.9	414.0	0.000015	0.000141	0.000378	0.000065	0.000599	1669
007.Q4West_v164	5242.5	412.1	0.000040	0.000090	0.000438	0.000059	0.000627	1594
008.Q4West_v164	5242.5	412.7	0.000023	0.000044	0.000407	0.000059	0.000534	1872
009.Q4West_v164	5242.4	413.4	0.000014	0.000026	0.000383	0.000058	0.000481	2080
010.Q4West_v164	5242.4	414.0	0.000008	0.000069	0.000361	0.000063	0.000502	1992
011.Q4West_v164	5242.0	411.8	0.000030	0.000152	0.000429	0.000059	0.000670	1492
012.Q4West_v164	5242.0	412.5	0.000016	0.000049	0.000391	0.000058	0.000514	1944
013.Q4West_v164	5241.9	413.3	0.000008	0.000019	0.000362	0.000057	0.000447	2235
014.Q4West_v164	5241.9	414.0	0.000005	0.000046	0.000338	0.000061	0.000450	2221
015.Q4West_v164	5241.5	411.4	0.000022	0.000245	0.000415	0.000059	0.000741	1350
016.Q4West_v164	5241.5	412.3	0.000010	0.000053	0.000379	0.000057	0.000500	2002
017.Q4West_v164	5241.4	413.2	0.000005	0.000016	0.000347	0.000057	0.000424	2359
018.Q4West_v164	5241.3	414.0	0.000003	0.000029	0.000327	0.000060	0.000419	2389

Windturbine	Positie		Rammen		Driften		Totaal	Eens in de ... jaar
	NB gmm.m	OL gmm.m	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
019.Q4West_v164	5241.0	411.0	0.000016	0.000285	0.000406	0.000059	0.000766	1306
020.Q4West_v164	5241.0	411.8	0.000009	0.000070	0.000378	0.000057	0.000513	1948
021.Q4West_v164	5240.9	412.5	0.000005	0.000022	0.000354	0.000056	0.000437	2288
022.Q4West_v164	5240.8	413.3	0.000003	0.000008	0.000342	0.000054	0.000407	2459
023.Q4West_v164	5240.8	414.1	0.000002	0.000017	0.000318	0.000058	0.000395	2534
024.Q4West_v164	5240.2	410.5	0.000010	0.000291	0.000398	0.000058	0.000756	1323
025.Q4West_v164	5240.2	411.3	0.000005	0.000061	0.000372	0.000056	0.000494	2026
026.Q4West_v164	5240.1	412.2	0.000003	0.000015	0.000347	0.000055	0.000420	2379
027.Q4West_v164	5240.0	413.0	0.000002	0.000011	0.000328	0.000055	0.000396	2526
028.Q4West_v164	5240.0	413.8	0.000001	0.000017	0.000311	0.000058	0.000386	2588
029.Q4West_v164	5239.8	410.2	0.000007	0.000292	0.000396	0.000057	0.000752	1329
030.Q4West_v164	5239.7	411.0	0.000004	0.000061	0.000368	0.000056	0.000489	2046
031.Q4West_v164	5239.7	411.9	0.000002	0.000019	0.000345	0.000055	0.000421	2376
032.Q4West_v164	5239.6	412.7	0.000001	0.000034	0.000329	0.000058	0.000423	2366
033.Q4West_v164	5239.5	413.5	0.000001	0.000053	0.000305	0.000061	0.000420	2379
034.Q4West_v164	5239.4	409.9	0.000006	0.000295	0.000395	0.000058	0.000753	1328
035.Q4West_v164	5239.3	410.8	0.000003	0.000066	0.000363	0.000056	0.000488	2049
036.Q4West_v164	5239.2	411.7	0.000002	0.000077	0.000343	0.000058	0.000479	2086
037.Q4West_v164	5239.1	412.5	0.000001	0.000113	0.000320	0.000061	0.000495	2021
038.Q4West_v164	5238.9	409.6	0.000005	0.000297	0.000396	0.000058	0.000755	1324
039.Q4West_v164	5238.8	410.4	0.000002	0.000298	0.000363	0.000060	0.000723	1383
040.Q4West_v164	5238.8	411.3	0.000001	0.000299	0.000342	0.000062	0.000704	1420
Totaal per jaar			0.000572	0.004231	0.014965	0.002350	0.022118	45
Dit is eens in .. jaar			1748	236	67	426	45	

Tabel A2-2 Totaal aantal aanvaringen/aandrijvingen voor Q4-West variant v164

Scheepstype	Rammen		Driften		Totaal	
	Aantal per jaar	Eens in de ... jaar	Aantal per jaar	Eens in de ... jaar	Aantal per jaar	Eens in de ... jaar
Routegebonden	0.000569	1757	0.014965	67	0.015534	64
Niet-routegebonden	0.004231	236	0.002349	426	0.006580	152
Totaal	0.004800	208	0.017314	58	0.022114	45

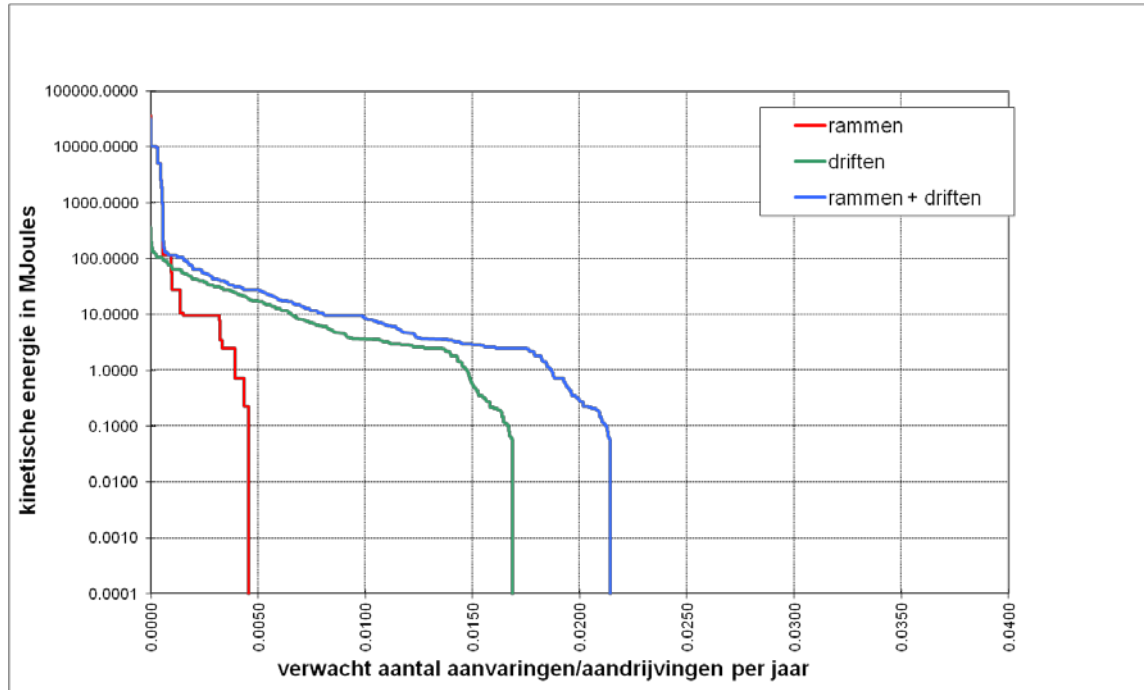
Tabel A2-3 Kans op een bepaalde schade soort veroorzaakt door de verschillende scheepstypen

Scheepstype	Soort schade			Totaal
	GosMos ¹	schade aan scheepshuid	geen schade	
Olietanker	0.000000	0.000455	0.000000	0.000455
Chemicaliën tanker	0.000000	0.001347	0.000013	0.001360
Gastanker	0.000000	0.000260	0.000000	0.000260
Container+ RoRo	0.000051	0.004771	0.000465	0.005287
Ferry	0.000001	0.000150	0.000010	0.000161
Overige R-schepen	0.000004	0.007641	0.000368	0.008013
N-schepen	0.000022	0.000020	0.006538	0.006580
Totaal	0.000078	0.014644	0.007394	0.022116

Tabel A2-4 Schade aan het totale windpark Q4-West variant v164

Schade aan turbine	Rammen				Driften		Totaal		Aantal per jaar	Eens in de ... jaar
	Frontaal		Schampen		R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen						
Geen	0.000000	0.000340	0.000000	0.003442	0.001109	0.002329	0.001109	0.006111	0.007220	139
Scheef	0.000000	0.000042	0.000000	0.000015	0.007901	0.000020	0.007901	0.000078	0.007979	125
Omvallen	0.000051	0.000037	0.000464	0.000333	0.005956	0.000000	0.006471	0.000370	0.006841	146
GosMos ¹	0.000006	0.000004	0.000051	0.000018	0.000000	0.000000	0.000057	0.000022	0.000078	12745
Totaal	0.000057	0.000423	0.000515	0.003808	0.014966	0.002349	0.015538	0.006580	0.022118	45

¹ Gondel en mastdeel vallen op schip na plastische vervorming



Figuur A2-2 *Totale aanvaringsfrequentie per jaar boven een bepaald kinetisch energieniveau (routegebonden en niet-routegebonden verkeer)*

Tabel A2-5 *Verdeling aanvaar- en aandrijfkansen over de scheepstypen en energieklassen voor alle Q4-West windturbines in variant v164*

Kinetische energie in MJ	Rammen			Driften			Totaal		
	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal	R-schepen	N-schepen	Totaal
<1	0.0%	3.9%	3.9%	1.1%	10.5%	11.6%	1.1%	14.4%	15.5%
1-3	0.0%	2.7%	2.7%	14.6%	0.1%	14.8%	14.6%	2.9%	17.5%
3-5	0.0%	0.5%	0.5%	13.6%	0.0%	13.6%	13.6%	0.5%	14.1%
5-10	0.0%	7.7%	7.7%	8.6%	0.0%	8.6%	8.6%	7.7%	16.3%
10-15	0.0%	0.7%	0.7%	5.5%	0.0%	5.5%	5.5%	0.7%	6.2%
15-50	0.0%	1.8%	1.8%	16.4%	0.0%	16.4%	16.4%	1.8%	18.1%
50-100	0.0%	0.0%	0.0%	5.5%	0.0%	5.5%	5.5%	0.0%	5.5%
100-200	0.0%	1.8%	1.8%	2.4%	0.0%	2.4%	2.4%	1.8%	4.2%
>200	2.6%	0.0%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%	2.6%	0.0%	2.6%
Totaal	2.6%	19.1%	21.7%	67.7%	10.6%	78.3%	70.2%	29.8%	100.0%

Tabel A2-6 *Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine*

Uitstroom van bunkerolie in m ³	Windpark Q4-West variant v164		
	Frequentie	Eens in de jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³
0.01-20	0.000003	316589	0.000
20-150	0.000253	3954	0.020
150-750	0.000374	2673	0.123
750-3000	0.000153	6526	0.228
3000-10000	0.000005	209910	0.018
Totaal	0.000788	1269	0.389

Tabel A2-7 *Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie als gevolg van een aandrijving van een windturbine*

Uitstroom van ladingolie in m ³	Windpark Q4-West variant v164		
	Frequentie	Eens in de jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³
20-150	0.000000		0.000
150-750	0.000036	27782	0.018
750-3000	0.000014	71137	0.035
3000-10000	0.000025	40205	0.141
10000-30000	0.000001	1047688	0.014
30000-100000	0.000000	62161494	0.001
Totaal	0.000076	13176	0.208

Tabel A2-8 *Uitstroom van ladingolie en bunkerolie als gevolg van een aandrijving met een windturbine*

Windpark Q4-West variant v164	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³	Frequentie	Eens in de jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m ³	Eens in de ... jaar
	0.000788	1269	0.389	0.000076	13176	0.208	1157

Tabel A2-9 *Frequentie van uitstroom van chemicaliën als gevolg van een aandrijving van een windturbine*

Ecologische risico-indicator	
Zeer hoog ecologisch risico	0.000020
Hoog ecologisch risico	0.000008
Gemiddeld ecologische risico	0.000006
Gering ecologisch risico	0.000031
Verwaarloosbaar ecologische risico	0.000029
Totaal	0.000093
Eens in de ... jaar	10749

Tabel A2-10 *Overlijdensrisico bij aanvaren en aandrijven van een windturbine waarbij de mast met gondel op het schip valt*

Scheepstype	Aanvaringstype Aantal per jaar		Samen eens in de ...jaar	Directe doden		Groepsrisico Eens in de ... jaar meer dan 10 doden
	Frontaal	Schampen		Gemiddeld aantal doden per keer	Gemiddeld aantal doden per jaar	
Olietanker	0.000000	0.000000	-	-	0.000000	-
Chemicaliën tanker	0.000000	0.000000	-	-	0.000000	-
Gastanker	0.000000	0.000000	-	-	0.000000	-
Container + RoRo	0.000005	0.000046	19434	1.54	0.000079	-
Ferry	0.000000	0.000001	1111111	62.20	0.000056	1111111
Overige R-schepen	0.000000	0.000004	229095	1.42	0.000006	-
N-schepen	0.000004	0.000018	46425	0.24	0.000005	-
Totaal	0.000010	0.000069	12778	1.87	0.000147	1111111