

## Challenging wind and waves

Linking hydrodynamic research to the maritime industry

### RISICO VOOR DE SCHEEPVAART BIJ AANWIJZING WINDGEBIED "TEN NOORDEN VAN DE WADDENEILANDEN"

Eindrapport

Rapport nr. : 26455-1-MSCN-rev.4

Datum : 19 september 2013

Paraaf Management



## **RISICO VOOR DE SCHEEPVAART BIJ AANWIJZING WINDGEBIED "TEN NOORDEN VAN DE WADDENEILANDEN"**

Opdrachtgever : Rijkswaterstaat  
Waterdienst  
Postbus 7  
8200 AA LELYSTAD

<b>Revisienr.</b>	<b>Status</b>	<b>Datum</b>	<b>Auteur</b>	<b>Voor gezien</b>
0	Concept	2 november 2012	C. van der Tak	W.H. van Iperen
1	Eind	28 november 2012	C. van der Tak	W.H. van Iperen
2	Eind	10 december 2012	C. van der Tak	W.H. van Iperen
3	Concept (twee nieuwe varianten)	4 september 2013	C. van der Tak	W.H. van Iperen
4	Eind	19 september 2013	C. van der Tak	W.H. van Iperen

**INHOUDSOPGAVE**

Pag.

LIJST MET GEBRUIKTE AFKORINGEN .....	5
1 SUMMARY IN ENGLISH.....	6
1.1 Introduction .....	6
1.2 Objective .....	6
1.3 Approach.....	6
1.4 Modelling.....	7
1.4.1 Wind turbines.....	7
1.4.2 Traffic database.....	7
1.5 Results of the QRA .....	9
1.5.1 Impact of TNW on the risk for ships outside the wind farm area .....	9
1.5.2 Risk of a contact against a wind turbine of TNW .....	9
1.5.3 Risk of an oil spill.....	10
1.6 Risk reducing measures .....	11
1.7 Conclusions and assumptions .....	11
2 INLEIDING.....	14
3 DOELSTELLING .....	16
4 AANPAK .....	17
5 MODELLERING .....	19
5.1 Invullen van gebieden met windturbines.....	19
5.2 Verkeersafwikkeling van de scheepvaart .....	21
5.3 Verkeersafwikkeling van de scheepvaart voor 2020 .....	23
6 RESULTATEN.....	26
6.1 Het resultaat van de QRA .....	26
6.2 Extra risico voor de scheepvaart door contact met een windturbine .....	31
6.3 Milieuschade .....	43
6.4 Conclusies .....	46
7 RISICO REDUCERENDE MAATREGELEN.....	47
8 CONCLUSIES, UITGANGSPUNTEN EN SLOTOPMERKINGEN .....	48
REFERENTIES .....	53
BIJLAGE A BESCHRIJVING SAMSON-MODEL	

## OVERZICHT VAN TABELLEN EN FIGUREN

### Tabellen:

Table 1-1	Probability of a ramming or drifting with a wind turbine for TNW, scaled to 1000 MW.....	10
Table 1-2	Risk factor for transition from minimum to maximum variant and from traffic in 2008 to traffic in 2020 .....	10
Table 1-3	Probability of an outflow of oil due to a drifting against one of the wind turbines for 1000 MW installed.....	10
Table 1-4	Factor for frequency of outflow from the minimum to the maximum variant and from traffic in 2008 to traffic in 2020 .....	11
Tabel 6-1	QRA voor minimumvariant voor TNW vergeleken met huidige verkeersafwikkeling zonder windpark voor verkeer van 2008 .....	28
Tabel 6-2	QRA voor minimum- en maximumvariant voor TNW voor verkeer van 2008.. .....	29
Tabel 6-3	QRA voor minimum- en maximumvariant voor TNW voor verkeer van 2020.. .....	30
Tabel 6-4	Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar voor de minimumvariant van TNW en het jaar 2008.....	33
Tabel 6-5	Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar voor de maximumvariant van TNW en het jaar 2008.....	33
Tabel 6-6	Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar voor de minimumvariant TNW en het jaar 2020.....	34
Tabel 6-7	Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar voor de maximumvariant en het jaar 2020.....	34
Tabel 6-8	Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar in TNW, teruggerekend naar 1000 MW.....	35
Tabel 6-9	Verandering van kans bij overgang van variant of jaar teruggerekend naar 1000 MW.....	35
Tabel 6-10	Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie per jaar als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine van TNW in 2008 .....	43
Tabel 6-11	Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie per jaar als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine van TNW in 2008 .....	44
Tabel 6-12	Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie per jaar als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine voor TNW in 2020 .....	44
Tabel 6-13	Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie per jaar als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine voor TNW in 2020 .....	45
Tabel 6-14	Frequentie van een uitstroom van olie als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine voor alle varianten.....	45
Tabel 6-15	Verandering van kans bij overgang van variant of jaar .....	46
Tabel 8-1	Aantal incidenten per jaar buiten en binnen het windgebied in 2008 .....	48
Tabel 8-2	Aantal incidenten per jaar buiten en binnen het windgebied in 2020 .....	49
Tabel 8-3	Verandering aantal incidenten per jaar van 2008 naar 2020.....	49

### Figuren:

Figure 1-1	Traffic database for the minimum variant of TNW in 2020 .....	8
Figure 1-2	Traffic database for the maximum variant of TNW in 2020 .....	9
Figuur 5-1	Afstand x en y tussen de windturbines in twee hoofdrichtingen.....	19
Figuur 5-2	De minimumvariant van TNW met windturbines en de kabels waardoor windturbines zijn verwijderd .....	20

Figuur 5-3	De maximumvariant van TNW met windturbines en de kabels waardoor windturbines zijn verwijderd.....	20
Figuur 5-4	De meest westelijke windturbines van de maximumvariant van TNW.....	21
Figuur 5-5	T0-situatie: Verkeersafwikkeling vanaf augustus 2013 op basis van scheepsbewegingen in 2008. Het oranje gebied omvat de drie vergunde windparken.....	22
Figuur 5-6	Verkeersafwikkeling (niveau 2008) bij het windgebied TNW voordat er windturbines geplaatst zullen worden.....	23
Figuur 5-7	Verkeersafwikkeling (niveau 2008) bij het windgebied TNW wanneer dit volgebouwd is met windturbines.....	23
Figuur 5-8	Verkeersafwikkeling (niveau 2020) bij de minimumvariant van windgebied TNW .....	24
Figuur 5-9	Verkeersafwikkeling (niveau 2020) bij de maximumvariant van windgebied TNW .....	25
Figuur 6-1	Gebied waarvoor het risico van de scheepvaart op zee is bepaald.....	26
Figuur 6-2	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor alle schepen (R+N) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008 .....	37
Figuur 6-3	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor routegebonden schepen (R) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008....	37
Figuur 6-4	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor niet-routegebonden schepen (N) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008.....	38
Figuur 6-5	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor alle schepen (R+N) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008.....	38
Figuur 6-6	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor routegebonden schepen (R) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008... ..	39
Figuur 6-7	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor niet-routegebonden schepen (N) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008.....	39
Figuur 6-8	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor alle schepen (R+N) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020.....	40
Figuur 6-9	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor routegebonden schepen (R) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020....	40
Figuur 6-10	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor niet-routegebonden schepen (N) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020.....	41
Figuur 6-11	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor alle schepen (R+N) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020.....	41
Figuur 6-12	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor routegebonden schepen (R) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020... ..	42
Figuur 6-13	Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor niet-routegebonden schepen (N) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020.....	42

**LIJST MET GEBRUIKTE AFKORINGEN**

AIS	Automatic Identification System
GT	Gross Tonnage
IMO	International Maritime Organization
MW	Mega Watt
N-schepen	Niet-routegebonden schepen
QRA	Quantitative Risk Assessment
R-schepen	Routegebonden schepen
SAMSON	Safety Assessment Model for Shipping and Offshore on the North Sea
TSS	Traffic Separation Scheme (scheidingsstelsel)
VSS	(=TSS) Verkeersscheidingsstelsel
Windgebied	gebied bedoeld voor de bouw van windparken
km	kilometer
kton	kiloton
m	meter
nm	nautische mijl
kabel	0,1 nautische mijl

## 1 SUMMARY IN ENGLISH

### 1.1 Introduction

The Dutch government intends to allocate the areas “Hollandse Kust” (HK) and “Ten Noorden van de Waddeneilanden” (TNW) for wind farms. The process to achieve this allocation is described in the “Notitie Reikwijdte en Detailniveau” (NRD) [1] of the Ministry of Infrastructure and the Environment. Part of the process is the quantitative risk assessment (QRA) for shipping when these areas are filled with wind turbines. This report is the QRA for wind area TNW.

The base for the calculations (T0) is the situation with the two existing wind farms OWEZ and Princess Amalia where the ship movements of 2008 are routed through the new route structure that came into force at August 1, 2013. To gain insight into the change of the risk in the future, a forecast is made for 2020.

### 1.2 Objective

The objective of the study is to quantify the change in safety when the area TNW is filled with wind turbines.

### 1.3 Approach

The impacts for shipping are quantified with the SAMSON-model that has been developed, extended, validated and improved continuously during the last 25 years in studies performed for the Dutch Maritime Safety Authority, European projects and commercial projects. A brief description of the model is given in Appendix A.

The following effects can be quantified with the SAMSON-model:

- Expected number of accidents per year, divided over type of accident, ship types and sizes;
- Extra miles that have to be travelled as a result of a certain development and the costs involved;
- Emitted environmental dangerous goods, e.g. exhaust;
- Consequences of the accidents such as the outflow of oil or personal injuries.

For quantifying the risk, the model requires the following input:

- Description of the geographical area;
- A traffic database describing all traffic flows;
- Current;
- Wind compass.

The impact of an offshore wind farm is quantified by comparing the risk for the case with the wind farm with the risk for the base case without the wind farm.

An offshore wind farm introduces an additional type of risk, being the risk that a wind turbine is struck by a ship. Two types of collision risk are distinguished, namely:

- A **ramming** contact that takes place when a ship is on a collision course with a wind turbine and a navigational error occurs. A navigational error can have various causes, such as lack of information, not being able to see the wind farm, not being present on the bridge, getting unwell and not being able to act, making

an error etc. A ramming contact will take place at high speed: 90% of the service speed of a vessel.

- A **drifting** contact occurs when a ship in the vicinity of a wind turbine experiences a failure in the propulsion engine or in the steering equipment. Since the ship slowly becomes uncontrollable as it loses speed, the combined effect of wind, waves and current may carry the ship towards the wind turbine. If dropping an anchor does not help or is not practical and the repair time exceeds the available time, the ship may collide against a turbine. This generally happens at a low speed.

The probability of a contact with a wind turbine depends on where the traffic flows are located with respect to the wind farms. In order to quantify this ramming and drifting risk, the offshore wind farm areas have to be filled with wind turbines with a real geographical position.

## 1.4 Modelling

### 1.4.1 Wind turbines

For the calculation of the ramming and drifting risk it is necessary to define the actual positions of wind turbines, instead of only defining an area. For this reason, the area TNW is filled up with wind turbines. Because it is very time consuming to develop the optimal configuration of wind turbines, a more pragmatic approach is followed. The approach, already explained and used in [2], contains the following steps:

1. 5 MW wind turbines are placed in the whole North Sea according to a close packing of spheres with a distance of 960m (8 times the rotor diameter);
2. Only the wind turbines within the designated areas are collected;
3. Wind turbines closer than 500 m to a cable are removed;
4. Wind turbines along the borders of the area within 500 m of a cable are not removed, to avoid that ships will enter, or better, are allowed to enter, the wind farm;
5. It is assumed that the required 100m distance to a pipeline will not be a real restriction and this requirement can be fulfilled in the final design.

Two variants are considered, namely:

1. The **minimum variant** for which the distance between the borders of the deep water route and the outer wind turbines is 1,3 nm + 500 m. The variant ends at the 5 nm safety zone for helicopter approach to platform G17d-A.
2. The **maximum variant** for which it is assumed that the 5 nm safety zone to G17d-A can be used for wind turbines. The variant ends now in a wedget on the west side. The distance of 1,3 nm + 500 m to the deep water route is kept unchanged.

### 1.4.2 Traffic database

Some parties have objected to the permits granted for the construction of wind farms on certain locations. These wind farms have not been built to date. In the context of elongation of the permits, a process was started to obtain more support. The process with port authorities and the wind sector has led to a new route structure for shipping on the North Sea. This new structure is in force since August 1, 2013. Therefore, this route structure is considered as base for the QRA.

A traffic database has been constructed by assigning the shipping movements of 2008 to this route structure. This database represents the T0-situation. New traffic databases



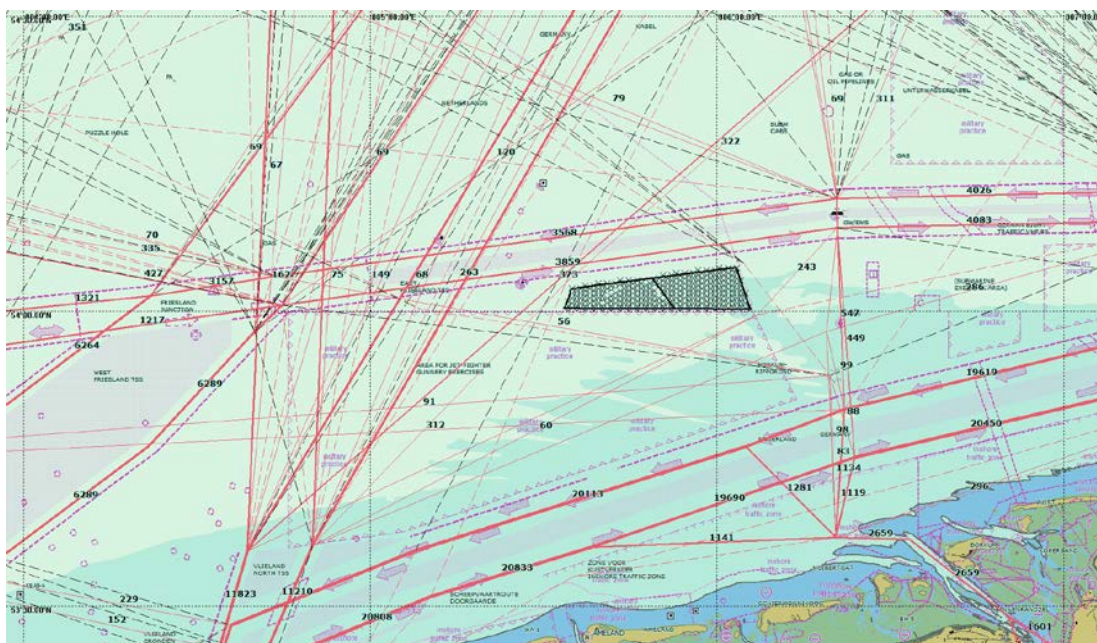
have been constructed, one for the minimum variant of TNW and one for the maximum variant. This was necessary because some traffic flows cross the areas of the minimum and maximum variant.

Next, two traffic databases were constructed for 2020 by extrapolating the growth in the Antwerp-Hamburg range from 2000 to 2008. The average growth in the Antwerp-Hamburg range showed a 0,5% growth in the number of ships and 3,9% growth in the size of a ship, but showed considerable differences between the ship types and sizes. These differences are accounted for in the traffic database for 2020. However, due to the crisis, it is expected that the traffic databases constructed for 2020 will be achieved not in 2020 but some years later.

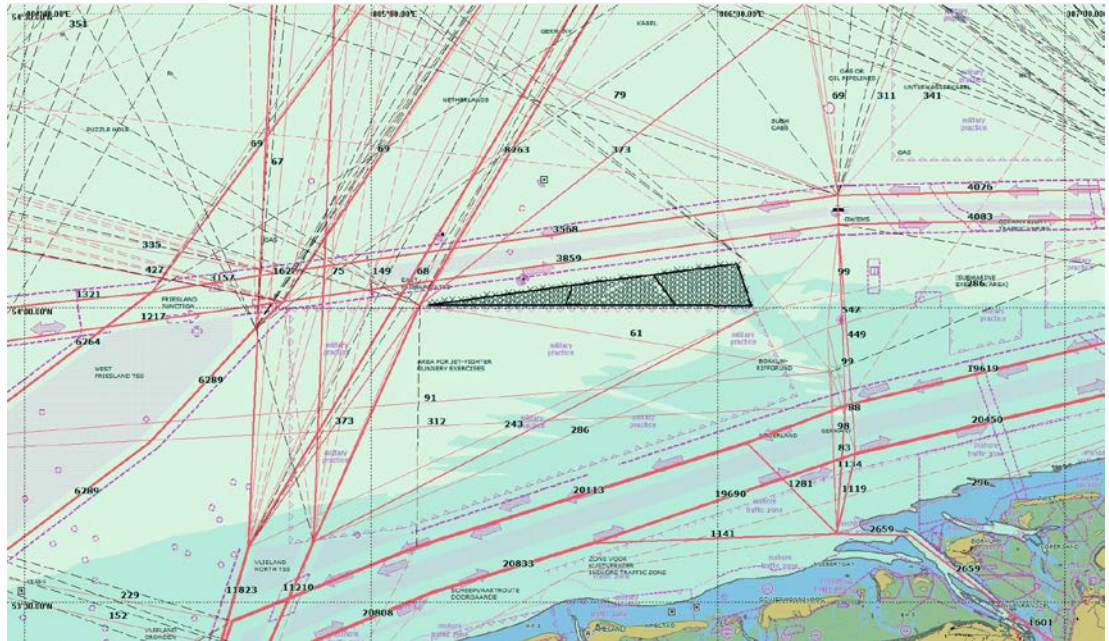
On the other hand, the expected extra growth of shipping by the development of Maasvlakte 2 is not taken into account. In forecasts for Rotterdam, a growth is expected from 35000 ships now to 55000 in 2035, which means 1,9% growth per year. This growth, however, will not apply to the entire range and possibly causes negative growth in other ports. Rotterdam will operate more as feeder port. The total volume of transported cargo that goes north will be less affected, but the intensity of the routes will shift from routes directly from The Channel to the Baltic, to routes via Rotterdam. This change will also affect the safety among shipping. Estimates of the impact of this change are particularly hard to make as no further information is known about the growth per shiptype and shipsize, and of the origins and destinations of ships. This is therefore outside the scope of this study.

Everything considered, the prediction for shipping of 2020 seems to be good enough to provide insight into where the additional risk to shipping by TNW wind area is going. Figure 1-1 shows the traffic database with the wind turbines of the minimum variant of TNW for 2020 and Figure 1-2 shows the traffic database and the wind turbines for the maximum variant.

The database for non-route-bound traffic is not changed because the number of fishing vessels, being the largest part of the non-route-bound vessels, has been decreasing over the last years.



**Figure 1-1** Traffic database for the minimum variant of TNW in 2020



**Figure 1-2** Traffic database for the maximum variant of TNW in 2020

## 1.5 Results of the QRA

### 1.5.1 Impact of TNW on the risk for ships outside the wind farm area

The impact of TNW on the risk of shipping is determined by assessing the risk for the traffic databases with the minimum and maximum variant for 2008 and 2020. The minimum variant has a negligible impact on the risk because there are some minor changes in shipping routes. The maximum variant causes a slight increase of the risk compared to the minimum variant because some routes are changed. This results in 1 extra collision in 36 years for the traffic of 2020.

### 1.5.2 Risk of a contact against a wind turbine of TNW

An offshore wind farm introduces an additional type of risk, being the risk that a ship collides against a wind turbine. The collision risk has been calculated for 241 wind turbines in the minimum variant and 312 wind turbines in the maximum variant. The results for the 10 wind turbines with the highest risk were compared. The summarized risk for the top 10 is 2,4 times higher for the maximum variant than for the minimum variant in 2008, mainly caused by the most western wind turbines where ships sailing from the traffic separation scheme Vlieland to Skagerrak are passing at short distance. Furthermore, the risk is scaled to the case that 1000 MW will be installed in the area. This is based on the average risk of a wind turbine in the variant. The risk for 1000 MW installed power for all variants is given in Table 1-1. For comparison purposes, the results for the variants are divided upon each other in Table 1-2.

The main conclusions from these tables are mentioned in the final Section 1.7, among all other conclusions.

**Table 1-1** *Probability of a ramming or drifting with a wind turbine for TNW, scaled to 1000 MW*

Variant for TNW	Ramming		Drifting		Total	Incident once in .. years
	R-ships	N-ships	R-ships	N-ships		
Minimum variant 2008	0,000791	0,005927	0,028408	0,004225	0,039351	25,4
Maximum variant 2008	0,002259	0,009129	0,031358	0,004919	0,047665	21,0
Minimum variant 2020	0,000871	0,005927	0,031996	0,004225	0,043019	23,2
Maximum variant 2020	0,002967	0,009129	0,035368	0,004919	0,052384	19,1

**Table 1-2** *Risk factor for transition from minimum to maximum variant and from traffic in 2008 to traffic in 2020*

	Ramming		Drifting		Total
	R-ships	N-ships	R-ships	N-ships	
Maximum variant 2008 / Minimum variant 2008	2,86	1,54	1,10	1,16	1,21
Maximum variant 2020 / Minimum variant 2020	3,41	1,54	1,11	1,16	1,22
Minimum variant 2020 / Minimum variant 2008	1,10	1,00	1,13	1,00	1,09
Maximum variant 2020 / Maximum variant 2008	1,31	1,00	1,13	1,00	1,10

### 1.5.3 Risk of an oil spill

In case of a ramming collision against the wind turbine there will be (serious) damage to the bow of the ship, but no (serious) damage to the side of the ship, where the cargo tanks are located. The construction of the ship in front of the collision bulkhead is very rigid, and as a result the damage remains limited to the front of the ship. Thus, it will not cause cargo (oil) or fuel oil to flow out of the ship.

Environmental damage can be expected in case of a drifting collision, where the hull of the ship can be penetrated by some thickenings of the pile of the wind turbine. In the calculations it is assumed that the hull of each ship above 1000 GT (approximately 96% of routebound ships) is penetrated after a drifting contact with a wind turbine. This is a "worst case" approach because it is expected that the probability will be less. With this approach the probability of an outflow of cargo oil or bunker oil could be estimated. The results scaled to 1000 MW installed in TNW are given in Table 1-3 and the transition factors in Table 1-4.

The main conclusions from these tables are mentioned in the final Section 1.7 with all conclusions.

**Table 1-3** *Probability of an outflow of oil due to a drifting against one of the wind turbines for 1000 MW installed*

Variant	Bunker oil			Cargo oil			Total
	Frequency	Once in... years	Average outflow per year in m <sup>3</sup>	Frequency	Once in... years	Average outflow per year in m <sup>3</sup>	Once in... years
Minimum variant 2008	0,001522	657	0,818	0,000411	2432	3,373	517
Maximum variant 2008	0,001675	597	0,858	0,000462	2163	3,819	468
Minimum variant 2020	0,001767	566	1,140	0,000442	2263	3,467	453
Maximum variant 2020	0,001951	512	1,224	0,000496	2014	3,919	409

**Table 1-4** *Factor for frequency of outflow from the minimum to the maximum variant and from traffic in 2008 to traffic in 2020*

Transition	Bunker oil		Cargo oil		Total frequency
	Frequency	Average outflow per year in m <sup>3</sup>	Frequency	Average outflow per year in m <sup>3</sup>	
Maximum variant 2008 / Minimum variant 2008	1,10	1,05	1,12	1,13	1,11
Maximum variant 2020 / Minimum variant 2020	1,10	1,07	1,12	1,13	1,11
Minimum variant 2020 / Minimum variant 2008	1,16	1,39	1,07	1,03	1,14
Maximum variant 2020 / Maximum variant 2008	1,17	1,43	1,07	1,03	1,15

## 1.6 Risk reducing measures

The calculations are performed without any risk reducing measures. The risk reducing measure that would be most effective, is the involvement of an emergency towing vessel (ETV). The probability of getting an engine failure is higher during severe weather conditions and also the drifting speed will be larger. For this reason, an ETV is often positioned at sea during wind conditions from 5 Beaufort, resulting in low response times.

An ETV in the vicinity of a concentration of wind farms can reduce the probability of a drifting contact considerably, by more than 50%. This percentage is based on experience from many other studies for wind farms on the North Sea that were carried out. The calculation of the effect of an ETV is outside the scope of this study.

## 1.7 Conclusions and assumptions

### Conclusions

The conclusions with respect to the impact of TNW on the risk for shipping are:

#### *For risk outside the area TNW*

- The change in risk for the minimum variant compared to the present level T0 is negligible. Only a very small decrease of 0,001 ships per year involved in ship-ship collisions is expected. This decrease is because the changes in the routes result in more structured traffic flows.
- For the maximum variant compared to the minimum variant an extra collision is expected once in the 36 years for the traffic of 2020.

#### *For the collision risk of a wind turbine*

- The sum of the collision risk for the top 10 wind turbines with the highest risk, is 2,4 times higher for the maximum variant than for the minimum variant in 2008 and 2,6 times higher in 2020. This is caused by the relatively high risk level of the most western wind turbines of the maximum variant.
- The collision risk for the top 10 most risky wind turbines increases with 5% when the traffic changes from 2008 to 2020 for the minimum variant and with 16% for

the maximum variant. The larger growth is due to the larger ships in 2020 with respect to the distance to the wind turbines.

- The probability of a contact with one of 200 wind turbines of 5 MW (in case of a total of 1000 MW) is 0,0430 per year for the minimum variant (2020 traffic). This is equivalent to once in 23,2 years (Table 1-1). Once in 453 years such a contact results in outflow of on average 2086 m<sup>3</sup> oil (calculated from Table 1-3). This is based on the average of 241 wind turbines positioned in the area of the minimum variant of TNW.
- The probability of a contact with one of the 200 wind turbines of 5 MW (in case of a total of 1000 MW) is 0,0524 per year for the maximum variant (2020 traffic). This is equivalent to once in the 19,1 years (see Table 1-1). Once in 409 years such a contact results in an outflow of oil of on average 2101 m<sup>3</sup> (calculated from Table 1-3). This is based on the average of 312 wind turbines positioned in the area of the maximum variant of TNW.
- Effect of the transition from the minimum variant to the maximum variant in 2020 (see Table 1-2):
  - The probability of a ramming against a wind turbine by a route-bound ship (R-ship) is 3,41 times as large;
  - The probability of a drifting against a wind turbine by a route-bound ship increases by 11%;
  - The probability of a ramming against a wind turbine by a non-route-bound ship (N-ship) increases by 54% (transition factor of 1,54 in Table 1-2);
  - The probability of a drifting against a wind turbine by a non-route-bound ship increases by 16%.

The increase in risk for route-bound traffic is due to the fact that the extension to the west has resulted in small passing distances for ships from TSS Vlieland to Skagerrak.

The increase for the non-route-bound traffic is the sum of two effects. The risk for an individual ship moving along the border of a wind farm will not change. In the maximum variant there will be more non-route-bound traffic along the border because the traffic that operated inside the wind farm area before, is moved to just outside the area. This is the first effect. Sometimes, however, a decrease in risk occurs because the distance of the inner wind turbines to the border increases. Because the last phenomenon does not occur (the second effect) in the maximum variant of TNW, the risk for non-route-bound shipping increases for the maximum variant.

- Effect of the traffic growth from 2008 to 2020 (see Table 1-2):
  - The probability of a ramming against a wind turbine increases by 10% for the minimum variant and by 31% for the maximum;
  - The probability of a drifting collision against a wind turbine by a route-bound ship increases in both variants by 13%;
  - The probabilities for non-route-bound ships do not change because the traffic database for these types of vessels is not changed.

**Assumptions**

Within the calculations it is assumed that the drifting ship is not stopped by a contact with a wind turbine, but continues drifting. Thus one drifter can count for more than one drifting contact with wind turbines.

An Emergency Towing Vessel (ETV) to recover drifting ships can deliver a reduction in the probability of drifting of more than 50% in case the ETV is located in the vicinity of the wind farm. The present calculations have been carried out without an ETV.

The “worst case” approach is followed by assuming that traffic from TSS Vlieland to Skagerrak and vice versa follows straight course lines. In reality the number of ships that first cross the Friesland Junction before coursing to Skagerrak is increasing, presumably the effect of the introduction of AIS and monitoring of the traffic.

## 2 INLEIDING

Het kabinet is voornemens tot aanwijzing over te gaan van de windgebieden Hollandse Kust (HK) en Ten Noorden van de Waddeneilanden (TNW). In de Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD) van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu [1] wordt inzicht gegeven in de wijze waarop het Rijk het onderzoek naar en de beoordeling van milieueffecten denkt uit te voeren. Een onderdeel van dit traject is het kwantificeren van de risico's voor de scheepvaart voor beide gebieden. Voor beide gebieden wordt een afzonderlijke risicoanalyse gemaakt. Het betreft immers gebieden met verschillende omvang en scheepvaartintensiteiten. In dit rapport wordt het effect van windgebied TNW op het risico voor de scheepvaart gekwantificeerd in een QRA (Quantitative Risk Assessment) voor twee varianten.

### **Betekenis van varianten**

In het kader van het PlanMER/Passende Beoordeling Proces voor de partiële herziening van het Nationaal Waterplan voor het aanwijzen van gebieden voor wind op zee zijn voor het zoekgebied TNW twee varianten ontwikkeld.

Uitgangspunt daarbij is geweest dat, vanwege alle onzekerheden over de toekomstige mogelijkheden voor het invullen van de beschikbare gebieden, in de PlanMER/PB de milieueffecten van de uitersten aan mogelijkheden in beeld moeten zijn gebracht. Dit om te voorkomen dat er in de toekomst binnen het zoekgebied opties voor gebieden aangegeven worden die niet op hun milieueffecten beoordeeld zijn.

Vanuit deze gedachtegang zijn de volgende varianten ontworpen: de minimumvariant en de maximumvariant. Voor een volledige beschrijving van de varianten wordt verwezen naar de "Notitie Reikwijdte en Detailniveau ten behoeve van het planMER/PB voor de tussentijdse herziening van de structuurvisie Noordzee in het Nationaal Waterplan."

Het hanteren van meerdere varianten voor het PlanMER/PB onderzoek, alsmede voor het risico-scheepvaartonderzoek, houdt op geen enkele wijze een voorkeur voor de ene of andere variant in. Hiervoor loopt juist een apart traject om te komen tot deze herziening van het Nationaal Waterplan met de volgende stappen: kennisgeving van de Notitie Reikwijdte en Detailniveau, de inspraak hierop, het opstellen van een ontwerp-structuurvisie en PlanMER/PB die vervolgens weer ter inspraak worden gelegd. Het is wel de bedoeling om in de ontwerp-structuurvisie te werken met één, nog nader te bepalen, ruimtelijk voorkeursalternatief voor de TNW.

Voor het windgebied TNW is het vertrekpunt de in het Nationaal Waterplan geformuleerde zoekopdracht om ruimte te vinden voor 1000 MW.

In beide varianten wordt echter – gegeven het beleidsmatige NWP-uitgangspunt van 6 MW per km<sup>2</sup> – een afwijkende hoeveelheid ruimte gevonden. In de berekeningen voor de risico's wordt wel uitgegaan van de volledige invulling van de beschikbare ruimte omdat in dit stadium niet aan te geven is welke gebieden in welke omvang benut zullen worden. Om in beeld te krijgen wat de benutting van de beschikbare ruimte met de opgedragen 1000 MW betekent, wordt op de uitkomst een correctiefactor toegepast waarmee het in de variant plaatsbare vermogen gecorrigeerd wordt naar 1000 MW.

Tot slot: conform de NWP-benadering wordt hier gewerkt met een 'bruto-benadering' bij het beoordelen van beschikbare ruimte: in de praktijk zal deze ruimte beperkt kunnen worden door bijvoorbeeld het zogeeffect van windparken op elkaar waardoor een grotere onderlinge ruimte tussen parken nodig kan zijn.

Het voorgaande heeft geleid tot de hieronder vermelde varianten:

**Minimumvariant**

Het TNW windgebied wordt aan de noordzijde begrensd door de diepwaterroute, aan de zuidzijde door een defensiegebied en aan de oostzijde door de grens met Duitsland. Aan de westzijde houdt het gebied op bij de 5 nm veiligheidszone voor helikopterbenadering van platform G17d-A. In de minimum variant wordt een afstand van 1,3 nm + 500 m aangehouden tussen de diepwaterroute en het windpark.

**Maximumvariant**

Bij de maximumvariant wordt uitgegaan van de volledige beschikbaarheid van de 5 nm veiligheidscirkel ten behoeve van de obstakelvrije benadering van platforms door helikopters. Voor TNW betekent dit dat het gebied aan de westkant doorloopt en eindigt in een punt. Bij TNW is bij deze variant de afstand tot aan de diepwaterroute niet verkleind.

**T0-situatie**

De T0-situatie is de situatie met de twee gebouwde windparken OWEZ en Prinses Amalia waarbij de scheepsbewegingen van 2008 worden gerouteerd door de nieuwe routestructuur die sinds 1 augustus 2013 van kracht is. Om inzicht te verkrijgen in de verandering van het risico naar de toekomst is ook een voorspelling gemaakt van het risico voor 2020.

**Leeswijzer**

Na de doelstelling in Hoofdstuk 3 wordt in Hoofdstuk 4 de algemene aanpak van de risicostudie beschreven. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 5 beschreven waar de turbines in het windgebied geplaatst zijn en wordt de verkeersafwikkeling beschreven. Vervolgens wordt het resultaat van de QRA gegeven in Hoofdstuk 6. In Hoofdstuk 7 volgt dan hoe het risico kan worden gereduceerd. Hoofdstuk 8 bevat de belangrijkste conclusies en de belangrijkste uitgangspunten voor de juiste interpretatie van de conclusies.

**Notatie**

Sommige getallen worden met een groot aantal cijfers weergegeven. Dit wil niet zeggen dat er zoveel significante cijfers zijn. Het grote aantal cijfers wordt vooral veroorzaakt doordat deze gekopieerd zijn uit de resultaten.



### **3 DOELSTELLING**

Het doel van de studie is inzicht te verkrijgen in de verandering van de veiligheidssituatie voor de scheepvaart bij aanwijzing van het windgebied Ten Noorden van de Waddeneilanden.

## 4 AANPAK

Het TNW windgebied wordt aan de noordzijde begrensd door de diepwaterroute, aan de zuidzijde door een defensiegebied en aan de oostzijde door de grens met Duitsland. TNW omvat de windpark gebieden Buitengaats, Clearcamp en ZeeEnergie waarvoor reeds in ronde 2 een vergunning is afgegeven. Voor de TNW risicoanalyse worden de volgende twee varianten geanalyseerd, namelijk:

1. De minimumvariant, waarbij een afstand van 1,3 nm + 500 m wordt aangehouden tussen de diepwaterroute en het windpark. Aan de westzijde houdt het gebied op bij de 5 nm veiligheidszone voor helikopterbenadering van platform G17d-A.
2. De maximumvariant, waarbij wordt uitgegaan van de volledige beschikbaarheid van de 5 nm veiligheidscirkel ten behoeve van de obstakelvrije benadering van platforms door helikopters. Voor TNW betekent dit dat het gebied aan de westkant doorloopt en eindigt in een punt. Bij TNW is bij deze variant de afstand tot aan de diepwaterroute niet verkleind.

Gelet op de voorwaarden is de minimumvariant altijd te realiseren en vereist een uitbreiding richting maximumvariant maatwerk. De gebieden voor de twee varianten zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat en worden in 5.1 bij de modellering getoond.

Om de toekomstige veiligheidssituatie te kunnen bepalen moet die situatie gemodelleerd worden. Dit betreft zowel de verkeersafwikkeling als de locaties van de windturbines. Vervolgens kan met SAMSON (Safety Assessment Model for Shipping and Offshore in the North Sea) worden bepaald wat de verwachte risico's zijn. Voor deze modellering zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- Het bepalen van de verkeersafwikkeling waarbij het gebied voor windturbines wordt vrijgehouden van scheepvaartverkeer;
- Invulling van het windgebied met windturbines waarbij rekening is gehouden met de belangrijkste restricties;
- Bepalen van de effecten met SAMSON, waaronder:
  - De verandering van het aantal ongevallen voor de scheepvaart buiten het windpark door de verandering van de routes en intensiteiten op de routes;
  - De kans op nieuwe ongevallen, namelijk aanvaringen en aandrijvingen van een schip met een windturbine.
  - De extra zeemijlen die door de scheepvaart moeten worden afgelegd;
  - De kosten voor de scheepvaart van de extra mijlen;
  - De verandering van de emissies door de extra zeemijlen.

Bij deze aanpak wordt het windgebied volgens een bepaald proces (beschreven in 5.1) zo vol mogelijk gezet met 5 MW windmolens, aangezien windmolens vereist zijn om de modelberekeningen te kunnen uitvoeren. Dit heeft tot resultaat dat het totaal geplaatste vermogen afwijkt van het totaal van 1000 MW, wat de opgave is voor windgebied TNW. De geplande hoeveelheid MW in TNW is gebaseerd op een bruto dichtheid van 6 MW/km<sup>2</sup>. In de planfase is echter nog geen rekening gehouden met verliezen door de vorm van het gebied en ook niet met kabels die door het gebied lopen. Vooral de kabels met de vereiste afstand van 500 m zorgen er voor dat de dichtheid van 6 MW/km<sup>2</sup> niet altijd gehaald kan worden. Aangezien het in deze fase over globale berekeningen gaat, is in de risicoberekening een correctiefactor toegepast waarmee de kans op het aanvaren of aandrijven van een windturbine wordt vermenigvuldigd. Deze correctiefactor volgt uit (het gewenste aantal windturbines) / (het geplaatste aantal

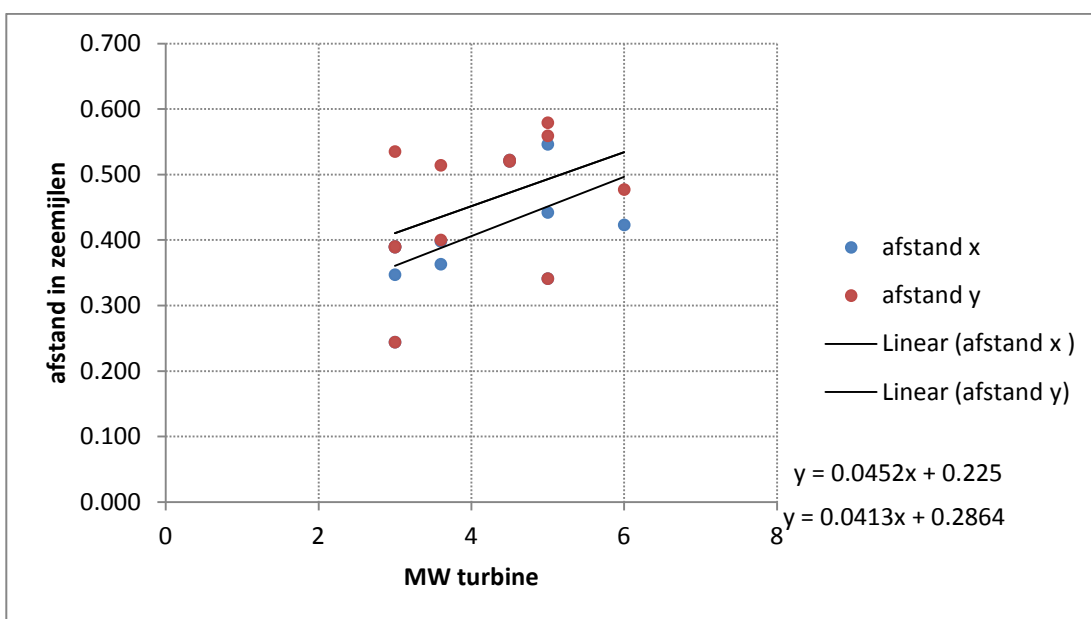
windturbines). Het gebruik van deze factor is een goede optie, omdat de windturbines voldoende representatief staan opgesteld. Het risico is in dat geval ongeveer evenredig met het aantal windturbines en minder met het geïnstalleerd vermogen.

## 5 MODELLERING

### 5.1 Invullen van gebieden met windturbines

De windturbines worden zo goed mogelijk geplaatst in een windgebied om het risico op aanvaren of aandrijven van een windturbine te kunnen bepalen. Het proces dat daarvoor ontwikkeld is, is voor het eerst gebuikt in de studie [2] van 2009, waarbij een aantal varianten voor zoekgebieden is onderzocht. Vanaf dat moment is deze methode verder in alle volgende veiligheidsstudies studies voor varianten van de windparkgebieden in samenspel met de verkeersafwikkeling toegepast. Het proces wordt hier kort beschreven.

Uit de uitgevoerde veiligheidsstudies voor individuele windparken door MARIN is voor een groot aantal inrichtingen van windparken de onderlinge afstand tussen de windturbines bepaald in twee hoofdrichtingen, die meestal niet loodrecht op elkaar staan maar onder een variërende hoek. De twee afstanden  $x$  en  $y$  worden groter met het vermogen van de windturbines. Figuur 5-1 bevat de gemeten afstanden  $x$  en  $y$  met het bijbehorende vermogen van de windturbine. Er zijn iets minder blauwe dan rode punten te zien omdat in een aantal gevallen de  $x$  en  $y$ -waarde gelijk zijn, waardoor de blauwe punt onder de rode punt valt.



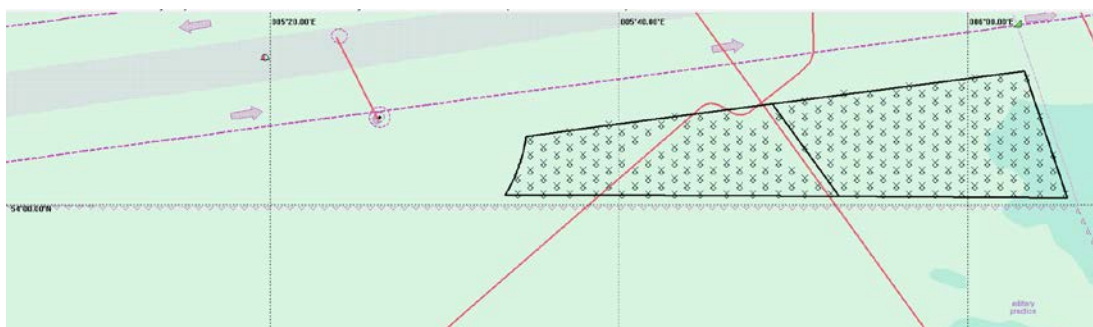
**Figuur 5-1** Afstand  $x$  en  $y$  tussen de windturbines in twee hoofdrichtingen

Over het algemeen verandert het totale geïnstalleerde vermogen in een gebied niet veel wanneer wordt gekozen voor een grotere windturbine omdat dan ook de onderlinge afstand toeneemt. Bij het plaatsten van de windturbines is uitgegaan van 5 MW windturbines in een dichtste bolopstelling waarbij zowel  $x$  als  $y$  gelijk is aan 0,52 zeemijl (960m, ofwel 8 x de rotordiameter).

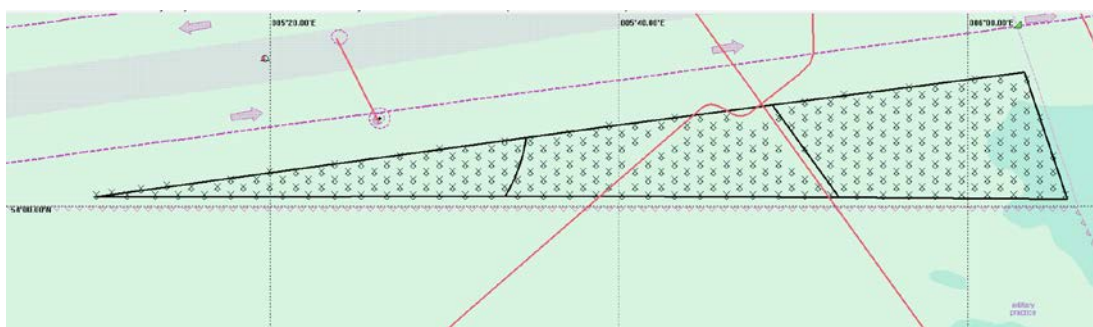
De verwachting was, dat volstaan kon worden met het schatten van het percentage dat zou afvallen wanneer wel rekening zou worden gehouden met de kabels en pijpleidingen. In overleg met de windsector is toch besloten om iets nauwkeuriger te werk te gaan omdat door sommige gebieden vrij veel kabels lopen en de invloed hiervan

op het aantal turbines moeilijk te schatten is. Daarom is overgegaan op een aanpak waarbij meer naar de lokale situatie is gekeken. Uitgaande van de standaardopstelling met een vaste afstand, zijn vervolgens de windturbines verwijderd die op een kleinere afstand dan 500 m van een kabel af stonden. De windturbines aan de rand van het gebied zijn niet verwijderd om er voor te zorgen dat er geen doorgang ontstaat welke groter is dan 1000 m, om te vermijden dat schepen door het windpark zouden mogen varen. De gewenste afstand van 100 m tot een pijpleiding is niet beschouwd, omdat deze afstand relatief klein is waardoor het mogelijk zal zijn door kleine veranderingen in de opstelling hieraan tegemoet te komen. Verder worden de windturbines weggehaald die binnen 500 m van de offshore platforms staan.

De gebieden voor de minimum- en maximumvariant zijn aangeleverd door Rijkswaterstaat. Het TNW gebied wordt aan de noordzijde begrensd door de diepwaterroute, aan de zuidzijde door een defensiegebied en aan de oostzijde door de grens met Duitsland. Aan de westzijde loopt het uit in een punt welke doorsneden wordt door de veiligheidszone voor de helikopterbenadering van platform G17d-A. De minimumvariant loopt tot aan de grens van deze veiligheidszone. Bij de maximumvariant wordt de hele westelijke punt volgebouwd met windturbines. Opvullen volgens de beschreven methode heeft geleid tot de windturbines voor de minimumvariant zoals getoond in Figuur 5-2 en voor de maximumvariant zoals getoond in Figuur 5-3

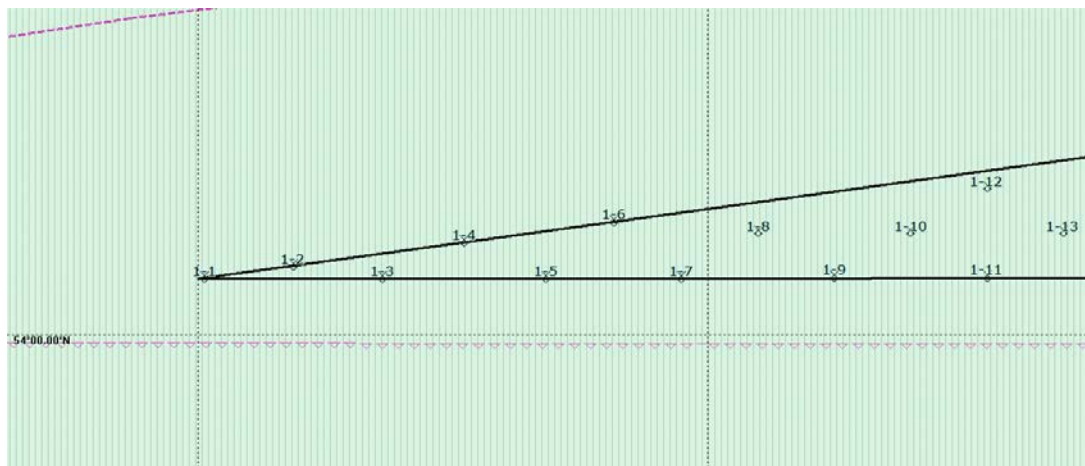


**Figuur 5-2** De minimumvariant van TNW met windturbines en de kabels waardoor windturbines zijn verwijderd



**Figuur 5-3** De maximumvariant van TNW met windturbines en de kabels waardoor windturbines zijn verwijderd

Alleen in het uiterst westelijke deel van de maximumvariant is afgeweken van de dichtste bol configuratie. De windturbines 1-1 t/m 1-7 (zie Figuur 5-4) zijn op de randen van het TNW gebied gezet, waarbij er steeds voor gezorgd is dat de afstand tussen de windturbines 960m is.



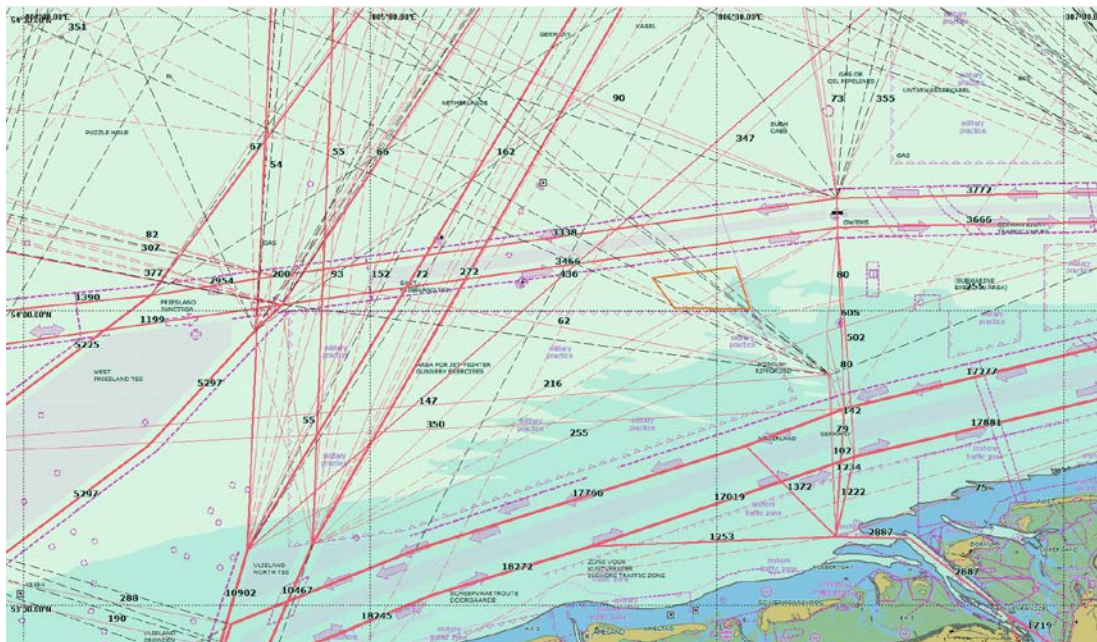
**Figuur 5-4** De meest westelijke windturbines van de maximumvariant van TNW

In de minimumvariant konden 241 windturbines van 5 MW geplaatst worden en in de maximumvariant 312 windturbines van 5 MW. In beide gevallen kon meer worden geplaatst dan de gevraagde 1000 MW. Om de bijbehorende risico's te kunnen vergelijken wordt een correctiefactor toegepast waarbij het risico wordt gegeven voor een totaal van 1000 MW in TNW. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat het risico recht evenredig is met het aantal windturbines. In de praktijk is dit niet zo omdat de middelste windturbines van grote windparken minder risico opleveren dan de middelste windturbines van kleine parken. Aan de andere kant zal het risico van de buitenste turbines weer veel groter zijn omdat ze dicht bij de verkeersstromen staan. Dit facet zal verder worden belicht bij de bespreking van de resultaten in Hoofdstuk 6.

## 5.2 Verkeersafwikkeling van de scheepvaart

Om het effect van het windgebied op de veiligheid van de scheepvaart te kunnen bepalen moet de verkeersafwikkeling zowel zonder als met windgebied TNW gemodelleerd worden.

In 2010 en 2011 is er door een aantal partijen bezwaar gemaakt tegen verleende vergunningen voor de bouw van windparken op bepaalde locaties. Op deze locaties is tot op heden niet gebouwd. In het kader van het verlengen van de vergunningen voor windparken is een proces gestart om meer draagvlak te verkrijgen. Overleg met havenbedrijven en windsector heeft geleid tot een nieuwe routestructuur op de Noordzee. Onderdeel van die nieuwe routing is tevens de instelling van een VSS IJmuiden en een ankergebied op de rede IJmuiden en een verbetering van de veiligheidssituatie nabij IJmuiden en het Horizon platform. In 2012 is bij de IMO een aanvraag ingediend tot instemming met de invoering van deze routestructuur ingediend. Deze aanvraag was voorzien van een document met een beoordeling van de risico's van de voorgestelde routestructuur [4] met een aantal bijlagen, waaronder [5] waarin de verkeersafwikkeling is weergegeven en het bijbehorende risico is gekwantificeerd. De uiteindelijke routestructuur waarvoor instemming is aangevraagd wijkt af van die in [5]. Het stelsel Maas Noord is ten opzichte van [5] gewijzigd om er voor te zorgen dat de twee bestaande dumpinggebieden voor explosief materiaal geheel in de scheidingszone komen te liggen. De nieuwe routestructuur is op 1 augustus 2013 van kracht geworden. Deze leidt tot een verkeersafwikkeling zoals weergegeven in Figuur 5-5. Deze verkeersafwikkeling is de verkeersafwikkeling voor de T0-situatie zonder windparken.

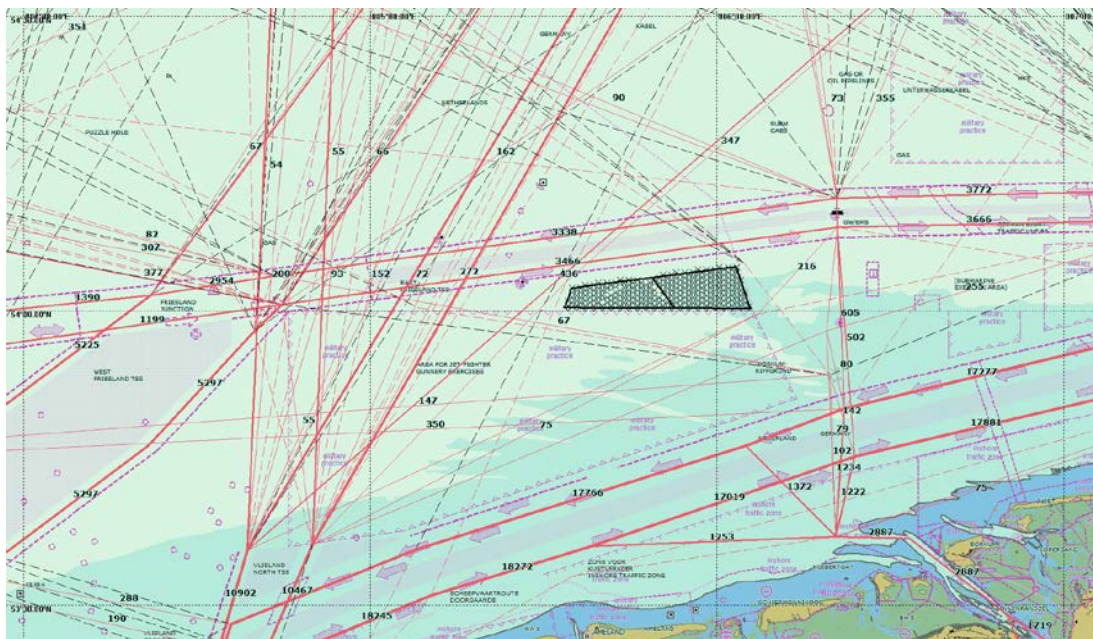


**Figuur 5-5** *T0-situatie: Verkeersafwikkeling vanaf augustus 2013 op basis van scheepsbewegingen in 2008. Het oranje gebied omvat de drie vergunde windparken*

De getallen bij de scheepvaartroutes (de links, oftewel de rode lijnen) in de figuren geven het aantal passages per jaar in één richting aan.

Voor het bepalen van het risico voor de scheepvaart is voor beide varianten van TNW de verkeersafwikkeling bepaald. De verkeersafwikkeling bij de minimumvariant van TNW is weergegeven in Figuur 5-6 en die bij de maximumvariant in Figuur 5-7. Het effect van het windgebied TNW op de scheepvaart wordt nu gekwantificeerd door het risico voor de scheepvaart voor de twee verkeersdatabases te bepalen. Verder wordt voor de tweede verkeersdatabase de kans bepaald op een aanvaring of aandrijving van een windturbine van het windgebied TNW.

Bij de verkeersafwikkeling is ervan uitgegaan dat het verkeer vanuit het Vlieland verkeersscheidingsstelsel direct koerst naar Skagerrak en vice versa, aangezien dit voor deze studie het "worst case" scenario is. De laatste jaren is te zien dat steeds meer schepen eerst vanuit het Vlieland stelsel meer noordwaarts door de daartoe bestemde opening in de diepwaterroute ("Friesland Junction") varen en daarna pas koers zetten naar Skagerrak. Hetzelfde geldt voor de omgekeerde route van Skagerrak naar het Vlieland stelsel. Waarschijnlijk is dit gedrag het effect van de invoering van AIS en monitoring van het scheepvaartverkeer.



**Figuur 5-6** Verkeersafwikkeling (niveau 2008) bij het windgebied TNW voordat er windturbines geplaatst zullen worden



**Figuur 5-7** Verkeersafwikkeling (niveau 2008) bij het windgebied TNW wanneer dit volgebouwd is met windturbines

### 5.3 Verkeersafwikkeling van de scheepvaart voor 2020

Om de ontwikkeling van het risico naar de toekomst te voorspellen is een verkeersdatabase voor 2020 bepaald. Deze verkeersdatabase is geëxtrapoleerd uit de ontwikkeling die heeft plaatsgevonden van 2000 tot 2008 in de range Antwerpen-Hamburg. Deze ontwikkeling gaf een 0,5% groei te zien in het aantal schepen en een 3,9% groei in de grootte van het schip. Deze groei is toegepast vanaf 2008 tot aan 2020 om de verkeersdatabase voor 2020 te bepalen. Hierbij is onderscheid gemaakt in de groeicijfers van de verschillende scheepstypen. Vermoedelijk zullen de

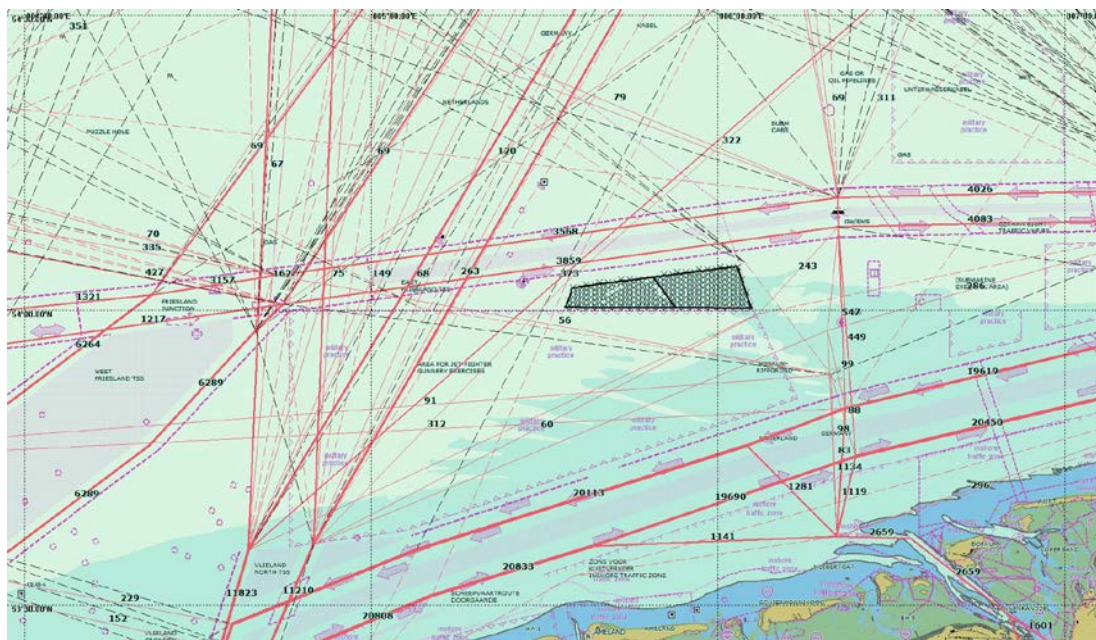


verkeersintensiteiten zoals deze zijn weergegeven in Figuur 5-8 en in Figuur 5-9, pas later dan in 2020 gehaald worden doordat er geen rekening is gehouden met de crisis van de afgelopen jaren.

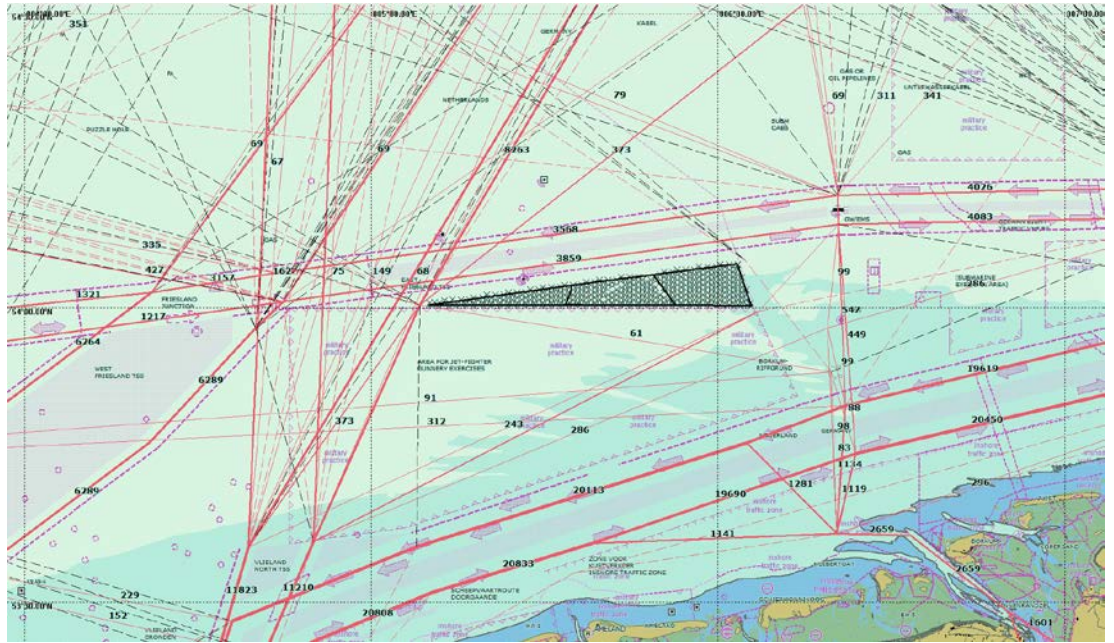
Aan de andere kant is er geen rekening gehouden met een extra groei van Rotterdam door de ontwikkeling van Maasvlakte 2. In prognoses voor Rotterdam wordt een groei verwacht van 35000 schepen nu naar 55000 in 2035, wat een groei zou betekenen van 1,9% per jaar. Deze groei zal echter niet voor de hele range gelden en mogelijk een negatieve groei in andere havens tot gevolg hebben. Rotterdam zal voor veel deep-sea rederijen de logische eerste Europese aanloophaven worden. Vanuit Rotterdam wordt dan een deel van de lading verder vervoerd naar kleinere havens. De totale vervoerde hoeveelheid lading die naar het noorden gaat zal minder worden beïnvloed, maar wel zal de intensiteit op de vaarroutes verschuiven van vaarroutes direct vanuit Het Kanaal naar de Baltic, naar vaarroutes vanuit Rotterdam naar de Baltic, omdat de lading via Rotterdam gaat. Deze verandering heeft ook effect op de veiligheid van de scheepvaart onderling. Een schatting van de impact op de veiligheid is erg moeilijk te maken, aangezien verdere informatie over de veranderingen per scheepstype en scheepsgrootte ontbreken, alsmede herkomst en bestemming van de schepen. Dit valt daarom buiten de scope van deze studie.

Alles overwegende lijkt de voorspelling voor het scheepvaartverkeer van 2020 goed genoeg om inzicht te geven in waar het extra risico voor de scheepvaart door het windgebied TNW naar toe gaat.

De verkeersdatabase voor het niet-routegebonden verkeer is niet aangepast voor 2020, omdat het aantal niet-routegebonden schepen de laatste jaren is afgenomen door de grote afname van vissersschepen.



**Figuur 5-8** Verkeersafwikkeling (niveau 2020) bij de minimumvariant van windgebied TNW

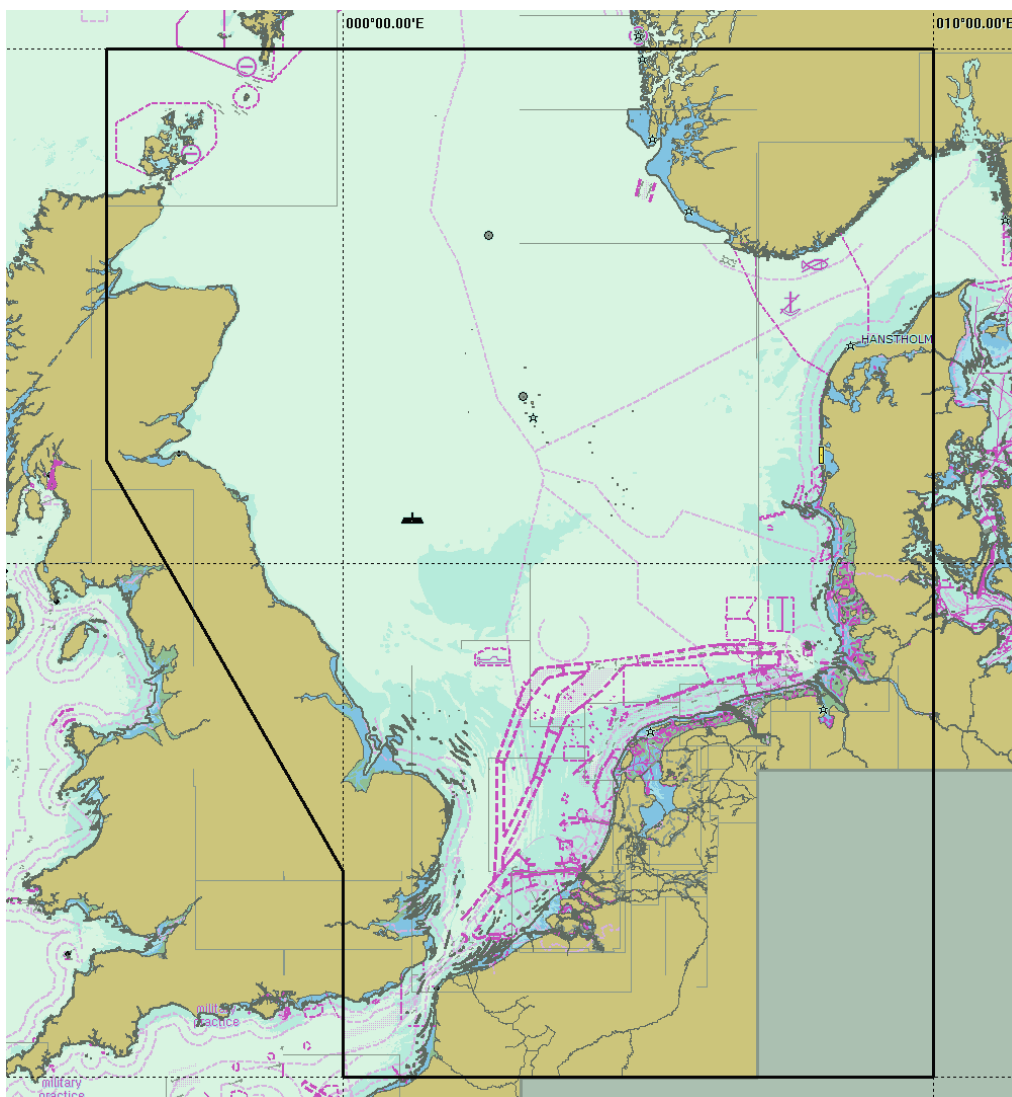


**Figuur 5-9** Verkeersafwikkeling (niveau 2020) bij de maximumvariant van windgebied TNW

## 6 RESULTATEN

### 6.1 Het resultaat van de QRA

Met het SAMSON-model kan op basis van de verkeersafwikkeling, vastgelegd in een verkeersdatabase, de impact van de aanwezigheid van een windpark worden gekwantificeerd via een groot aantal grootheden. De berekeningen zijn uitgevoerd voor het zeegebied weergegeven in Figuur 6-1.



**Figuur 6-1** Gebied waarvoor het risico van de scheepvaart op zee is bepaald

Dit gebied is zo groot genomen omdat de gevolgen zich vaak nog voordoen ver buiten het gebied waar de windparken worden gebouwd. De berekening van het risico voor de scheepvaart is uitgevoerd voor de verkeersafwikkeling in 2008 en 2020 voor beide varianten van windgebied TNW. Bij TNW heeft ook de minimumvariant invloed op de verkeersafwikkeling, omdat in de T0-situatie (met verkeersafwikkeling volgens de nieuwe routestructuur die sinds 1 augustus 2013 van kracht is) de routegebonden scheepvaart ook door het gebied van de minimumvariant vaart. Dit in tegenstelling tot de minimumvariant voor het windgebied Hollandse Kust waarbij het verkeer in de T0-situatie al buiten het gebied van de minimumvariant vaart. De minimumvariant heeft dus bij TNW ook effect op het risico voor de scheepvaart buiten het windpark. Dit effect is

weergegeven in Tabel 6-1 door de effecten van de verkeersafwikkeling voor de minimumvariant te vergelijken met de huidige verkeersafwikkeling (T0). Hierbij wordt in de laatste kolom het verschil gegeven.

In Tabel 6-2 worden de effecten buiten het windpark voor de minimum- en de maximumvariant met elkaar vergeleken voor 2008. In Tabel 6-3 wordt datzelfde gedaan, maar dan voor het geschatte verkeer van 2020.

De berekende grootheden zijn:

- Gemiddeld aantal varende schepen aanwezig op zee in studiegebied op enig moment, onderverdeeld naar scheepstype;
- Veiligheid, met het verwachte aantal aanvaringen per jaar en dat van andere typen ongevallen;
- Economie, uitgedrukt in kosten van omvaren per jaar;
- Emissies bepaald uit de gevaren mijlen en de emissie per mijl per scheepstype en grootte;
- Kans op een uitstroom van olie na een aanvaring voor verschillende groottes van de uitstroom;
- Kans op een uitstroom van chemicaliën en verontreiniging na een aanvaring, en een gradatie over de ernst van deze uitstroom;
- De kosten van aanvaringen en zinken per jaar.

In de laatste kolom van Tabel 6-2 wordt het effect van de overgang van de minimumvariant naar de maximumvariant van windgebied TNW gegeven door de twee voorgaande kolommen van elkaar af te trekken.

Alle kosten in de tabellen zijn berekend voor het prijspeil van 2008.

Bij het kwantificeren van het risico worden de consequenties in kosten uitgedrukt. Hiervoor was het ook nodig om de kosten van een mensenleven in geld uit te drukken. Hiervoor is de "willingness to pay" gebruikt, namelijk het bedrag dat de gemeenschap bereid is te betalen voor een mensenleven. Er wordt uitgegaan van een willingness to pay van 2 M€. Dit bedrag is ook in eerdere studies voor de EU aangehouden.

Op basis van de tabellen kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt:

**Gemiddeld aanwezige schepen:**

Het gemiddeld aantal aanwezige schepen geeft aan hoeveel varende schepen er gemiddeld op een foto zouden staan in het zeegebied waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd. Gemiddeld zouden er bij de minimumvariant voor TNW ongeveer 597 varende routegebonden schepen te zien zijn en ongeveer 282 niet-routegebonden schepen.

Het gemiddeld aantal aanwezige schepen neemt toe met gemiddeld 0,003 schip bij de minimum variant en nog eens met 0,021 schip bij de maximumvariant, doordat bepaalde schepen moeten omvaren.

**Tabel 6-1 QRA voor minimumvariant voor TNW vergeleken met huidige verkeersafwikkeling zonder windpark voor verkeer van 2008**

	Eenheid	2008 T0 - situatie	2008 Minimum- variant TNW	2008 Minimumvariant – T0 situatie
<b>Gemiddeld aantal varende schepen op zee in studiegebied op enig moment</b>				
OBO's	schepen	0,985	0,985	0,000
Chemicaliën tankers	schepen	81,656	81,657	0,001
Olietankers	schepen	41,750	41,750	0,000
Gas tankers	schepen	23,533	23,533	0,000
Bulkers	schepen	44,652	44,654	0,002
Unitised	schepen	128,719	128,719	0,000
General Dry Cargo	schepen	232,785	232,785	0,000
Passagiersch, + conv, Ferries	schepen	14,161	14,161	0,000
High Speed Ferries	schepen	0,184	0,184	0,000
Overig	schepen	28,749	28,749	0,000
Totaal Routegebonden	schepen	597,174	597,177	0,003
Totaal Niet-routegebonden	schepen	281,650	281,650	0,000
<b>Veiligheid</b>				
Schepen betrokken bij aanvaringen	schepen R+N / jaar	24,171	24,170	-0,001
Stranding na navigatiefout	schepen R+N / jaar	9,154	9,154	0,000
Stranding na technische storing	schepen R+N / jaar	1,510	1,510	0,000
Rammen platform na navigatiefout	schepen R+N / jaar	0,406	0,406	0,000
Driften tegen platform door storing	schepen R+N / jaar	0,084	0,084	0,000
Rammen ankerligger na navigatiefout	schepen R+N / jaar	1,541	1,541	0,000
Driften tegen ankerligger na storing	schepen R+N / jaar	0,017	0,017	0,000
Zinken	schepen R+N / jaar	3,253	3,253	0,000
Hull Failure	schepen R+N / jaar	3,981	3,981	0,000
Brand/explosive	schepen R+N / jaar	7,181	7,181	0,000
Totaal	schepen R+N / jaar	51,296	51,295	-0,001
<b>Economie</b>				
Scheepskosten, vaste kosten + brandstof	M€/jaar	4879	4879	0,101
Scheepsmijlen	Mnm/jaar	66,943	66,944	0,001
<b>Emissies routegebonden schepen</b>				
KW verbruikt	GWh	29620	29620	0,172
CO <sub>2</sub>	kton / jaar	14745	14745	0,329
CO	kton / jaar	56,736	56,738	0,001
SO <sub>2</sub>	kton / jaar	150,529	150,533	0,003
NO <sub>x</sub>	kton / jaar	378,365	378,375	0,009
<b>Olie routegebonden schepen</b>				
Schepen in ongevallen	kans/jaar	33,6242	33,6232	-0,001
Chem+olie tankers in ongevallen	kans/jaar	8,2111	8,2101	-0,001
Olie tanker in ongevallen	kans/jaar	2,9501	2,9501	0,000
Olie-uitstroom totaal	kans/jaar	0,3918	0,3918	0,000
Olie-uitstroom meer dan 10000 m <sup>3</sup>	kans/jaar	0,0728	0,0728	0,000
Olie-uitstroom meer dan 30000 m <sup>3</sup>	kans/jaar	0,0381	0,0381	0,000
Olie-uitstroom meer dan 100000 m <sup>3</sup>	kans/jaar	0,0152	0,0152	0,000
Olie-uitstroom totaal	m <sup>3</sup> / jaar	5329,253	5329,3	0,001
<b>Chemical spills na aanvaringen</b>				
Zeer hoog ecologisch risico	kans/jaar	0,0212	0,0212	0,000
Hoog ecologisch risico	kans/jaar	0,0043	0,0043	0,000
Gemiddeld ecologische risico	kans/jaar	0,0124	0,0124	0,000
Gering ecologisch risico	kans/jaar	0,0324	0,0324	0,000
Verwaarloosbaar ecologische risico	kans/jaar	0,0468	0,0468	0,000
<b>Kosten aanvaringen &amp; zinken routegebonden schepen</b>				
Reparatie	M€/ jaar	3,135	3,135	0,000
Bergingskosten	M€/ jaar	1,568	1,568	0,000
Schoonmaakkosten + schade aan milieu	M€/ jaar	15,775	15,775	0,000
Kosten van vertraging	M€/ jaar	0,593	0,593	0,000
Verlies aan inkomsten	M€/ jaar	3,866	3,866	0,000
"Willingness to pay" voor doden	M€/ jaar	8,847	8,847	0,000
Schip+lading bij zinken	M€/ jaar	25,672	25,672	0,000
Totaal		59,455	59,455	0,000

**Tabel 6-2 QRA voor minimum- en maximumvariant voor TNW voor verkeer van 2008**

	Eenheid	2008 Minimum- variant TNW	2008 Maximum- variant TNW	2008 Maximumvariant - minimumvariant
<b>Gemiddeld aantal varende schepen op zee in studiegebied op enig moment</b>				
OBO's	schepen	0,985	0,985	0,000
Chemicaliën tankers	schepen	81,657	81,658	0,001
Olietankers	schepen	41,750	41,750	0,000
Gas tankers	schepen	23,533	23,533	0,000
Bulkers	schepen	44,654	44,654	0,000
Unitised	schepen	128,719	128,723	0,004
General Dry Cargo	schepen	232,785	232,797	0,012
Passagiersch, + conv, Ferries	schepen	14,161	14,162	0,001
High Speed Ferries	schepen	0,184	0,184	0,000
Overig	schepen	28,749	28,752	0,003
Totaal Routegebonden	schepen	597,177	597,198	0,021
Totaal Niet-routegebonden	schepen	281,650	281,650	0,000
<b>Veiligheid</b>				
Schepen betrokken bij aanvaringen	schepen R+N / jaar	24,170	24,219	0,049
Stranding na navigatiefout	schepen R+N / jaar	9,154	9,154	0,000
Stranding na technische storing	schepen R+N / jaar	1,510	1,510	0,000
Rammen platform na navigatiefout	schepen R+N / jaar	0,406	0,406	0,000
Driften tegen platform door storing	schepen R+N / jaar	0,084	0,084	0,000
Rammen ankerligger na navigatiefout	schepen R+N / jaar	1,541	1,541	0,000
Driften tegen ankerligger na storing	schepen R+N / jaar	0,017	0,017	0,000
Zinken	schepen R+N / jaar	3,253	3,253	0,000
Hull Failure	schepen R+N / jaar	3,981	3,981	0,000
Brand/explosive	schepen R+N / jaar	7,181	7,181	0,000
Totaal	schepen R+N / jaar	51,295	51,345	0,049
<b>Economie</b>				
Scheepskosten, vaste kosten + brandstof	M€/jaar	4879	4879	0,078
Scheepsmijlen	Mnm/jaar	66,944	66,946	0,002
<b>Emissies routegebonden schepen</b>				
KW verbruikt	GWh	29620	29621	0,583
CO <sub>2</sub>	kton / jaar	14745	14745	0,204
CO	kton / jaar	56,738	56,738	0,001
SO <sub>2</sub>	kton / jaar	150,533	150,535	0,002
NO <sub>x</sub>	kton / jaar	378,375	378,379	0,004
<b>Olie routegebonden schepen</b>				
Schepen in ongevallen	kans/jaar	33,6232	33,6772	0,054
Chem+olie tankers in ongevallen	kans/jaar	8,2101	8,2141	0,004
Olie tanker in ongevallen	kans/jaar	2,9501	2,9511	0,001
Olie-uitstroom totaal	kans/jaar	0,3918	0,3921	0,000
Olie-uitstroom meer dan 10000 m <sup>3</sup>	kans/jaar	0,0728	0,0728	0,000
Olie-uitstroom meer dan 30000 m <sup>3</sup>	kans/jaar	0,0381	0,0381	0,000
Olie-uitstroom meer dan 100000 m <sup>3</sup>	kans/jaar	0,0152	0,0152	0,000
Olie-uitstroom totaal	m <sup>3</sup> / jaar	5329,3	5329,2	-0,04
<b>Chemical spills na aanvaringen</b>				
Zeer hoog ecologisch risico	kans/jaar	0,0212	0,0212	0,000
Hoog ecologisch risico	kans/jaar	0,0043	0,0043	0,000
Gemiddeld ecologische risico	kans/jaar	0,0124	0,0124	0,000
Gering ecologisch risico	kans/jaar	0,0324	0,0325	0,000
Verwaarloosbaar ecologische risico	kans/jaar	0,0468	0,0469	0,000
<b>Kosten aanvaringen &amp; zinken routegebonden schepen</b>				
Reparatie	M€/ jaar	3,135	3,150	0,014
Bergingskosten	M€/ jaar	1,568	1,575	0,007
Schoonmaakkosten + schade aan milieu	M€/ jaar	15,775	15,775	0,000
Kosten van vertraging	M€/ jaar	0,593	0,595	0,002
Verlies aan inkomsten	M€/ jaar	3,866	3,882	0,016
"Willingness to pay" voor doden	M€/ jaar	8,847	8,869	0,022
Schip+lading bij zinken	M€/ jaar	25,672	25,672	0,000
Totaal		59,455	59,518	0,063

**Tabel 6-3 QRA voor minimum- en maximumvariant voor TNW voor verkeer van 2020**

	Eenheid	2020 Minimum- variant TNW	2020 Maximum- variant TNW	2020 Maximumvariant - minimumvariant
<b>Gemiddeld aantal varende schepen op zee in studiegebied op enig moment</b>				
OBO's	schepen	0,695	0,695	0,000
Chemicaliën tankers	schepen	93,213	93,213	0,000
Olietankers	schepen	43,267	43,267	0,000
Gas tankers	schepen	23,529	23,529	0,000
Bulkers	schepen	46,891	46,892	0,001
Unitised	schepen	153,020	153,025	0,005
General Dry Cargo	schepen	217,309	217,320	0,011
Passagiersch. + conv. ferries	schepen	16,321	16,321	0,000
High Speed Ferries	schepen	0,109	0,109	0,000
Overig	schepen	25,574	25,576	0,002
Totaal Routegebonden	schepen	619,928	619,947	0,019
Totaal Niet-routegebonden	schepen	281,650	281,650	0,000
<b>Veiligheid</b>				
Schepen betrokken bij aanvaringen	schepen R+N / jaar	26,178	26,233	0,055
Stranding na navigatiefout	schepen R+N / jaar	10,385	10,385	0,000
Stranding na technische storing	schepen R+N / jaar	1,557	1,557	0,000
Rammen platform na navigatiefout	schepen R+N / jaar	0,451	0,451	0,000
Driften tegen platform door storing	schepen R+N / jaar	0,086	0,086	0,000
Rammen ankerligger na navigatiefout	schepen R+N / jaar	1,888	1,888	0,000
Driften tegen ankerligger na storing	schepen R+N / jaar	0,018	0,018	0,000
Zinken	schepen R+N / jaar	3,113	3,113	0,000
Hull Failure	schepen R+N / jaar	4,122	4,122	0,000
Brand/explosive	schepen R+N / jaar	7,433	7,433	0,000
Totaal	schepen R+N / jaar	55,231	55,287	0,055
<b>Economie</b>				
Scheepskosten, vaste kosten + brandstof	M€/jaar	5987	5987	0,178
Scheepsmijlen	Mnm/jaar	71,487	71,490	0,003
<b>Emissies routegebonden schepen</b>				
KW verbruikt	GWh	35969	35970	0,761
CO <sub>2</sub>	kton / jaar	17893	17893	0,537
CO	kton / jaar	67,833	67,835	0,002
SO <sub>2</sub>	kton / jaar	182,992	182,997	0,005
NO <sub>x</sub>	kton / jaar	456,217	456,231	0,013
<b>Olie routegebonden schepen</b>				
Schepen in ongevallen	kans/jaar	36,8498	36,9108	0,061
Chem+olie tankers in ongevallen	kans/jaar	9,1367	9,1417	0,005
Olie tanker in ongevallen	kans/jaar	3,0467	3,0477	0,001
Olie-uitstroom totaal	kans/jaar	0,4131	0,4134	0,000
Olie-uitstroom meer dan 10000 m <sup>3</sup>	kans/jaar	0,0774	0,0774	0,000
Olie-uitstroom meer dan 30000 m <sup>3</sup>	kans/jaar	0,0396	0,0396	0,000
Olie-uitstroom meer dan 100000 m <sup>3</sup>	kans/jaar	0,0094	0,0094	0,000
Olie-uitstroom totaal	m <sup>3</sup> / jaar	5162,4	5162,3	-0,04
<b>Chemical spills na aanvaringen</b>				
Zeer hoog ecologisch risico	kans/jaar	0,0229	0,0230	0,000
Hoog ecologisch risico	kans/jaar	0,0047	0,0047	0,000
Gemiddeld ecologische risico	kans/jaar	0,0141	0,0142	0,000
Gering ecologisch risico	kans/jaar	0,0345	0,0346	0,000
Verwaarloosbaar ecologische risico	kans/jaar	0,0500	0,0501	0,000
<b>Kosten aanvaringen &amp; zinken routegebonden schepen</b>				
Reparatie	M€ / jaar	3,583	3,602	0,018
Bergingskosten	M€ / jaar	1,792	1,801	0,009
Schoonmaakkosten + schade aan milieu	M€ / jaar	14,963	14,963	0,000
Kosten van vertraging	M€ / jaar	0,785	0,787	0,002
Verlies aan inkomsten	M€ / jaar	5,184	5,212	0,028
"Willingness to pay" voor doden	M€ / jaar	11,319	11,371	0,052
Schip+lading bij zinken	M€ / jaar	26,205	26,205	0,000
Totaal		63,831	63,941	0,110

### Veiligheid

Tabel 6-1 toont dat het effect van de verandering van de vaarroutes bij de minimumvariant verwaarloosbaar is. Er wordt zelfs een afname verwacht van 0,001 schip betrokken bij een aanvaring per jaar, wat het effect is van een betere structurering van de verkeersafwikkeling.

De verandering in risico voor de scheepvaart bij de maximumvariant ten opzichte van de minimumvariant wordt veroorzaakt door een aantal wijzigingen in vaarroutes, maar ook doordat het verkeer vanuit het Vlielandstelsel naar Skagerrak zich meer zal concentreren waardoor de kans op een aanvaring toeneemt. Ook zal de afstand tot het verkeer dat in de tegenovergestelde richting van Skagerrak naar het Vlielandstelsel vaart afnemen. Uit Tabel 6-2 en Tabel 6-3 blijkt dat de risicoverhoging praktisch alleen optreedt bij aanvaringen. In 2008 zijn bij de maximumvariant 0,049 meer schepen betrokken bij een aanvaring dan bij de minimumvariant. Voor 2020 is de toename 0,055 schip. Omdat er twee schepen betrokken zijn bij een aanvaring, betekent dit voor 2008 dat bij de maximumvariant gemiddeld één extra aanvaring per 41 jaar wordt verwacht. Dit volgt uit  $1/((0,049 \text{ jaarlijks extra aantal schepen betrokken bij een aanvaring})/(2 \text{ schepen betrokken bij een aanvaring})) = 41$ .

Voor het verkeer van 2020 wordt bij de maximumvariant gemiddeld één aanvaring per 36 jaar  $(=1/(0,055/2))$  meer verwacht dan bij de minimumvariant.

Voor de andere type ongevallen buiten het windpark zijn de verschillen tussen de minimumvariant en maximumvariant verwaarloosbaar.

### Economie

De kosten van het omvaren zijn gering met 0,101 miljoen Euro voor de minimumvariant in 2008, en voor de maximumvariant 0,179 miljoen Euro (0,078 miljoen extra ten opzichte van de minimumvariant). Overgang op de maximumvariant kost in 2020 ten opzichte van de minimumvariant 0,178 miljoen Euro extra.

### Overige rubrieken

Voor alle overige rubrieken geldt dat er voor de maximumvariant een kleine toename is ten opzichte van de minimumvariant welke wordt veroorzaakt door de schepen die moeten omvaren.

## 6.2 Extra risico voor de scheepvaart door contact met een windturbine

Door de aanwezigheid van de windturbines in het windgebied ontstaat er ook een kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine van het windpark.

- Een aanvaring (ramming) met een windturbine 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 aandrijving (drifting) 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. De snelheid is over het algemeen laag.



De kans op het optreden van deze ongevallen wordt ook met SAMSON bepaald. De resultaten worden voor iedere windturbine afzonderlijk bepaald. Bij het bepalen van de kansen wordt ook onderscheid gemaakt tussen routegebonden schepen (R-schepen) en niet-routegebonden schepen (N-schepen). De niet-routegebonden schepen, zoals vissers, supplyvaart en werkvaart zijn beschreven in een aparte database met dichtheden op een grid van 8 bij 8 km. Er wordt aangenomen dat de niet-routegebonden schepen die in het gebied van het windpark opereren, na bouw van het windpark vlak bij het windpark opereren. Dit is een "worst case" benadering omdat ze zich in de praktijk over een groter gebied zullen verspreiden.

Het resultaat van de deze berekeningen staat in een aantal tabellen samengevat. Voor het verkeer in 2008 staat het resultaat voor de minimumvariant in Tabel 6-4 en de maximumvariant in Tabel 6-5. Voor het verkeer in 2020 staat het resultaat voor de minimumvariant in Tabel 6-6 en voor de maximumvariant in Tabel 6-7. De kans is uitgerekend voor ieder van de 241 windturbines in de minimumvariant en ieder van de 312 windturbines in de maximumvariant. Om het resultaat zo overzichtelijk mogelijk te houden en toch inzicht te geven in het risico van afzonderlijke windturbines, bevatten de tabellen alleen de 10 windturbines met het hoogste risico.

De onderste vier rijen geven vervolgens een totaalresultaat, namelijk:

- Het totale risico van alle windturbines in de variant;
- Het gemiddelde per windturbine door het totaal te delen door het aantal windturbines van de variant;
- Het risico bij realisatie van 1000 MW in TNW. Er wordt uitgegaan van de bouw van allemaal 5 MW windturbines, dus dat betekent 200 windturbines van 5 MW.
- De laatste regel is 1/kans en geeft dus het risico uitgedrukt in gemiddeld eens in de zoveel jaar.

Bij de overgang van de minimumvariant naar de maximumvariant is het risico van de top 10 windturbines in 2008 een factor 2,4 ( $= 0,008962/0,003799$ ) groter en in 2020 een factor 2,6 ( $= 0,010373/0,003999$ ). De reden is dat de meest westelijke windturbines van TNW bij de maximumvariant een relatief groot risico veroorzaken. Deze windturbines liggen dicht bij drukke scheepvaart routes. Het totale risico voor de meest westelijke windturbine 1-1 van de maximumvariant bedraagt 0,001584 (zie Tabel 6-5 en zie risicogetal 16 in Figuur 6-5) terwijl het risico voor de meest risicovolle windturbine 2-113 van de minimumvariant 0,000461 is (zie Tabel 6-4 en het risicogetal 5 in Figuur 6-2 in het zuidoosten van het windgebied).

Omdat er maar een gering aantal windturbines een relatief hoog risico hebben, blijft de toename van het gemiddelde risico per windturbine bij de maximumvariant beperkt.

De overgang van 2008 naar 2020 is meer geleidelijk. De top 10 blijft bijna hetzelfde. De kans op een aanvaring en een aandrijving van een top 10 windturbine neemt voor de minimum variant toe met 5% ( $0,003999 / 0,003799 - 1$ ) en voor de maximumvariant toe met 16% ( $0,010373 / 0,008962 - 1$ ).

**Tabel 6-4** *Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar voor de minimumvariant van TNW en het jaar 2008*

nr	WGS84 (°)		Aanvaren		Aandrijven		Totaal	Incident eens in de .. jaar
	NB	OL	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
2-5	5403,4	550,6	0,000012	0,000090	0,000165	0,000023	0,000290	3446
2-22	5403,7	552,9	0,000014	0,000152	0,000166	0,000024	0,000356	2811
2-36	5403,7	554,4	0,000011	0,000125	0,000162	0,000024	0,000322	3104
2-58	5404	556,6	0,000013	0,000149	0,000163	0,000024	0,000348	2870
2-66	5400,3	558,1	0,000004	0,000232	0,000122	0,000025	0,000384	2605
2-81	5400,3	559,6	0,000010	0,000283	0,000123	0,000027	0,000442	2262
2-97	5400,3	601,1	0,000016	0,000289	0,000125	0,000027	0,000455	2196
2-113	5400,3	602,6	0,000028	0,000281	0,000126	0,000026	0,000461	2170
2-129	5400,3	604,1	0,000044	0,000227	0,000128	0,000025	0,000424	2356
2-137	5401,6	604,9	0,000016	0,000151	0,000127	0,000022	0,000316	3164
Totaal top 10			0,000167	0,001979	0,001406	0,000247	0,003799	263
Totaal 241 windturbines			0,000953	0,007143	0,034231	0,005091	0,047418	21,1
Gemiddeld per windturbine			0,000004	0,000030	0,000142	0,000021	0,000197	5082
Risico voor 1000 MW in TNW (200 x 5 MW)			0,000791	0,005927	0,028408	0,004225	0,039351	25,4
Incident eens in de .. jaar			1264	169	35	237	25,4	

**Tabel 6-5** *Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar voor de maximumvariant van TNW en het jaar 2008*

nr	WGS84 (°)		Aanvaren		Aandrijven		Totaal	Incident eens in de .. jaar
	NB	OL	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
1-1	5400,3	510,1	0,000757	0,000242	0,000538	0,000046	0,001584	631
1-2	5400,4	510,9	0,000568	0,000241	0,000506	0,000047	0,001361	735
1-3	5400,3	511,8	0,000370	0,000240	0,000449	0,000048	0,001107	903
1-4	5400,5	512,6	0,000210	0,000247	0,000419	0,000048	0,000925	1081
1-5	5400,3	513,4	0,000093	0,000260	0,000362	0,000050	0,000765	1307
1-6	5400,6	514,1	0,000076	0,000269	0,000357	0,000050	0,000752	1329
1-7	5400,3	514,8	0,000026	0,000275	0,000314	0,000053	0,000668	1496
1-9	5400,3	516,3	0,000013	0,000277	0,000278	0,000054	0,000622	1608
1-11	5400,3	517,8	0,000010	0,000278	0,000252	0,000055	0,000595	1681
1-17	5401,1	520,0	0,000019	0,000261	0,000252	0,000050	0,000582	1718
Totaal top 10			0,002143	0,002590	0,003728	0,000501	0,008962	112
Totaal 312 windturbines			0,003524	0,014242	0,048918	0,007674	0,074358	13,4
Gemiddeld per windturbine			0,000011	0,000046	0,000157	0,000025	0,000238	4196
Risico voor 1000 MW in TNW (200 x 5 MW)			0,002259	0,009129	0,031358	0,004919	0,047665	21,0
Incident eens in de .. jaar			443	110	32	203	21,0	

**Tabel 6-6** *Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar voor de minimumvariant TNW en het jaar 2020*

nr	WGS84 (°)		Aanvaren		Aandrijven		totaal	Incident eens in de .. jaar
	NB	OL	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
2-5	5403,4	550,6	0,000014	0,000090	0,000186	0,000023	0,000313	3195
2-22	5403,7	552,9	0,000016	0,000152	0,000187	0,000024	0,000379	2638
2-36	5403,7	554,4	0,000012	0,000125	0,000183	0,000024	0,000345	2903
2-58	5404,0	556,6	0,000014	0,000149	0,000184	0,000024	0,000371	2694
2-66	5400,3	558,1	0,000005	0,000232	0,000137	0,000025	0,000400	2500
2-81	5400,3	559,6	0,000011	0,000283	0,000138	0,000027	0,000459	2180
2-97	5400,3	601,1	0,000017	0,000289	0,000140	0,000027	0,000473	2114
2-113	5400,3	602,6	0,000031	0,000281	0,000142	0,000026	0,000480	2084
2-129	5400,3	604,1	0,000050	0,000227	0,000144	0,000025	0,000446	2244
2-137	5401,6	604,9	0,000018	0,000151	0,000143	0,000022	0,000334	2994
Totaal top 10			0,000188	0,001979	0,001586	0,000247	0,003999	250
Totaal 241 windturbines			0,001049	0,007143	0,038556	0,005091	0,051838	19,3
Gemiddeld per windturbine			0,000004	0,000030	0,000160	0,000021	0,000215	4649
Risico voor 1000 MW in TNW (200 x 5 MW)			0,000871	0,005927	0,031996	0,004225	0,043019	23,2
Incident eens in de .. jaar			1148	169	31	237	23,2	

**Tabel 6-7** *Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar voor de maximumvariant en het jaar 2020*

nr	WGS84 (°)		Aanvaren		Aandrijven		totaal	Incident eens in de .. jaar
	NB	OL	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
1-1	5400,3	510,1	0,001115	0,000242	0,000603	0,000046	0,002005	499
1-2	5400,4	510,9	0,000833	0,000241	0,000566	0,000047	0,001686	593
1-3	5400,3	511,8	0,000536	0,000240	0,000502	0,000048	0,001326	754
1-4	5400,5	512,6	0,000301	0,000247	0,000469	0,000048	0,001066	938
1-5	5400,3	513,4	0,000133	0,000260	0,000406	0,000050	0,000849	1178
1-6	5400,6	514,1	0,000103	0,000269	0,000401	0,000050	0,000823	1215
1-7	5400,3	514,8	0,000033	0,000275	0,000353	0,000053	0,000715	1399
1-9	5400,3	516,3	0,000016	0,000277	0,000312	0,000054	0,000659	1518
1-11	5400,3	517,8	0,000011	0,000278	0,000284	0,000055	0,000627	1595
1-17	5401,1	520,0	0,000021	0,000261	0,000284	0,000050	0,000617	1622
Totaal top 10			0,003101	0,002590	0,004180	0,000501	0,010373	96
Totaal 312 windturbines			0,004629	0,014242	0,055175	0,007674	0,081719	12,2
Gemiddeld per windturbine			0,000015	0,000046	0,000177	0,000025	0,000262	3818
Risico voor 1000 MW in TNW (200 x 5 MW)			0,002967	0,009129	0,035368	0,004919	0,052384	19,1
Incident eens in de .. jaar			337	110	28	203	19,1	

Om de effecten wat beter zichtbaar te maken is Tabel 6-8 samengesteld met het risico voor 1000 MW uit de Tabel 6-4 tot en met Tabel 6-7. Dit risico is teruggerekend uit de varianten volgebouwd met windturbines.

**Tabel 6-8** *Kans op een aanvaring of aandrijving met een windturbine per jaar in TNW, teruggerekend naar 1000 MW*

Variant voor TNW	Aanvaren		Aandrijven		Totaal	Incident eens in de .. jaar
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen		
Minimumvariant 2008	0,000791	0,005927	0,028408	0,004225	0,039351	25,4
Maximumvariant 2008	0,002259	0,009129	0,031358	0,004919	0,047665	21,0
Minimumvariant 2020	0,000871	0,005927	0,031996	0,004225	0,043019	23,2
Maximumvariant 2020	0,002967	0,009129	0,035368	0,004919	0,052384	19,1

**Tabel 6-9** *Verandering van kans bij overgang van variant of jaar teruggerekend naar 1000 MW*

Overgang	Aanvaren		Aandrijven		Totaal
	R-schepen	N-schepen	R-schepen	N-schepen	
Maximumvariant 2008/ Minimumvariant 2008	2,86	1,54	1,10	1,16	1,21
Maximumvariant 2020/ Minimumvariant 2020	3,41	1,54	1,11	1,16	1,22
Minimumvariant 2020/ Minimumvariant 2008	1,10	1,00	1,13	1,00	1,09
Maximumvariant 2020/ Maximumvariant 2008	1,31	1,00	1,13	1,00	1,10

In Tabel 6-9 zijn de varianten op elkaar gedeeld om het effect van de veranderingen duidelijk te maken, waaruit de volgende conclusies voor 2020 kunnen worden getrokken:

- Bij overgang van de minimum variant naar de maximum variant geldt dat:
  - de kans op een aanvaring door een routegebonden schip 3,41 keer zo groot wordt (getal 3,41 uit Tabel 6-9);
  - de kans op een aandrijving door een routegebonden schip met 11% toeneemt (getal 1,11 uit Tabel 6-9);
  - de kans op een aanvaring door een niet-routegebonden schip met 54% toeneemt (ofwel de factor 1,54 uit Tabel 6-9);
  - de kans op een aandrijving door een niet-routegebonden schip met 16% toeneemt (ofwel de factor 1,16 uit Tabel 6-9).

De toename van het risico komt vooral doordat uitbreiding naar het westen heeft geleid tot een veel kortere passeer afstand voor de schepen vanuit het verkeersscheidingsstelsel Vlieland naar Skagerrak. Deze route is zelfs iets naar westen verlegd.

Bij het niet-routegebonden verkeer zijn er twee tegengestelde effecten.

Het risico voor een individueel niet-routegebonden schip dat langs een windpark vaart, verandert nauwelijks, omdat de afstand van 500 m gelijk blijft. Het totale risico neemt toe doordat er meer verkeer naar net buiten het windpark wordt verplaatst. Dit is het eerste effect. Bij een grotere gebied zijn er meestal echter meer interne windturbines met een heel laag risico, waardoor het risico voor veel meer turbines laag blijft (het tweede effect). Na sommatie van het risico over alle windturbines blijkt dit laatste effect meestal groter te zijn dan het eerste, waardoor het gemiddelde risico per windturbine kleiner is. Doordat bij TNW de

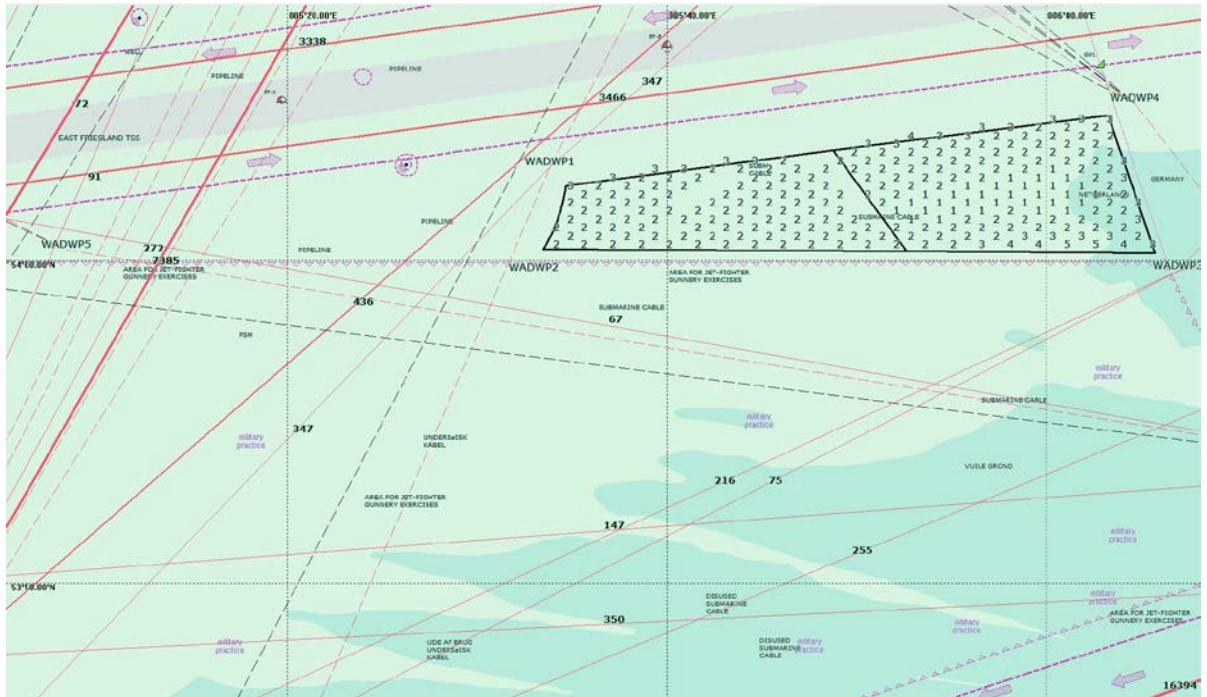
uitbreiding van de minimum naar de maximumvariant een smalle strook met windturbines betreft, is de afscherming van de binnenste windturbines minder groot dan bij andere windgebieden. Het risico voor het niet routegebonden verkeer neemt daarom hier toe.

- Bij overgang van het verkeer van 2008 naar het verkeer van 2020 geldt dat:
  - de kans op een aanvaring door een routegebonden schip bij de minimumvariant met 10% toeneemt en bij de maximumvariant met 31% (getallen 1,10 en 1,31 uit Tabel 6-8);
  - de kans op een aandrijving door een routegebonden schip in beide varianten met 13% toeneemt;
  - de kansen voor het niet-routegebonden verkeer niet veranderen omdat de niet-routegebonden database onveranderd is gebleven.

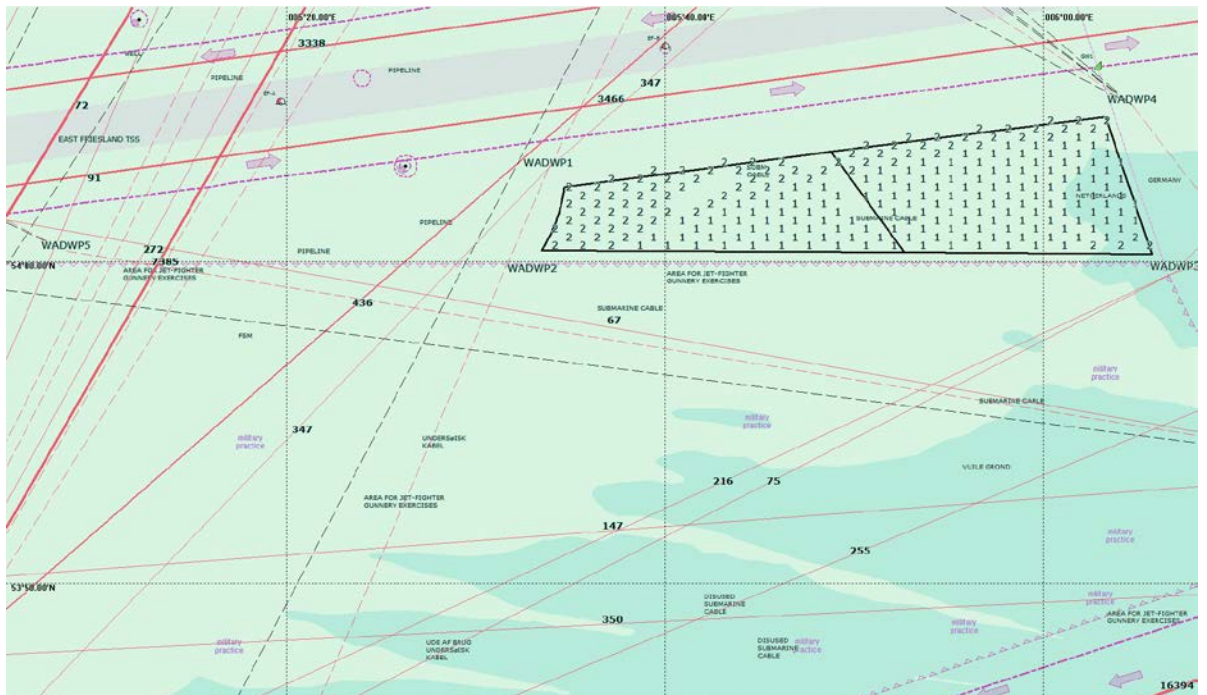
### **Geografische verdeling van de incidenten**

Om de geografische verdeling van de kansen op een aanvaring en aandrijving inzichtelijk te maken is de kans op een incident voor iedere windturbine met een getal aangegeven in de kaart op de locatie van de windturbine. Het getal is steeds de kans (zoals weergegeven in de tabellen) maal tienduizend. Een getal van 2 (dus kans 0,0002) betekent dat er gemiddeld 2 incidenten in tienduizend jaar verwacht worden. Er is de voorkeur gegeven aan een getal in plaats van een kleur, omdat de variatie in risico groot is en een getal direct een indicatie van het risico geeft. Er zijn 12 figuren gemaakt, namelijk voor de minimum- en maximumvariant en voor 2008 en 2020 steeds drie figuren, de eerste met het risico voor alle schepen en vervolgens opgesplitst naar routegebonden schepen (R-schepen) en niet-routegebonden schepen (N-schepen). De figuren voor niet-routegebonden schepen voor 2008 en 2020 zijn gelijk omdat de database voor het niet-routegebonden schepen ongewijzigd is.

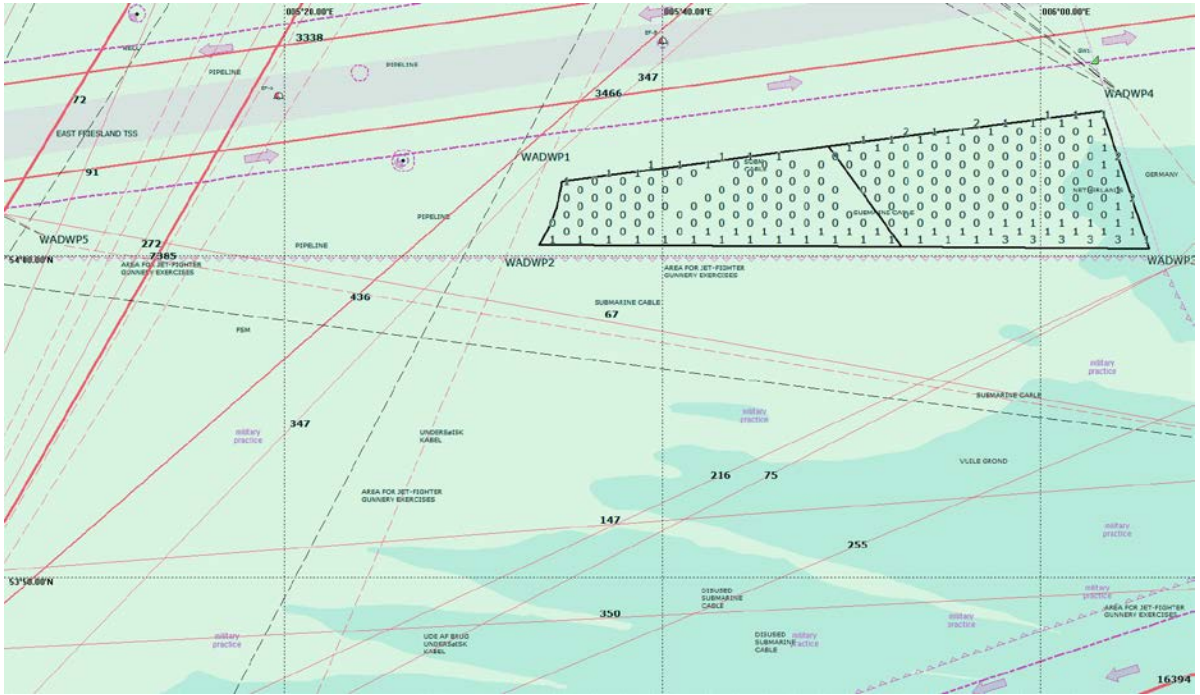
Bij het doorlopen van de figuren valt goed op dat het risico van de westelijke windturbines bij de maximumvariant veel groter is dan bij de minimumvariant. Dit zorgt voor een grote toename van het risico. Dit verdwijnt voor een deel wanneer het risico wordt teruggerekend naar 1000 MW geïnstalleerd vermogen, waarbij wordt uitgegaan van een gemiddeld risico per windturbine. Voor het echte risico maakt het wel degelijk uit waar de windturbines uiteindelijk geplaatst worden. De windturbines van de minimumvariant zijn ook allemaal opgenomen in de maximumvariant. Het risico van deze windturbines verandert nauwelijks. Alleen het risico voor de meest westelijke windturbines van de minimumvariant wordt in de maximumvariant iets kleiner doordat een deel van het verkeer dan op grotere afstand passeert.



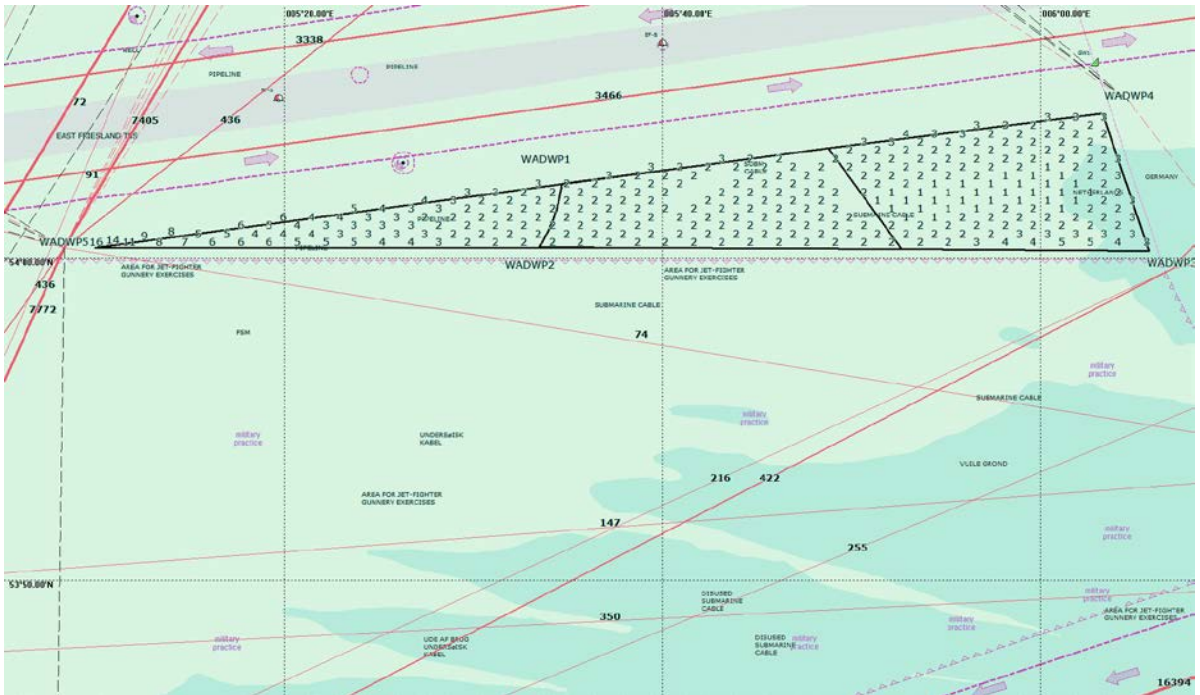
**Figuur 6-2** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor alle schepen (R+N) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008



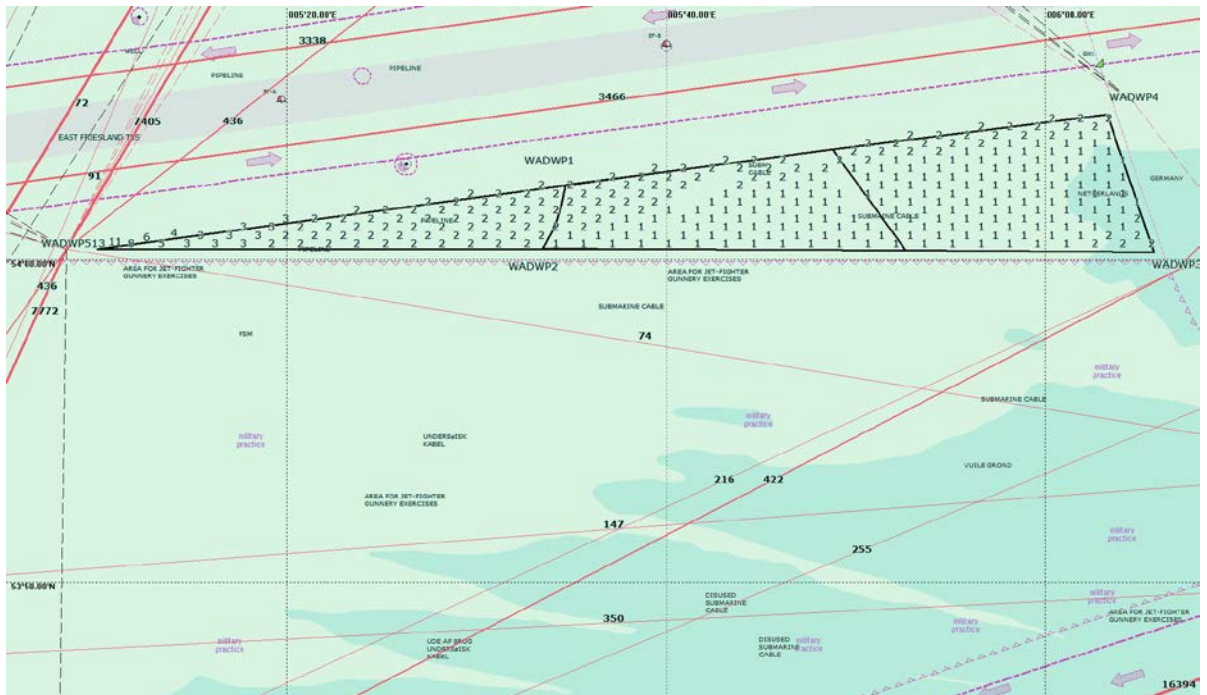
**Figuur 6-3** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor routegebonden schepen (R) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008



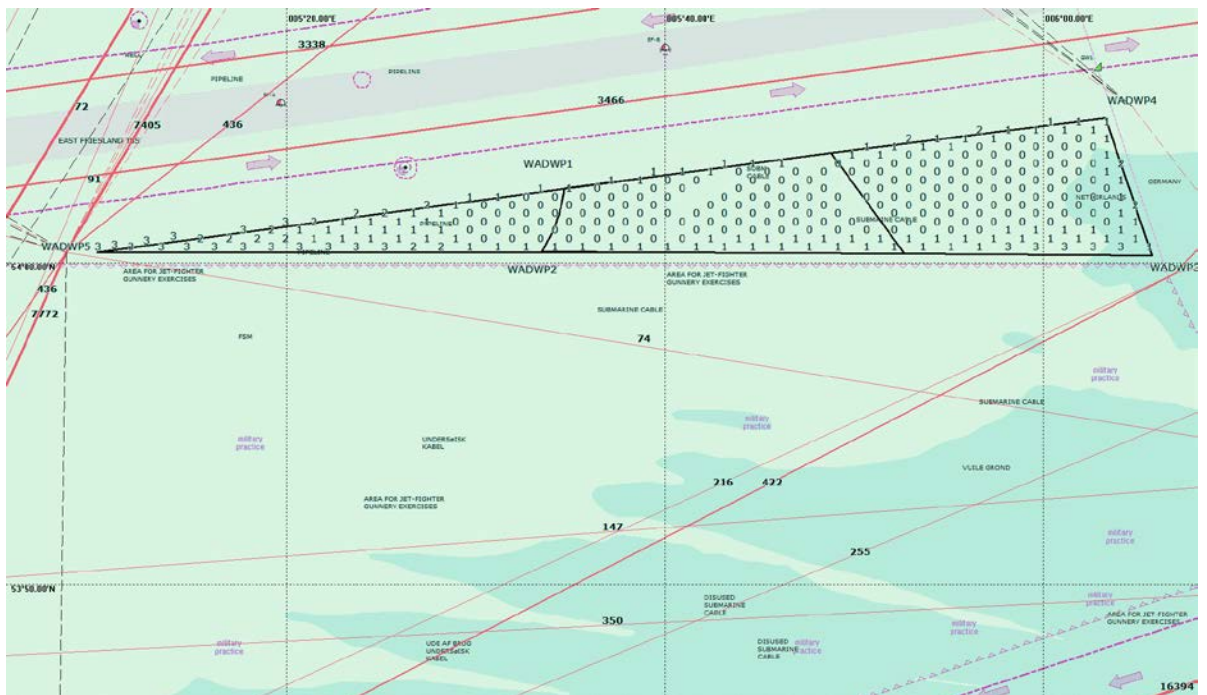
**Figuur 6-4** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor niet-routegebonden schepen (N) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008



**Figuur 6-5** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor alle schepen (R+N) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008

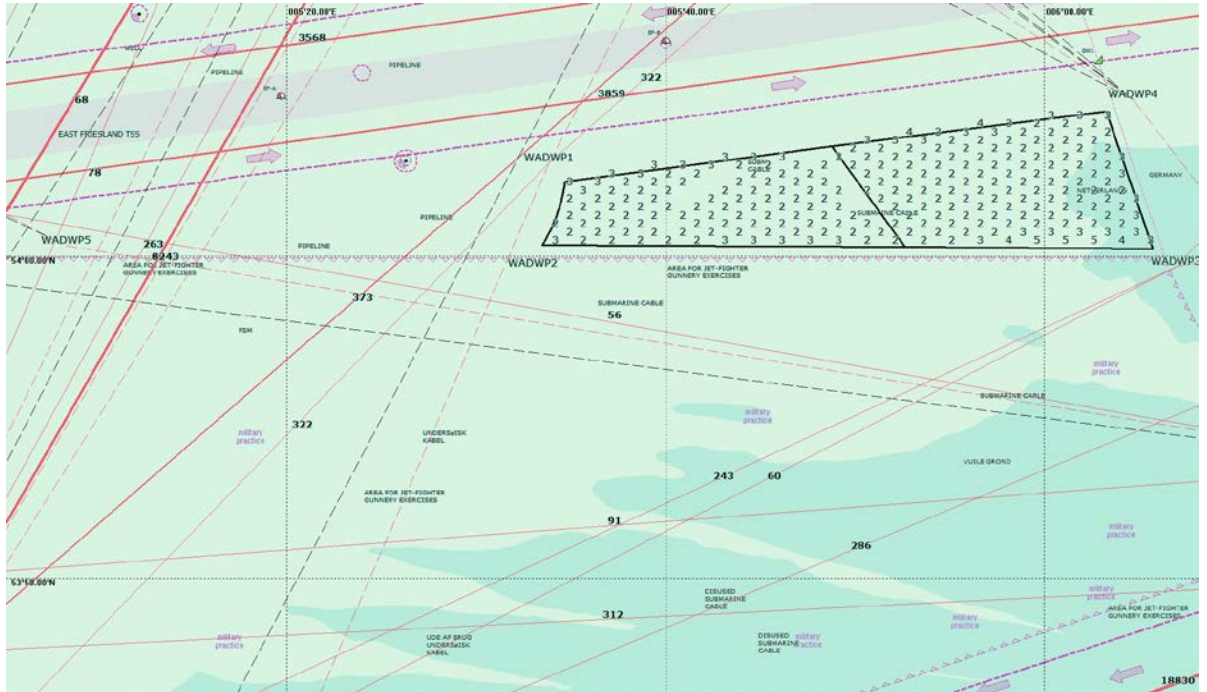


**Figuur 6-6** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor routegebonden schepen (R) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008

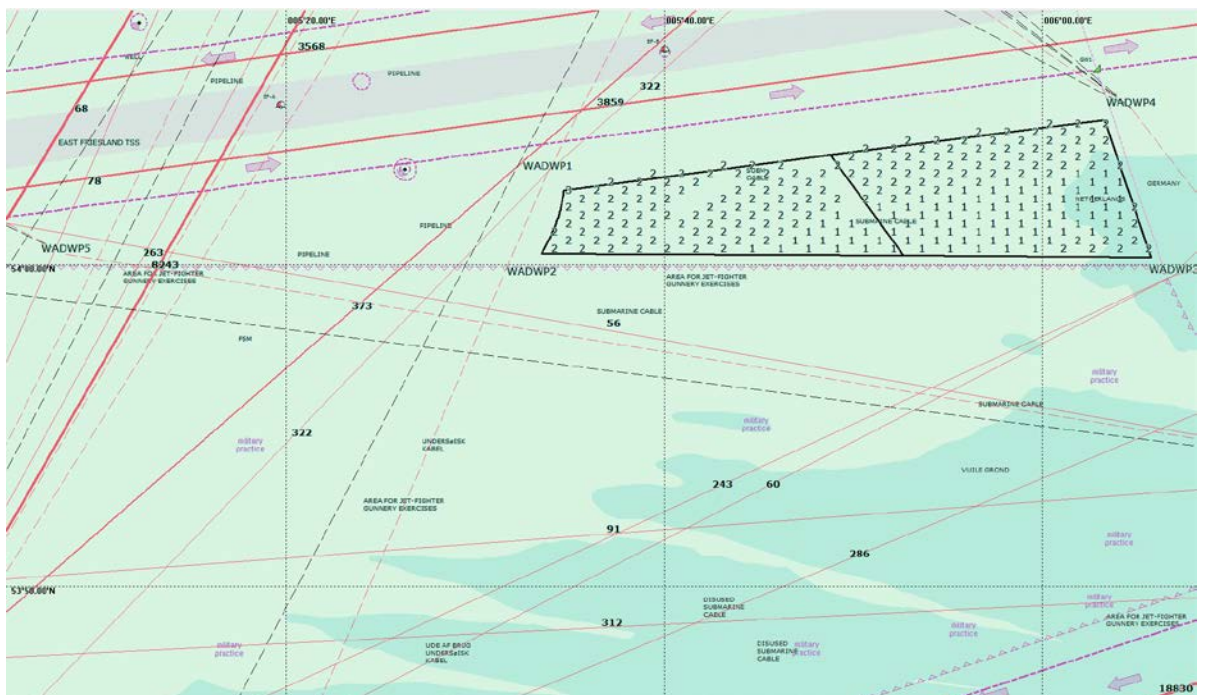


**Figuur 6-7** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor niet-routegebonden schepen (N) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2008

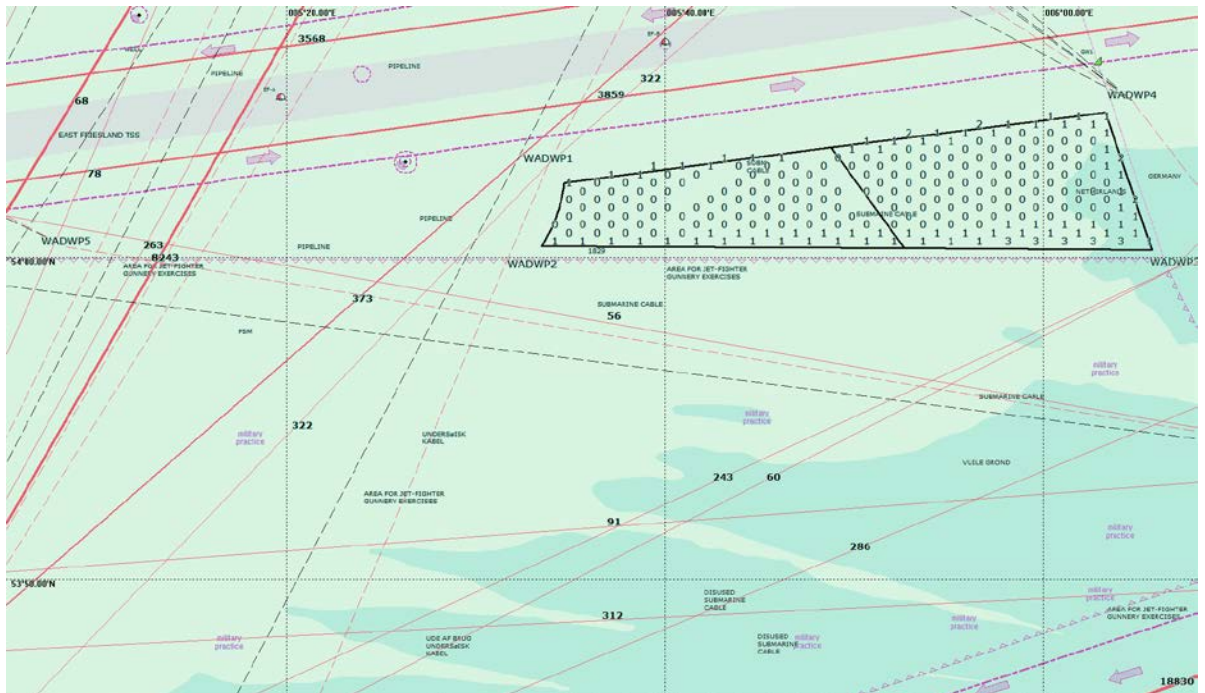




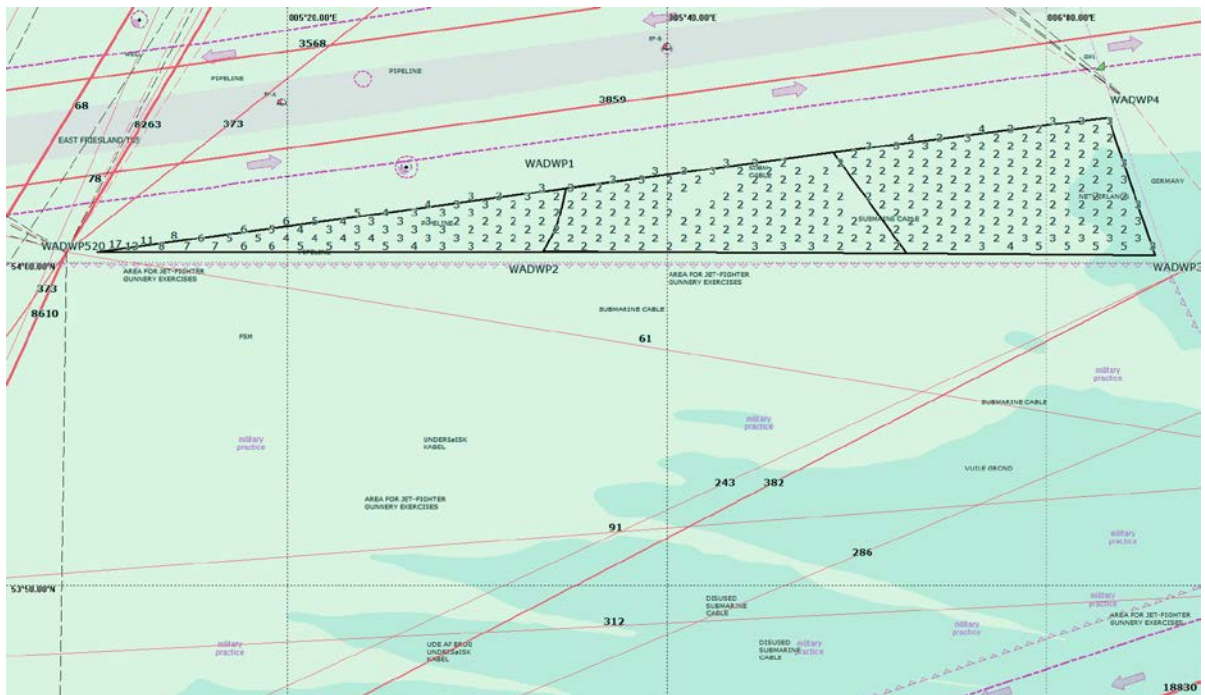
**Figuur 6-8** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor alle schepen (R+N) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020



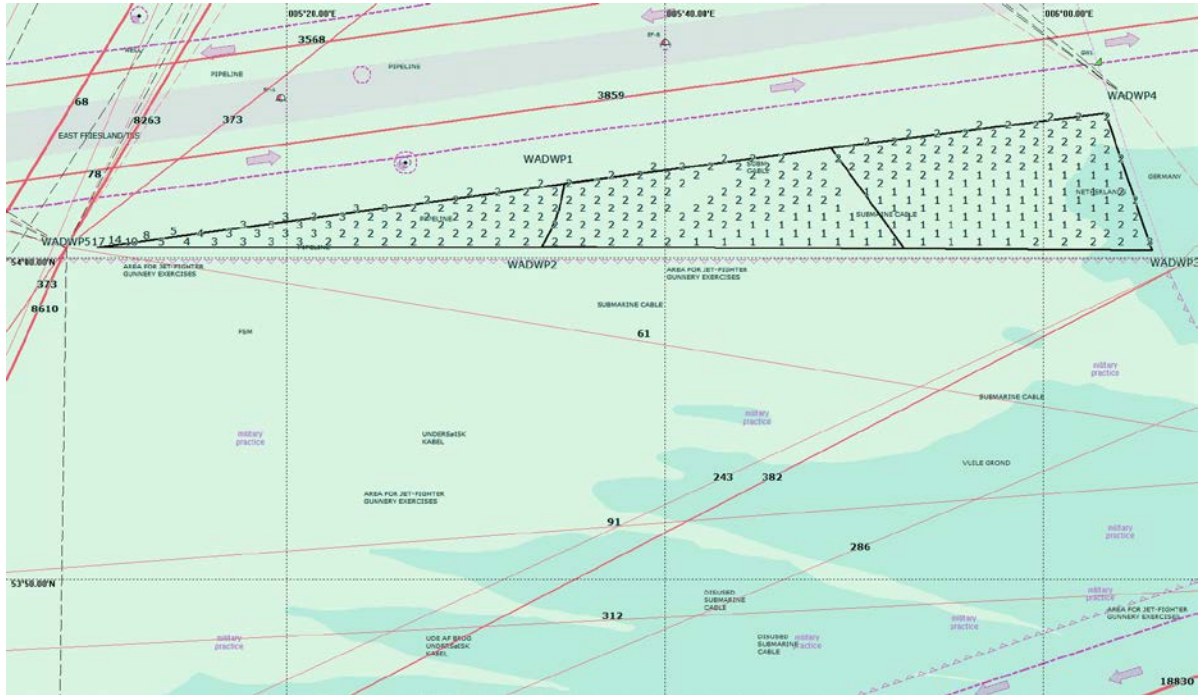
**Figuur 6-9** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor routegebonden schepen (R) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020



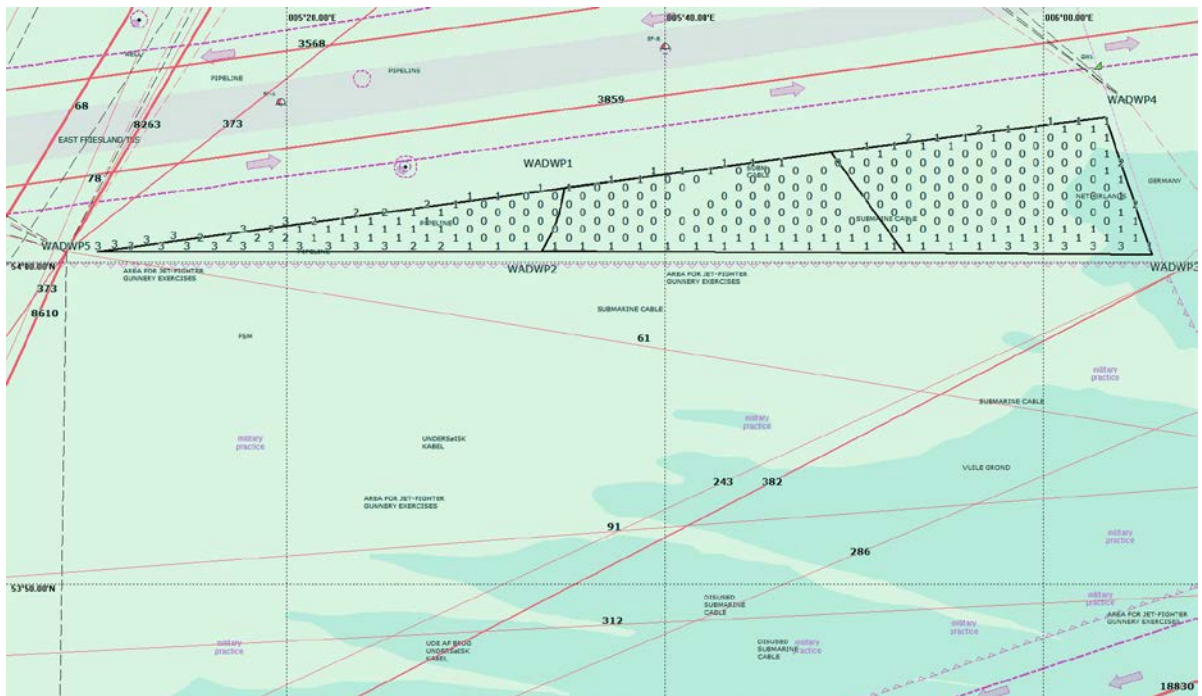
**Figuur 6-10** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor niet-routegebonden schepen (N) voor de minimumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020



**Figuur 6-11** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor alle schepen (R+N) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020



**Figuur 6-12** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor routegebonden schepen (R) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020



**Figuur 6-13** Aantal incidenten per windturbine in tienduizend jaar voor niet-routegebonden schepen (N) voor de maximumvariant en de verkeersafwikkeling in 2020

### 6.3 Milieuschade

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.

Er zijn complexe berekeningen mogelijk om bij een gegeven snelheid bij de aandrijving c.q. aanvaring van de windturbine te bepalen of het schip dusdanig beschadigd wordt dat er een gat in de huid ontstaat. Bij de veiligheidsstudies van windparken is echter steeds een "worst case" benadering toegepast door aan te nemen dat bij een aandrijving een gat in de huid ontstaat bij alle schepen groter dan 1000 GT (ongeveer 96% van de routegebonden scheepvaart), waardoor ladingolie of bunkerolie kan uitstromen. Bij een aanvaring wordt geen uitstroom verwacht, omdat de meeste schade zal ontstaan in het voorste deel van het schip voor het aanvaringsschot.

De verwachting is dat de kans op een uitstroom in de praktijk kleiner zal zijn doordat de aandrijving niet altijd tot een gat in de lading tank van een dubbelwandig schip zal leiden.

Met de worst case benadering is de kans op een uitstroom van ladingolie en bunkerolie bepaald na een aandrijving met een windturbine van windgebied TNW. De berekeningen zijn uitgevoerd voor beide varianten en voor het verkeer in 2008 en 2020. De resultaten teruggeschaald naar 1000 MW geïnstalleerd vermogen, zijn gegeven in Tabel 6-10, Tabel 6-11, Tabel 6-12 en Tabel 6-13 voor bunkerolie en ladingolie in een aantal onderscheiden uitstroomklassen.

**Tabel 6-10** *Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie per jaar als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine van TNW in 2008*

Uitstroom van bunkerolie in m <sup>3</sup>	Minimumvariant windgebied TNW 2008			Maximumvariant windgebied TNW 2008		
	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>	Frequentie	Eens in de .... Jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>
0,01-20	0,000012	82080	0,000	0,000013	76414	0,000
20-150	0,000557	1794	0,037	0,000616	1623	0,041
150-750	0,000670	1492	0,243	0,000752	1330	0,272
750-3000	0,000220	4551	0,305	0,000235	4252	0,323
3000-10000	0,000062	16057	0,233	0,000059	16921	0,221
Totaal	0,001522	657	0,818	0,001675	597	0,858

**Tabel 6-11** *Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie per jaar als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine van TNW in 2008*

Uitstroom van ladingolie in m <sup>3</sup>	Minimumvariant windgebied TNW 2008			Maximumvariant windgebied TNW 2008		
	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>
20-150	0,000000		0,000	0,000000		0,000
150-750	0,000001	1716940	0,000	0,000001	1575209	0,000
750-3000	0,000073	13686	0,153	0,000080	12426	0,169
3000-10000	0,000171	5839	0,969	0,000192	5211	1,089
10000-30000	0,000165	6053	2,214	0,000188	5320	2,520
30000-100000	0,000001	925237	0,037	0,000001	810984	0,042
Totaal	0,000411	2432	3,373	0,000462	2163	3,819

**Tabel 6-12** *Frequentie en volume van een uitstroom van bunkerolie per jaar als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine voor TNW in 2020*

Uitstroom van bunkerolie in m <sup>3</sup>	Minimumvariant windgebied TNW 2020			Maximumvariant windgebied TNW 2020		
	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>
0,01-20	0,000009	117464	0,000	0,000009	109026	0,000
20-150	0,000541	1848	0,036	0,000599	1670	0,040
150-750	0,000761	1315	0,273	0,000852	1174	0,305
750-3000	0,000366	2729	0,463	0,000404	2476	0,520
3000-10000	0,000090	11120	0,367	0,000088	11406	0,357
Totaal	0,001767	566	1,140	0,001951	512	1,224

**Tabel 6-13** *Frequentie en volume van een uitstroom van ladingolie per jaar als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine voor TNW in 2020*

Uitstroom van ladingolie in m <sup>3</sup>	Minimumvariant windgebied TNW 2020			Maximumvariant windgebied TNW 2020		
	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>
20-150	0,000000		0,000	0,000000		0,000
150-750	0,000000	2124292	0,000	0,000001	1942621	0,000
750-3000	0,000092	10876	0,192	0,000101	9867	0,212
3000-10000	0,000182	5499	1,117	0,000205	4890	1,259
10000-30000	0,000167	5987	2,137	0,000189	5279	2,424
30000-100000	0,000001	1701166	0,020	0,000001	1492753	0,023
Totaal	0,000442	2263	3,467	0,000496	2014	3,919

Om beter conclusies te kunnen trekken zijn in Tabel 6-14 de totalen van de voorgaande tabellen verzameld en zijn in Tabel 6-15 verschillende varianten op elkaar gedeeld. Uit Tabel 6-15 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Bij overgang van de minimumvariant naar de maximumvariant:
  - De kans op een uitstroom van bunkerolie neemt toe met 10% (getal 1,10 in Tabel 6-15) zowel in 2008 als in 2020;
  - De kans op een uitstroom van ladingolie neemt toe met 12% in 2008 en 2020 (getallen 1,12 in Tabel 6-15).
- Bij overgang van het verkeer van 2008 naar het verkeer van 2020 neemt voor de minimumvariant de kans op een uitstroom van bunkerolie met 16% toe en die van ladingolie met 7%. Deze percentages zijn voor de maximumvariant vrijwel gelijk.

**Tabel 6-14** *Frequentie van een uitstroom van olie als gevolg van een aandrijving tegen een windturbine voor alle varianten*

Variant	Bunkerolie			Ladingolie			Totaal
	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>	Frequentie	Eens in de .... jaar	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>	Eens in de ... jaar
Minimumvariant 2008	0,001522	657	0,818	0,000411	2432	3,373	517
Maximumvariant 2008	0,001675	597	0,858	0,000462	2163	3,819	468
Minimumvariant 2020	0,001767	566	1,140	0,000442	2263	3,467	453
Maximumvariant 2020	0,001951	512	1,224	0,000496	2014	3,919	409

**Tabel 6-15** Verandering van kans bij overgang van variant of jaar

Overgang	Bunkerolie		Ladingolie		Totaal frequentie
	Frequentie	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>	Frequentie	Gemiddelde uitstroom per jaar in m <sup>3</sup>	
Maximumvariant 2008/ Minimumvariant 2008	1,10	1,05	1,12	1,13	1,11
Maximumvariant 2020/ Minimumvariant 2020	1,10	1,07	1,12	1,13	1,11
Minimumvariant 2020/ Minimumvariant 2008	1,16	1,39	1,07	1,03	1,14
Maximumvariant 2020/ Maximumvariant 2008	1,17	1,43	1,07	1,03	1,15

#### 6.4 Conclusies

Uit de berekeningen volgen de kansen op de volgende incidenten:

De kans op een aanvaring of een aandrijving met een van de 200 windturbines (200x5MW = 1000 MW) van de minimumvariant TNW bedraagt in 2020 0,043 per jaar, ofwel een incident eens in de 23,2 jaar (uit Tabel 6-6). Eens in 453 jaar wordt daarbij een uitstroom van olie verwacht van gemiddeld 2086 m<sup>3</sup> (= (1,140+3,467) / (0,001767+0,000442) uit Tabel 6-14). Deze resultaten zijn gebaseerd op de gemiddelde waarden uit de berekeningen voor 241 windturbines van 5 MW, dus 1205 MW die geplaatst was in de minimumvariant TNW.

De kans op een aanvaring of een aandrijving met een van de 200 windturbines geplaatst in de maximumvariant van TNW in 2020 is gemiddeld 0,0524 per jaar, ofwel een incident eens in de 19,1 jaar (uit Tabel 6-7). Eens in 409 jaar wordt daarbij een uitstroom van olie verwacht van gemiddeld 2101 m<sup>3</sup> (= (1,224+3,919) / (0,001951+0,000496) uit Tabel 6-14). Deze resultaten zijn gebaseerd op de gemiddelde waarden uit de berekeningen voor 312 windturbines van 5 MW, dus 1560 MW die geplaatst was in de maximumvariant TNW.

## 7 RISICO REDUCERENDE MAATREGELEN

De berekeningen zijn uitgevoerd zonder risico reducerende maatregelen. De risico reducerende maatregel met het meeste effect is de inzet van een bergingsvaartuig (Emergency Towing Vessel of ETV genoemd). Deze taak is in 2010 door de levoli Black overgenomen van de Waker welk schip na een brand in 2009 niet meer inzetbaar was. Zodra een drifter wordt gemeld en assistentie nodig is, wordt de levoli Black er op af gestuurd. Omdat de kans op een storing groter is bij slecht weer condities en de driftsnelheid onder deze omstandigheden ook groter is, vertrekt de levoli Black windkrachten vanaf 5 Beaufort preventief naar zee en kiest positie nabij de belangrijkste scheepvaartroutes bij de Waddeneilanden.

Een ETV in de buurt van windparken kan de kans op een aandrijving reduceren. Ervaring uit de vele eerdere studies voor windparken op de Noordzee leert dat een reductie van meer dan 50% haalbaar is, mits de ETV voldoende dichtbij het windpark aanwezig is. De berekeningen met een ETV vallen buiten de scope van dit onderzoek.



## 8 CONCLUSIES, UITGANGSPUNTEN EN SLOTOPMERKINGEN

### Conclusies

De belangrijkste resultaten van de berekeningen zijn voor 2008 samengevat in Tabel 8-1 en voor 2020 in Tabel 8-2. Als basis situatie (T0-situatie) is uitgegaan van de situatie met de twee gebouwde windparken OWEZ en Prinses Amalia, en waarbij de scheepsbewegingen van 2008 worden gerouteerd door de nieuwe routestructuur die vanaf 1 augustus 2013 van kracht is.

Om inzicht te verkrijgen in de verandering van het risico naar de toekomst is ook een voorspelling gemaakt van het risico voor 2020. Tabel 8-3 bevat de verandering van de incidenten per jaar in 2020 ten opzichte van 2008.

In de tabellen zijn de resultaten ingevuld in ofwel de kolom voor het routegebonden verkeer (R), niet-routegebonden verkeer (N), of het totale verkeer (R+N), afhankelijk van de relevantie en beschikbaarheid per categorie. Het aantal slachtoffers en kosten van aanvaringen en zinken is alleen beschikbaar voor routegebonden verkeer. Resultaten voor de overige onderwerpen zijn voor het totale verkeer beschikbaar. Voor aanvaringen en aandrijvingen van turbines zijn de frequenties daarnaast voor zowel routegebonden als niet-routegebonden verkeer apart beschikbaar.

**Tabel 8-1 Aantal incidenten per jaar buiten en binnen het windgebied in 2008**

Omschrijving	Eenheid	Minimumvariant				Maximumvariant			
		volgebouwd			gecorrigeerd	volgebouwd			gecorrigeerd
		R	N	R+N	R+N	R	N	R+N	R+N
Geïnstalleerd vermogen	MW	1205	1205	1205	1000	1560	1560	1560	1000
Aantal windturbines		241	241	241	200	312	312	312	200
Correctie factor naar 1000 MW					200/241				200/312
<b>Incidenten buiten windpark in berekeningsgebied van Fig.6-1</b>									
Aanvaringen schip-schip	scheper/jaar			12,085				12,110	
Overige incidenten gesommeerd	aantal/jaar			27,125				27,126	
Aantal slachtoffers		4,423				4,435			
Kosten aanvaringen en zinken	M€	59,5				59,5			
Omvaren	Mnm			0,002				0,004	
Incident met olieuitstroom				0,392				0,392	
Olielozing	m <sup>3</sup> /jaar			5329,3				5329,2	
<b>Incidenten scheepvaart windpark</b>									
Aanvaring schip-windturbine	aantal/jaar	0,0010	0,0071	0,0081	0,0067	0,0035	0,0142	0,0178	0,0114
Aandrijving schip-windturbine	aantal/jaar	0,0342	0,0051	0,0393	0,0326	0,0489	0,0077	0,0566	0,0363
Aanvaren+aandrijven	aantal/jaar	0,0352	0,0122	0,0474	0,0394	0,0524	0,0219	0,0744	0,0477
Incidenten met olieuitstroom	aantal/jaar			0,0023	0,0019			0,0033	0,0021
Olielozing m <sup>3</sup> /jr	m <sup>3</sup> /jaar			5,1	4,2			7,3	4,7

**Tabel 8-2 Aantal incidenten per jaar buiten en binnen het windgebied in 2020**

Omschrijving	Eenheid	Minimumvariant				Maximumvariant			
		volgebouwd			gecorrigeerd	volgebouwd			gecorrigeerd
		R	N	R+N	R+N	R	N	R+N	R+N
Geïnstalleerd vermogen	MW	1205	1205	1205	1000	1560	1560	1560	1000
Aantal windturbines		241	241	241	200	312	312	312	200
Correctie factor naar 1000 MW					200/241				200/312
<b>Incidenten buiten windpark in berekeningsgebied van Fig.6-1</b>									
Aanvaringen schip-schip	schepen/jaar			13,089				13,117	
Overige incidenten gesommeerd	aantal/jaar			29,053				29,054	
Aantal slachtoffers		5,659				5,685			
Kosten aanvaringen en zinken	M€	63,8				63,9			
Omwaren	Mnm			4,545				4,548	
Incident met olieuitstroom				0,413				0,413	
Olielozing	m <sup>3</sup> /jaar			5162,4				5162,3	
<b>Incidenten scheepvaart windpark</b>									
Aanvaring schip-windturbine	aantal/jaar	0,0010	0,0071	0,0082	0,0068	0,0046	0,0142	0,0189	0,0121
Aandrijving schip-windturbine	aantal/jaar	0,0386	0,0051	0,0436	0,0362	0,0552	0,0077	0,0628	0,0403
Aanvaren+aandrijven	aantal/jaar	0,0396	0,0122	0,0518	0,0430	0,0598	0,0219	0,0817	0,0524
Incidenten met olieuitstroom	aantal/jaar			0,0027	0,0022			0,0038	0,0024
Olielozing m3/jr	m <sup>3</sup> /jaar			5,6	4,6			8,0	5,1

**Tabel 8-3 Verandering aantal incidenten per jaar van 2008 naar 2020**

Omschrijving	Eenheid	Minimumvariant				Maximumvariant			
		volgebouwd			gecorrigeerd	volgebouwd			gecorrigeerd
		R	N	R+N	R+N	R	N	R+N	R+N
Geïnstalleerd vermogen	MW	1205	1205	1205	1000	1560	1560	1560	1000
Aantal windturbines		241	241	241	200	312	312	312	200
Correctie factor naar 1000 MW					200/241				200/312
<b>Incidenten buiten windpark in berekeningsgebied van Fig.6-1</b>									
Aanvaringen schip-schip	schepen/jaar			1,004				1,007	
Overige incidenten gesommeerd	aantal/jaar			1,928				1,928	
Aantal slachtoffers		1,236				1,251			
Kosten aanvaringen en zinken	M€	4,4				4,4			
Omwaren	Mnm			4,543				4,544	
Incident met olieuitstroom				0,021				0,021	
Olielozing	m <sup>3</sup> /jaar			-166,9				-166,9	
<b>Incidenten scheepvaart windpark</b>									
Aanvaring schip-windturbine	aantal/jaar	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0011	0,0000	0,0011	0,0007
Aandrijving schip-windturbine	aantal/jaar	0,0043	0,0000	0,0043	0,0036	0,0063	0,0000	0,0063	0,0040
Aanvaren+aandrijven	aantal/jaar	0,0044	0,0000	0,0044	0,0037	0,0074	0,0000	0,0074	0,0047
Incidenten met olieuitstroom	aantal/jaar			0,0003	0,0003			0,0005	0,0003
Olielozing m3/jr	m <sup>3</sup> /jaar			0,5	0,4			0,7	0,5

Uit de resultaten kunnen de volgende conclusies worden verwoord voor 2020:

**Voor de ongevallen buiten het windgebied:**

- Bij de minimumvariant is het effect van de verandering van de vaarroutes verwaarloosbaar. Er wordt zelfs een mafname verwacht van 0,001 schip betrokken bij een aanvaring per jaar, wat het effect is van een betere structurering van de verkeersafwikkeling.
- Bij de maximumvariant moet een klein aantal schepen (tankers en ferries) een andere route gaan volgen waardoor 1 extra aanvaring in 36 jaar wordt verwacht voor de verkeersintensiteit van 2020.

**Voor het risico op een aanvaring of aandrijving met een windturbine:**

- De kans op een aanvaring of een aandrijving met een van de 200 windturbines (200x5MW = 1000 MW) van de minimumvariant TNW bedraagt in 2020 0,043 per jaar, ofwel een incident eens in de 23,2 jaar. Eens in 453 jaar wordt daarbij een uitstroom van olie verwacht van gemiddeld 2086 m<sup>3</sup>. Deze resultaten zijn de gemiddelde waarden uit de berekeningen voor 241 windturbines van 5 MW, dus 1205 MW die geplaatst was in de minimumvariant TNW.
- De kans op een aanvaring of een aandrijving met 200 windturbines (200x5MW =1000 MW) geplaatst in de maximumvariant van TNW in 2020 is gemiddeld 0,0524 per jaar, ofwel een incident eens in de 23,2 jaar. Eens in 409 jaar wordt daarbij een uitstroom van olie verwacht van gemiddeld 2101 m<sup>3</sup>. Deze resultaten zijn de gemiddelde waarden uit de berekeningen voor 312 windturbines van 5 MW, dus 1560 MW die geplaatst was in de maximumvariant TNW.
- Het risico van de top 10 windturbines is bij de maximumvariant 2,4 keer zo groot als bij de minimumvariant in 2008 en 2,6 keer zo groot in 2020, doordat de meest westelijke windturbines bij de maximumvariant dichterbij het passerende verkeer staan.
- De overgang van de verkeersdatabase van 2008 naar 2020 heeft ook een risico verhoging voor de top 10 turbines tot gevolg, namelijk van 5% voor de minimumvariant en 16% voor de maximumvariant. Dit volgt bij vergelijken van het totaal van de risico's van de top 10 uit Tabel 6-4 tot en met Tabel 6-7).
- Bij overgang van de minimumvariant naar de maximumvariant in 2020 (uit Tabel 6-9) geldt dat:
  - de kans op een aanvaring door een routegebonden schip 3,41 keer zo groot wordt;
  - de kans op een aandrijving door een routegebonden schip met 11% toeneemt;
  - de kans op een aanvaring door een niet-routegebonden schip met 54% toeneemt;
  - de kans op een aandrijving door een niet-routegebonden schip met 16% toeneemt.

De toename van het risico komt vooral doordat de uitbreiding naar het westen heeft geleid tot een veel kortere passeerafstand voor de schepen vanuit het

verkeersscheidingsstelsel Vlieland naar Skagerrak. Deze route is zelfs iets naar westen verlegd.

Bij het niet-routegebonden verkeer zijn er twee tegengestelde effecten.

Het risico voor een individueel niet-routegebonden schip dat langs een windpark vaart, verandert nauwelijks, omdat de afstand van 500 m gelijk blijft. Het totale risico neemt toe doordat er meer verkeer naar net buiten het windpark wordt verplaatst. Door het grotere gebied zijn er echter meer interne windturbines met een heel laag risico (geldt niet voor TNW), waardoor het risico voor veel meer turbines laag blijft. Na sommatie van het risico over alle windturbines blijkt dit laatste effect groter te zijn dan het eerste, waardoor het gemiddelde risico per windturbine kleiner is. Doordat bij TNW de uitbreiding van de minimum naar de maximumvariant een smalle strook met windturbines betreft, is de afscherming van de binnenste windturbines minder groot dan bij andere windgebieden. Het risico voor het niet-routegebonden verkeer neemt daarom hier toe.

- Bij overgang van het verkeer van 2008 naar het verkeer van 2020 geldt dat:
  - de kans op een aanvaring door een routegebonden schip bij de minimumvariant met 10% toeneemt en bij de maximumvariant met 31%;
  - de kans op een aandrijving door een routegebonden schip in beide varianten met 13% toeneemt;
  - de kansen voor het niet-routegebonden verkeer niet veranderen omdat de niet-routegebonden database onveranderd is gebleven.
- Uit een vergelijking van de risico's voor de scheepvaart van windgebied TNW met andere locaties blijkt dat windgebied TNW qua scheepvaartveiligheid een van de meest geschikte gebieden is voor het bouwen van windparken.

### **Uitgangspunten en slotopmerkingen**

Bij gemaakte aannamen voor het uitvoeren van de berekeningen is, indien nodig, steeds uitgegaan van een worst-case benadering. Hieronder valt ook de aanname dat het verkeer vanuit het Vlieland verkeersscheidingsstelsel direct koerst naar Skagerrak en vice versa. De laatste jaren is te zien dat steeds meer schepen eerst vanuit het Vlieland stelsel meer noordwaarts door de daartoe bestemde opening in de diepwaterroute ("Friesland Junction") varen en daarna pas koers zetten naar Skagerrak. Hetzelfde geldt voor de omgekeerde route van Skagerrak naar het Vlieland stelsel. Waarschijnlijk is dit gedrag het effect van de invoering van AIS en monitoring van het scheepvaartverkeer.

Bij de berekening van de kansen is aangenomen dat een driftend schip niet wordt geremd door een windturbine. Een driftend schip kan dus meerdere windturbines raken voordat de storing wordt verholpen of externe hulp arriveert.

Bij de berekeningen is geen rekening gehouden met mogelijke interventie van een sleepboot die een aandrijving kan voorkomen. Een ETV is de beste risico-reducerende maatregel met betrekking tot het voorkomen van een aandrijving met een windturbine.

Bij gelijkblijvend geïnstalleerd vermogen zal het risico toenemen bij gebruik van windturbines met een kleiner vermogen dan 5 MW en afnemen bij gebruik van windturbines met een groter vermogen. Het risico is min om meer evenredig met het aantal windturbines.

Bij het bepalen van de kans op een uitstroom van olie is ook een conservatieve benadering gevolgd door aan te nemen dat er in de scheepshuid een gat ontstaat in de bij alle schepen die tegen een windturbine aandrijven en groter zijn dan 1000GT, dus ook een gat in de ladingtank van dubbelwandige tankers. Dit zijn bijna alle routegebonden schepen.

Er wordt aangenomen dat de niet-routegebonden schepen die in het gebied van het windpark opereren, na bouw van het windpark vlak bij het windpark opereren. Dit is een "worst case" benadering omdat ze zich in de praktijk over een groter gebied zullen verspreiden. Wanneer echter de ruimte steeds meer beperkt gaat worden voor het niet-routegebonden verkeer, dan zal dit verkeer zich steeds meer gaan mengen met het routegebonden verkeer waardoor de kans op een aanvaring tussen een routegebonden schip en een niet routegebonden schip gaat toenemen. Dit aspect is tot op heden niet meegenomen omdat het effect hiervan niet groot zal zijn en onvoldoende bekend is wat het effect van een windpark op het niet routegebonden verkeer zal zijn. Bovendien blijkt uit alle berekeningen dat er meer incidenten met de windturbines te verwachten zijn dan incidenten buiten de windparken. Echter bij windgebieden van de grootte richting de maximumvariant mag dit niet langer onderbelicht blijven.

Belangrijk hiervoor is de vraag of medegebruik van de ruimte van een windpark door kleine scheepvaart en visserij van de windgebieden mogelijk is. In de NRD [1] is opgenomen dat dit in een afzonderlijk traject zal worden onderzocht.

## REFERENTIES

- [1] Ministerie van Infrastructuur en Milieu  
Windenergiegebieden op zee, Notitie Reikwijdte en Detailniveau (NRD)  
april 2013
- [2] C. van der Tak  
Verkeerseffecten Windparken  
MARIN, rapport 23601.620/4, 18 december 2009
- [3] C. van der Tak  
Quantitative Risk Assessment for offshore wind farms in the North Sea,  
MARIN, report 23601.621 May 3, 2010
- [4] Routeing of ships, ship reporting and related matters. Report on the safety  
assessments for the proposed route structure on the North Sea off the Coast of  
the Netherlands, IMO/NAV 58/INF.2, 29 March 2012
- [5] C. van der Tak  
Quantitative Risk Assessment for the proposed route structure in the North Sea,;  
MARIN, report 25648-1-MSCN-rev.2, November 30, 2011

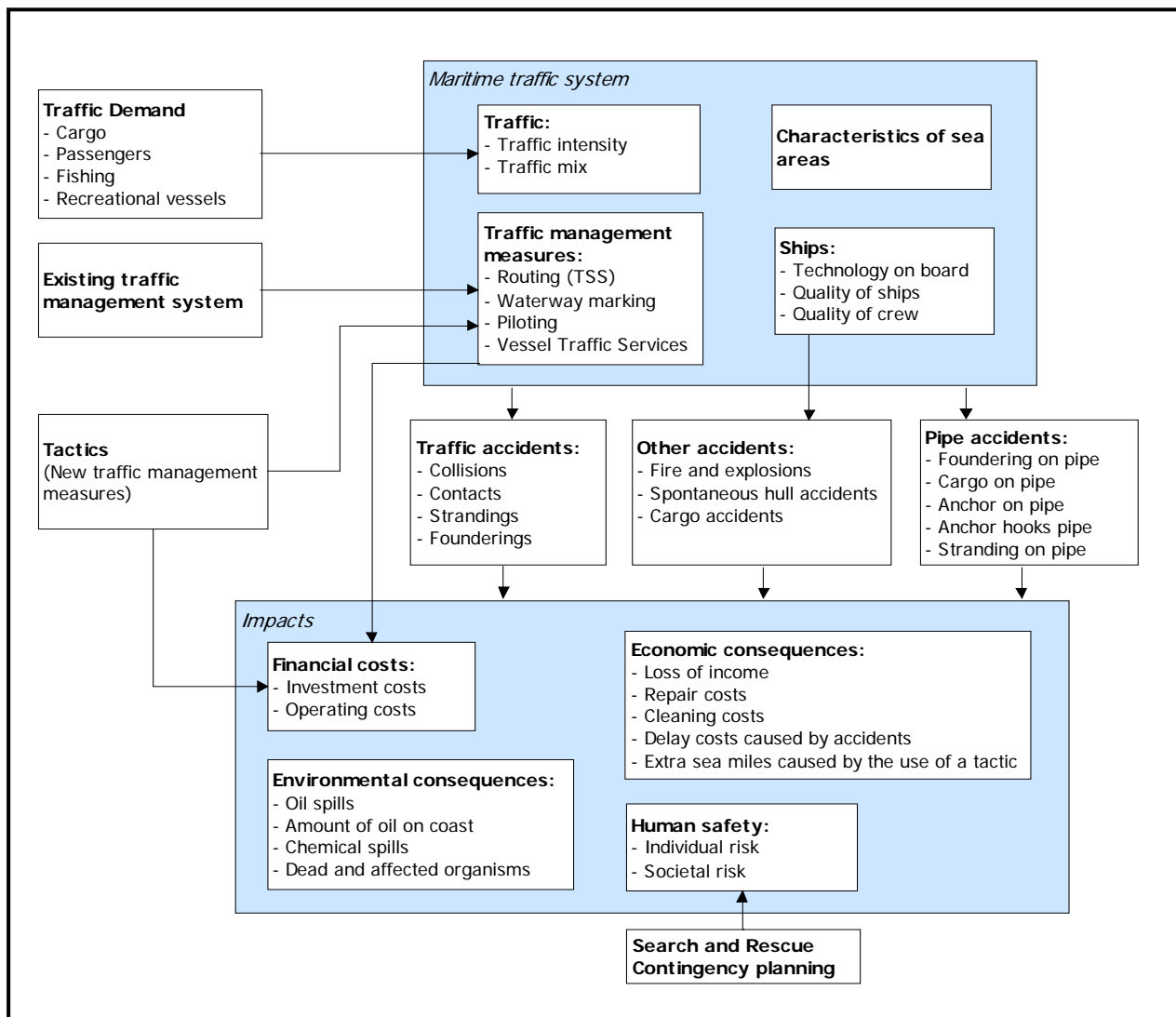
## BIJLAGE A: BESCHRIJVING SAMSON-MODEL

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;
- Omgevaren 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 [6]. In de executive summary van POLSSS, Policy for Sea Shipping Safety [7], wordt beschreven op welke wijze SAMSON gebruikt is om de kosten en gevolgen van een groot aantal beleidsmaatregelen te voorspellen. Het model is in de afgelopen 25 jaar continu verder uitgebouwd en verbeterd gedurende studies voor de overheid, in Europese research projecten en bij de uitvoering van commerciële projecten.

In Figuur A- 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 ongevalsfrequentie te voorspellen gebaseerd op het verkeersbeeld. Het grote blok "Impacts" bevat de sub-blokken waarmee de consequenties bepaald worden van de ongevallen.



Figuur A-1 SAMSON; systeem diagram

De modelparameters zijn bepaald uit analyse van de wereldwijde ongevalendatabse van 1990-2006 van Lloyds' Register Fairplay.

Daar waar mogelijk, zijn steeds de uitkomsten van SAMSON vergeleken met de gevonden waarden uit historische ongevalsdata bases. Steeds werd een goede overeenkomst gevonden, wat vertrouwen geeft in toepassing van het model in gebieden waar wegens gebrek aan data geen validatie kan plaatsvinden.

Het SAMSON-model is uitermate geschikt om te worden toegepast voor ongevalsvoorspellingen in een veranderende situatie. Dit komt omdat het model het aantal ongevallen voorspelt op basis van "exposures", zijnde gevaarlijke situaties die optreden bij de afwikkeling van het scheepvaartverkeer. De "exposures" worden berekend op basis van de beschrijving van het scheepvaartverkeer, de scheepskarakteristieken en het vaargebied. De ongevalscasuïstiek is gebruikt voor het bepalen van het verband tussen de "exposures" en het aantal ongevallen. Dit verband is ondergebracht in de modelparameters van de ongevalskansmodellen. Door toepassen van het SAMSON-model op een nieuwe in modeltermen beschreven situatie wordt het aantal ongevallen dat verwacht kan worden in de nieuwe situatie bepaald.



SAMSON voorspelt het aantal ongevallen en de gevolgen van de ongevallen op basis van de volgende beschrijving van de afwikkeling van de scheepvaart. Het verkeersmodel bevat:

- Scheepvaartroutes (links). Beschrijving van begin- en eindpunten van links.
- Scheepskarakteristieken per cel van de scheepsmatrix (lengte, breedte, diepgang, GT, DWT, lay-out lading tanks en bunkertanks etc.). De scheepsmatrix voor routegebonden schepen (koopvaardischepen) bevat 36 scheepstypen en 8 scheepsgrootte klassen en het niet routegebonden verkeer is onderverdeeld naar werkvaart, visserij (varend en vissend), suppliers en recreatie.
- Intensiteiten:
  - Voor routegebonden schepen (koopvaardischepen) het aantal passages per link per jaar in iedere matrix cel.
  - Voor niet routegebonden schepen (werkvaart, visserij, supplyvaart en recreatie) de dichtheid aan schepen in een gebied per matrix cel.
- Laterale verdeling van de scheepvaart varende over een link.
- Een beschrijving van het vaargebied. Kustlijn en strandingslijnen.

In het huidige SAMSON-model is het scheepvaartverkeer voor 1987, 1995 en 2000, 2004 en 2008 beschreven op basis van alle scheepsbewegingen over de Noordzee in het beschouwde jaar. Deze informatie is van Lloyd's Marine Intelligence Unit gekocht en verwerkt.

Het SAMSON-model bevat modellen die de ongevalskansen bepalen voor de volgende ongevalstypen:

- Schip – schip (beide varend)
- Schip – ankerligger (aanvaring waarbij het aangevaren schip voor anker ligt)
- Schip – platform (een schip dat tegen een platform aanvaart of aandrijft)
- Schip – pier (een schip dat tegen een pier, havenhoofd of andere constructie aanvaart of aandrijft)
- Schip dat zinkt (door schuiven van lading, of doordat spontaan een lek ontstaat door de slechte conditie waarin het schip verkeert al dan niet in combinatie met slechte weersomstandigheden)
- Schip dat strandt / vastloopt op de grond.
- Brand of explosie aan boord van een schip.
- Het incident dat een schip een storing krijgt, waardoor het niet meer in de hand te houden is en op drift raakt, waarbij een van de hierboven genoemde gebeurtenissen kan optreden.

Voor ieder van de bovengenoemde typen kan de ongevalsfrequentie in een bepaald gebied op zee bepaald worden en een schatting worden gegeven van de kans op een uitstroom. Alle frequenties worden gegeven verdeeld over scheepstypen en scheepsgroottes. De verdeling over de scheepstypen en groottes wordt vooral gebruikt in de vervolgberekeningen om de consequenties van de gebeurtenissen te bepalen in termen van doden, schade aan schip, mogelijk verlies van een platform, windmolen of ander object. Deze vervolgberekeningen zitten niet in de schil van SAMSON maar bepalen wel mede de kracht van SAMSON.

Verder bevat SAMSON een mogelijkheid om bepaalde grootheden aan een scheepstype en grootte te koppelen. Deze optie wordt gebruikt voor het berekenen van emissies naar lucht en water.

### 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 type 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 navigatie fout, 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.

### **Toepassingen**

Het SAMSON is inmiddels gebruikt in een groot aantal verschillende studies, waaronder:

- Ten minste 25 aanvaarrisico studies voor offshore platforms;
- Ten minste 30 safety assessment studies voor mogelijke locaties voor offshore windparken in de Nederlandse, Duitse, Belgische en Franse sector;
- Safety assessment studie voor de aanpassing van het scheidingsstelsel bij de aanloop naar Rotterdam;
- Verschillende risicostudies voor afgemeerde schepen, waarbij gekeken is naar de aanvaarkansen door passerende schepen;
- Capaciteitsstudie voor SAR (Search and Rescue) op het Nederlandse Continentaal Plat;
- Capaciteitsstudie voor sleepboot- en bergingscapaciteit op het Nederlandse Continentaal Plat;
- Bijdrage aan de capaciteitsstudie voor de oliebestrijding op de Noordzee, waarbij de kans, het volume en de locatie van een mogelijke olieuitstroom bepaald is;
- Effect van de verdieping van de Westerschelde;
- Verschillende QRA-studies voor de aanlanding van LNG voor verschillende havens (Ferrol (Spanje), Rotterdam (twee studies), Eemshaven, Goldboro (Canada), Le Verdon (Frankrijk), Zeebrugge (België)).

### **Referenties**

- [6] C. van der Tak, J.H. de Jong  
Safety Management Assessment Ranking Tool (SMART)  
8<sup>th</sup> International Symposium on Vessel Traffic Services 1996
- [7] 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
- [8] W.H. van Iperen, Y. Koldenhof, C. van der Tak  
Technical Documentation SAMSON  
MARIN 18591.620/TECH\_DOC/2, 18591.620, June 2009