

K. BEREKENING VAN DE VERSTORING VAN DE WALRADARTE IJMUIDEN

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium, 1999

1. Inleiding

In opdracht van Haskoning Consulting Engineers and Architects is onderzoek uitgevoerd naar de invloed die windturbines hebben op de radarsystemen te IJmuiden. In dit onderzoek zijn de volgende punten beschouwd:

- schaduwwerking ten gevolge van een windturbine;
- schaduwwerking van meerdere windturbines achter elkaar, tot een maximum van 10;
- het ontstaan van schijndoelen door reflectie aan de windturbines en de effecten van de vormgeving van de windturbines hierop;
- een overzicht van een aantal effect beperkende maatregelen.

In het onderzoek is gebruik gemaakt van bestaande software voor de berekening van de schaduwwerking. Deze software is ontwikkeld in opdracht van de Koninklijke Luchtmacht en gevalideerd aan de hand van metingen in het laboratorium en in het veld aan een bestaand windturbine park.

2. Gebruikte gegevens

Er worden twee varianten onderzocht. De eerste variant bestaat uit een vierkante plaatsing van 10 bij 10 windturbines van 1 MW. De hoogte van de mast van deze turbines bedraagt 50 m. en de onderlinge afstand bedraagt 400 m. De tweede variant betreft turbines van 1.5 MW, met een masthoogte van 60 m. en een onderlinge afstand van 560 m. De vierkante plaatsing bevat 8 bij 8 turbines. De voor de berekeningen van belang zijnde geometrische gegevens zijn weergegeven in tabel 2.1.

tabel 2.1: De geometrische gegevens van de windturbines zoals gebruikt in het onderzoek.

	Variant 1	Variant 2
Vermogen (per turbine) (MW)	1	1.5
Hoogte mast (m)	50	60
Diameter boven (m)	2.5	2.5
Diameter onder (m)	3.75	4.25
Gondel lengte (m)	5.5	6.5
Gondel hoogte (m)	3.0	3.5

Voor de berekeningen wordt er van uitgegaan dat de gondel niet transparant is en dat de rotorbladen geheel transparant zijn. Dit impliceert dat de rotorbladen geheel buiten beschouwing gelaten worden. Deze beide aannamen zijn realistisch, zoals is aangetoond met de validatiemetingen. In deze rapportage wordt eerst aandacht besteed aan een enkele windturbine van de beide varianten, waarna wordt ingegaan op de effecten als meerdere turbines achter elkaar geplaatst worden.

De gebruikte radarparameters zijn weergegeven in tabel 2.2.

tabel 2.2: De radarparameters zoals gebruikt in het onderzoek.

	Sensor bij IJmuiden	Sensor bij Zandvoort
hoogte boven NAP (m)	53	45
frequentie (GHz)	~9	~9
bundelbreedte hor. (°)	0.4	0.4
bundelbreedte vert. (°)	15	13

De sensoren in IJmuiden en Zandvoort zijn vrijwel gelijk voor wat betreft de parameters die van belang zijn voor de hier verrichte berekeningen. Resultaten van een berekening aan een van de sensoren zijn ook geldig voor de andere sensor. Het belangrijkste verschil is de hoogte van de sensor, voor de schaduwwerking maakt dit echter niet veel verschil. De diepte van de schaduw zal vrijwel gelijk zijn, alleen de richting van de schaduwkegel achter de windturbine verandert enigszins. De resultaten die in dit onderzoek worden gepresenteerd zijn bereikt door berekeningen aan de locatie IJmuiden II. Ze zijn evenwel ook geldig voor locaties Zandvoort en Katwijk, de afstand tussen de radar en een windturbine is in dit geval de bepalende factor.

3. Berekening van de schaduw ten gevolge van de windturbines

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de schaduw effecten die windturbines kunnen veroorzaken. In paragraaf 3.1 wordt gekeken naar een enkele windturbine en in paragraaf 3.2 wordt beschouwd wat het effect zal zijn als meerdere windturbines recht achter elkaar geplaatst worden.

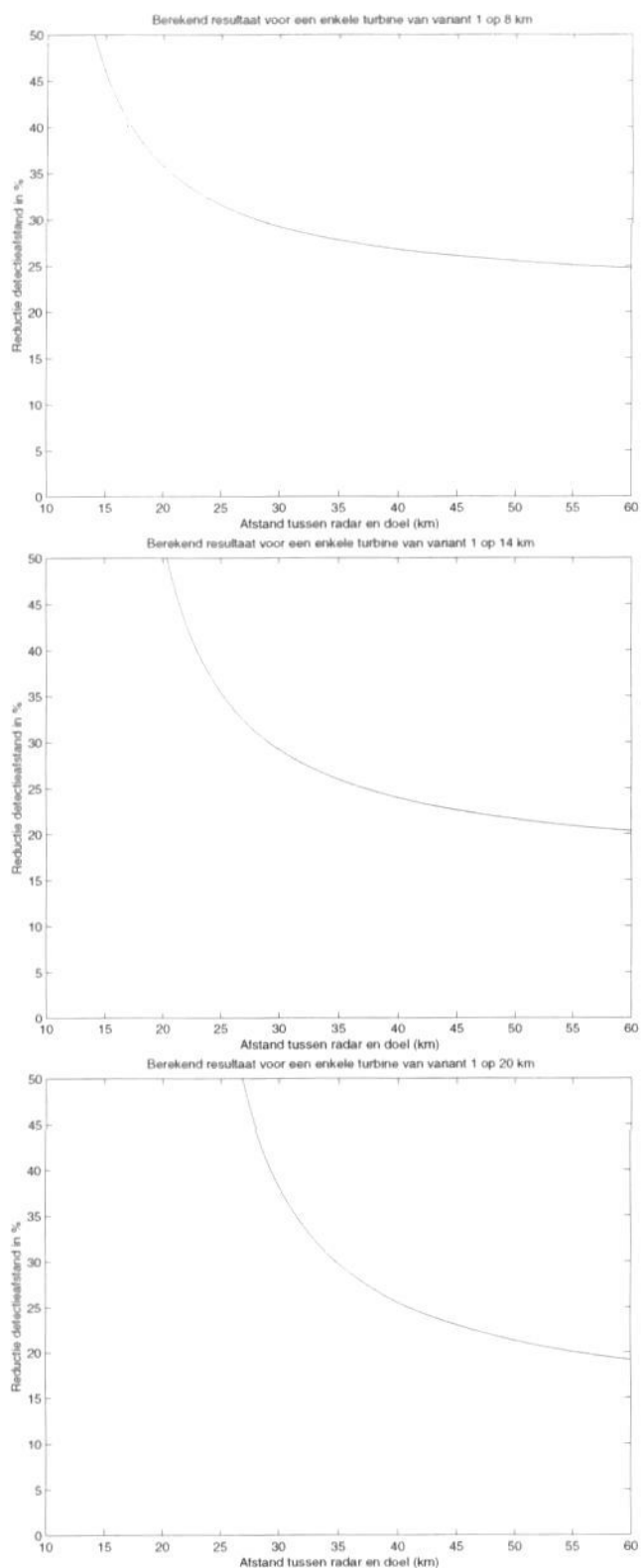
3.1 Schaduw achter een windturbine

Als elektromagnetische straling, zoals radarstraling, invalt op een obstakel wordt een deel ervan verstrooid in andere richtingen dan die van de originele straling. Hierdoor is de totale energie die zich in de originele richting voortplant geringer geworden, hetgeen zich uit als een schaduw achter het betreffende object. De diepte van de schaduw is afhankelijk van de afmetingen van het obstakel en de afmetingen van de invallende bundel ter plaatse. Het deel van de straling dat niet verstoord wordt zorgt er namelijk voor dat achter het obstakel toch energie terecht komt. Naarmate het obstakel groter is, zal meer van de oorspronkelijke straling worden tegengehouden. Hierdoor komt minder energie achter het obstakel terecht, hetgeen resulteert in een diepere schaduw. Ook voor kleine obstakels is een schaduw waarneembaar, omdat er altijd een deel van de energie wordt tegengehouden. De diepte van de schaduw is ook afhankelijk van de frequentie van de straling: hoe hoger de frequentie des te rechtlijniger zal de energie zich voortplanten langs een object. De diepte van de schaduw neemt dus toe naarmate de frequentie hoger wordt (voor een gelijk obstakel).

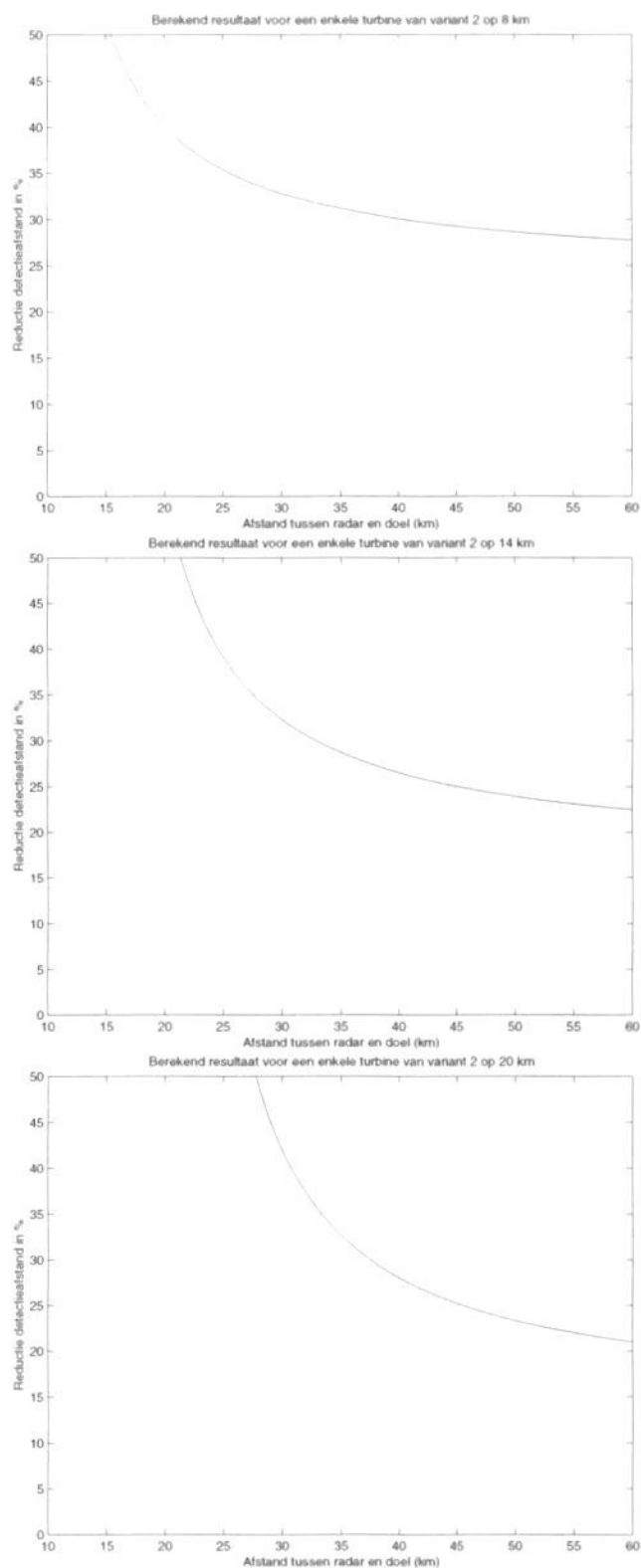
De in dit onderzoek gebruikte software maakt gebruik van het feit dat de radarstraling "om obstakels heenbuigt" en is dus alleen bruikbaar indien het obstakel slechts een deel van de invallende energie tegenhoudt. De kleinste afstand

tussen de radar en een windturbine bedraagt 8 km en de radarbundel heeft op die afstand een breedte van ongeveer 55 m. Aangezien de diameter van de turbines ongeveer 4 m. bedraagt is de bundel minimaal 13 maal zo groot als de turbine en kan het bestaande rekenprogramma gebruikt worden.

De resultaten van de schaduwberekeningen worden allemaal gegeven in rechthoekige grafieken met op de horizontale as de afstand tussen de radar en een doel en op de verticale as de procentuele reductie in detectieafstand van een doel. Deze reductie is het best aan de hand van een getallenvoorbeeld te verduidelijken. Als een doel in de ongestoorde situatie gedetecteerd wordt op 50 km en de reductie ten gevolge van een windturbine bedraagt 20%, dan zal het doel in de gestoorde situatie pas gedetecteerd worden op 40 km afstand. De reductie is afhankelijk van de afstand, omdat voor grotere afstanden achter de windturbine de schaduw minder diep is.



figuur 3.1: De berekende reductie op de as van de schaduwkegel achter een enkele windturbine van variant 1. De afstand tussen radar en windturbine verschilt per grafiek, 8 km, 14 km en 20 km van boven naar beneden.



figuur 3.2: Soortgelijke grafieken als in de vorige figuur, nu echter voor variant 2.

In figuur 3.1 en figuur 3.2 zijn de resultaten getoond van de berekening van de schaduw op de as van de schaduwkegel. Zoals verwacht wordt de reductie in detectieafstand minder naarmate de afstand van het doel groter wordt en naarmate

de afstand tussen radar en windturbine groter wordt. Het blijkt dat in het algemeen de reductie in detectieafstand op de as van de schaduwkegel tussen de 20% en 30% bedraagt voor de hier onderzochte turbines. Aangezien beide sensoren vrijwel dezelfde parameters hebben (zie tabel 2.2) gelden deze resultaten zowel voor de sensor in IJmuiden als voor de sensor in Zandvoort. De beoordeling of deze reductie aanvaardbaar is valt buiten het kader van dit onderzoek. In voorkomende gevallen kan een reductie in afstandsbereik van een radar acceptabel zijn, dit hangt voornamelijk af van de prestaties van de radar en het vereiste dekkingsgebied.

3.2 Schaduw door meerdere windturbines achter elkaar

Indien meerdere turbines achter elkaar geplaatst worden zal het schaduweffect verergeren. Dit komt omdat een tweede turbine op zijn beurt ook een deel van de straling verstrooit in andere richtingen, net als de eerste turbine. Het cumulatieve effect van meerdere turbines achter elkaar hangt onder meer af van de onderlinge afstand omdat de diepte van de schaduw achter een windturbine al afstandsafhankelijk is. Op zeer korte afstanden achter een windturbine, zoals in dit onderzoek het geval is, zal de verstoorde straling nog niet voldoende hersteld zijn om rechtstreeks de rekenwijze uit paragraaf 3.1 toe te passen. De schaduw zal enkele honderden meters achter een windturbine veel dieper zijn, met als direct gevolg dat het invallende veld op een volgend windturbine veel lager is dan op de eerste windturbine. De extra schaduw die de tweede windturbine veroorzaakt zal daarom lager zijn dan de schaduw van de eerste windturbine. Het effect is echter wel versterkend, de schaduw wordt altijd dieper als er meer windturbines achter elkaar staan.

In de huidige situatie geldt dat het relatieve vermogen op 400 m. achter de windturbine van variant 1 gemiddeld de helft van het invallende vermogen is. Dit verandert zeer sterk als functie van de afstand achter de windturbine. De relatieve afname van het veld ten gevolge van de tweede windturbine is gelijk aan die van de eerste windturbine. Het relatieve vermogen achter twee windturbines is dus:

$$P_r = P_{r1} - 0.5 * P_{r1} \quad (3.1)$$

waarin P_{r1} het relatieve vermogen voorstelt in de schaduw van een windturbine. Als er nog een derde windturbine geplaatst wordt zal het daarop invallende veld weer een factor 0.5 lager zijn, evenals de invloed van deze windturbine op de totale schaduw. Op deze wijze kan het relatieve vermogen in de totale schaduw berekend worden als functie van het aantal windturbines, het resultaat hiervan is gegeven in tabel 3.1.

Om aan te geven wat het effect zou zijn als de tweede windturbine op een plaats achter de eerste staat waar een diepere schaduw heerst wordt het resultaat van die berekening ook getoond.

tabel 3.1: De afname in detectieafstand op 60 km van de radar als meerder turbines van variant 1 recht achter elkaar staan gezien vanuit de radar. Het uitgangspunt hierbij is een enkele turbine op 14 km van de radar.

Aantal turbines	Afname detectieafstand in % (gemiddelde schaduwdiepte)	Afname detectieafstand in % (grote schaduwdiepte)
1	20	20
2	43	33
3	60	38
4	71	39
5	80	40
6	86	40
7	90	40
8	93	40
9	95	40
10	96	41

In tabel 3.1 is de totale reductie in detectieafstand gegeven als meerdere turbines recht achter elkaar geplaatst worden, gezien vanuit de radar. In de middelste kolom is uitgegaan van het gemiddelde vermogen op korte afstand achter een windturbine, in de rechter kolom is uitgegaan van een plaatsing waar het actuele vermogen veel lager is. Dit heeft tot gevolg dat de extra reductie in detectieafstand geringer wordt. Het is echter niet mogelijk om deze locaties door middel van berekeningen nauwkeurig te bepalen.

Om te verduidelijken waarom de totale reductie in de rechterkolom van de tabel minder is dan in de middelste kolom stellen we de radarstraling voor als licht. De schaduw van radarstraling is weliswaar anders dan die voor licht, maar voor de gedachten maakt dat niet uit. Direct achter de windturbine varieert de diepte van de schaduw zeer sterk met de afstand. Dit houdt dus in dat de intensiteit als functie van de afstand sterke pieken en dalen vertoont. Een grote schaduwdiepte kan dan gezien worden als een plaats waar weinig licht invalt. Als nu een tweede windturbine geplaatst wordt op een locatie met een grote schaduwdiepte, valt er dus maar weinig licht in op deze tweede windturbine. De hierdoor veroorzaakte extra schaduw zal dan ook maar gering zijn. Valt er echter veel licht op de tweede windturbine in, dan zal de extra schaduw structureel meetellen bij de totale schaduw.

Het uitgangspunt van de berekeningen in de tabel is een turbine van variant 1 op 14 km. De reductie in detectieafstand is gegeven voor een doel op 60 km van de radar. Voor de andere turbines gelden soortgelijke resultaten, dat wil zeggen dat de een soortgelijke reductie is te verwachten.

Uit de tabel blijkt duidelijk dat het plaatsen van meerdere windturbines op een rechte lijn gezien vanuit de radar ongunstig is en het verdient daarom aanbeveling dat er bij het inrichten van de locaties hiermee rekening gehouden wordt, zie ook 3.3.

3.3 De breedte van de schaduwkegel

Tot nu toe is alleen gesproken over de reductie in detectieafstand in het midden van de schaduwkegel. Deze reductie is aanzienlijk omdat de windturbines voor de hier gebruikte radars grote objecten zijn. Tevens is daarom het effect van meerdere windturbines achter elkaar zeer goed merkbaar. De breedte van de schaduwkegel achter een windturbine bedraagt ongeveer 0.01 rad. Dit houdt in dat de breedte van het schaduwgebied op ongeveer 0.01 maal de afstand tussen windturbine en doel bedraagt. Voor een aantal afstanden is dit weergegeven in tabel 3.2.

tabel 3.2: *De breedte van de schaduwkegel achter een enkele windturbine van variant I.*

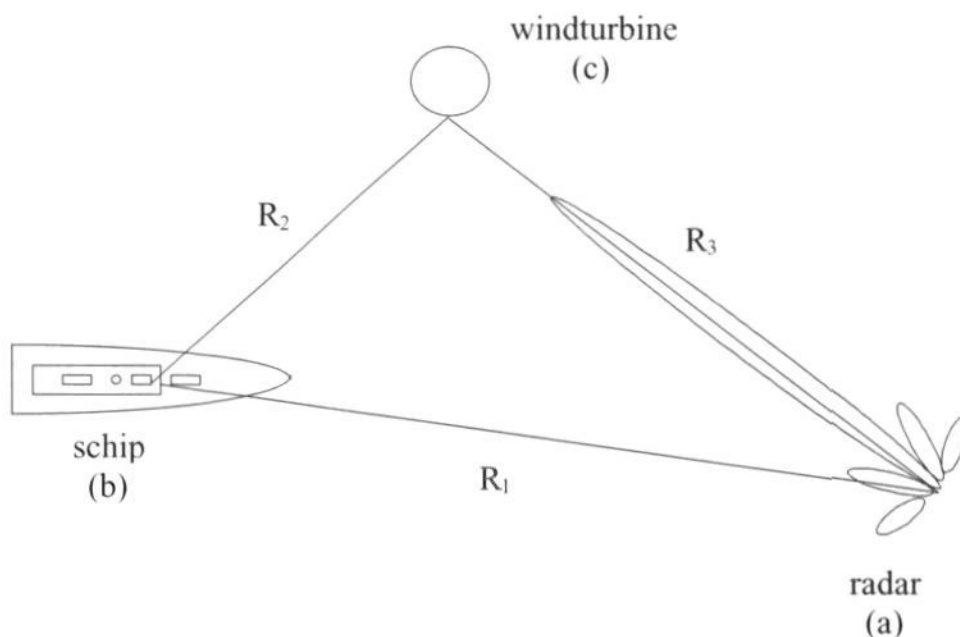
Afstand achter turbine (km)	Breedte schaduwkegel
20	200
30	300
40	400
50	500

De breedte van de schaduwkegel achter een windturbine kan gebruikt worden bij het ontwerpen van het inrichtingsplan.

4. Het optreden van schijndoelen

Met schijndoelen worden waarnemingen aangeduid die niet berusten op het bestaan van een werkelijk doel op die plaats. Een radar zendt straling uit in een bepaalde richting, de hoofdbundel, maar tevens in alle andere richtingen, de zijbundels. De energie in de zijbundels is veel lager dan de energie in de hoofdbundel, maar als een doel door een zijbundel belicht wordt, en de straling goed reflecteert kan de radar dat doel toch waarnemen. Echter de richting waarin dat doel wordt waargenomen komt overeen met de richting van de hoofdbundel op dat moment. Er is nu sprake van een schijndoel. De meeste radars zijn toegerust om deze schijndoelen niet als echte doelen waar te nemen, door middel van de zogeheten zijlusonderdrukking. Er wordt van uit gegaan dat de hier onderzochte radar beschikt over een methode van zijlusonderdrukking.

In het geval dat er een groot obstakel, zoals een windturbine, staat in de buurt van de radar en een echt doel kan er echter een ander reflectiepad optreden, zie figuur 4.1.



figuur 4.1: Een mogelijke reflectieweg die kunnen leiden tot het ontstaan van dubbele schijndoelen, a-c-b-a.

In de figuur is weergegeven via welke weg (behalve a-b-a) de radar het doel kan waarnemen. Het aldus ontstane schijndoel wordt waargenomen in de richting van de windturbine. Een andere weg waarbij dit effect optreedt is als de radar gericht is op het doel en er een extra reflectie optreedt aan de windturbine, dus a-b-c-a. In dit geval wordt het schijndoel waargenomen in de richting van het echte doel, maar op een grotere afstand. Deze soort schijndoelen, waarbij twee reflecterende objecten een rol spelen, wordt aangeduid als "dubbele schijndoelen".

De waarneming vindt dus plaats via een zijbundel, maar omdat bij het hele proces de hoofdbundel een rol speelt is het ontvangen vermogen groter dan in het geval van een normaal schijndoel. Het kan voorkomen dat de gewone zijlusonderdrukking niet afdoende is om deze dubbele schijndoelen te onderdrukken, dit hangt echter af van de reflectie van de straling aan de windturbine. De in figuur 4.1 weergegeven situatie suggereert namelijk dat alle invallende straling door de windturbine wordt gereflecteerd in de richting van het doel (en andersom), maar dit hangt nog af van de geometrie van de windturbine zelf. De hier onderzochte windturbines hebben een conische vorm, de diameter aan de bovenzijde is kleiner dan aan de onderzijde. Hierdoor wordt de op de turbine invallende straling niet gereflecteerd in het vlak van de tekening (figuur 4.1), maar schuin omhoog afgebogen, hetgeen bijdraagt aan het verminderen van het optreden van dubbele schijndoelen.

In bijlage A is berekend wat in de situatie van figuur 4.1 het ontvangen vermogen is ten gevolge van een dubbel schijndoel in verhouding tot het ontvangen vermogen van een gewoon schijndoel. Daartoe is onder andere gebruik gemaakt van de volgende afstanden (zie figuur):

$R_1 = 8000$ m, $R_2 = 500$ m en $R_3 = 8000$ m.

er blijkt dan dat het ontvangen vermogen ten gevolge van een dubbel schijndoel 8 maal zo hoog is als het ontvangen vermogen ten gevolge van een gewoon schijndoel, zie bijlage A. Dit betekent dat in deze situatie een radar met

zijlsonderdrukking (waardoor gewone schijndoelen worden onderdrukt) toch dubbele schijndoelen kan waarnemen.

Om ervoor te zorgen dat de verhouding tussen deze vermogens lager wordt, zodat de gewone zijlsonderdrukking afdoende is om de dubbele schijndoelen ook te onderdrukken, is het meest voor de hand liggend om de afstand tussen schip en windturbine (R_2) groter te maken. Bij een minimale afstand van 1400 m is dit het geval. Indien schepen op grotere afstand blijven zal het ontvangen vermogen als gevolg van het optreden van een dubbel schijndoel lager zijn dan dat als gevolg van een gewoon schijndoel.

5. Effect beperkende maatregelen

Uit de bevindingen in dit onderzoek zijn een aantal effect beperkende maatregelen te definiëren.

Schaduwwerking.

De in dit onderzoek berekende schaduw, in paragraaf 3.1 en 3.2, geldt op een lijn vanuit de radar, behalve waar gesproken wordt over de breedte van de schaduwkegel. Als een extra sensor gebruikt zou worden op een andere locatie, dan zal deze eveneens last hebben van schaduwwerking. Echter, de schaduw voor de tweede sensor zal een andere richting hebben dan die van de eerste sensor. In het algemeen zal een doel niet tegelijkertijd in de schaduw van beide sensoren zijn. Dit is echter afhankelijk van de locaties van de sensoren en de locaties van de windturbines.

In het hier verrichte onderzoek is reeds sprake van twee sensoren, namelijk te IJmuiden en te Zandvoort. Als de waarnemingen van beide sensoren worden gebruikt voor de dekking van hetzelfde gebied is het in principe mogelijk dat de berekende effecten minder worden.

Het is ook mogelijk om een extra sensor te plaatsen achter het gebied waar de windturbines staan. Als de waarnemingen van deze extra sensor gebruikt kunnen worden voorkomt dit dat in het achterliggende gebied hinder ondervonden wordt van de schaduw van de windturbines.

De extra schaduwwerking van meerder windturbines achter elkaar kan verminderd worden door de windturbines zoveel mogelijk uit elkaar te plaatsen. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van de breedte van de schaduwkegel achter een windturbine. Er moet dan voor iedere inrichtingsvariant gezocht worden naar een invulling waarbij voor geen enkele invalrichting een windturbine in de schaduwkegel van een andere windturbine staat.

Dubbele schijndoelen

Om het waarnemen van dubbele schijndoelen te voorkomen moeten de schepen een grotere afstand houden van de windturbines. Een afstand van 1400 m is voldoende om het waarnemen van dubbele schijndoelen te voorkomen, aangenomen dat de radar beschikt over zijlsonderdrukking om gewone schijndoelen te onderdrukken.

6. Overige radars

Naast de in dit onderzoek beschouwde radars kunnen ook andere radars in hun prestaties belemmerd worden door aanwezige windturbines. Met name de radars op schepen vallen onder deze categorie. Ook voor deze radars kunnen schijndoelen optreden en zal er achter iedere windturbine een schaduwkegel ontstaan. Het is echter niet kwantitatief vast te leggen in welke richting of in welke grootte deze effecten zullen optreden, gelet op het feit dat deze radars inherent mobiel zijn en de verschillende mogelijke radarparameters. In het algemeen echter zal voor scheepsradars die op ongeveer dezelfde frequentie werken als de hier onderzochte radars, het schaduweffect van dezelfde orde grootte zijn als voor de hier onderzochte radars.

7. Conclusies

Er is onderzoek verricht naar de invloed die windturbines kunnen hebben op de werking van de radarsystemen te IJmuiden. Er zijn twee sensoren onderzocht en twee soorten windturbines. De volgende effecten zijn onderzocht:

- schaduwwerking ten gevolge van een windturbine;
- schaduwwerking van meerdere windturbines achter elkaar, tot een maximum van 10;
- het ontstaan van schijndoelen door reflectie aan de windturbines en de effecten van de vormgeving van de windturbines hierop.

Uit dit onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- De windturbines van variant 1 en variant 2 kunnen een schaduw veroorzaken die een reductie van detectieafstand tot gevolg heeft tussen de 20% en 30%. Een en ander is afhankelijk van de variant en van de afstand tussen de radar en de windturbine. De reductie zal nog verder afnemen indien de afstand tussen de radar en de windturbine groter gemaakt wordt.
- De breedte van het schaduwgebied achter een turbinepark, op een vaste afstand van de radar, zal ook afnemen naarmate het gehele park verder van de radar af geplaatst wordt.
- Ongunstige plaatsing van de windturbines (recht achter elkaar gezien vanuit de radar) resulteert in een zeer diepe schaduw. Het is niet mogelijk om door middel van berekening een gunstige plaatsing op een rechte lijn te bepalen.
- Bij de bepaling van de locaties waar de windturbines geplaatst gaan worden moet rekening gehouden worden met het feit dat meerdere windturbines achter elkaar een diepere schaduw veroorzaken dan een enkele windturbine. Om dit effect te voorkomen dient geen enkele windturbine in de schaduwkegel van een andere geplaatst te worden.
- Dubbele schijndoelen kunnen worden waargenomen door de radars door extra reflecties aan de windturbines. Als de radars beschikken over zijlusionderdrukking worden deze dubbele schijndoelen eveneens onderdrukt als een minimale afstand van 1400 m tot de windturbines wordt aangehouden.

- Het schaduweffect zou verminderd kunnen worden als de waarnemingen van de sensoren te IJmuiden en te Zandvoort worden gecombineerd en de uiteindelijke plaatsing van de windturbines hiervoor geschikt is. Dit geldt tevens indien er een extra sensor geplaatst zou worden achter de windturbines. Noch de combinatie van de waarnemingen, noch de plaatsing van de windturbines is onderwerp van dit onderzoek geweest.

Bijlage A Berekening van het ontvangen vermogen ten gevolge van een dubbel schijndoel

In deze bijlage wordt de verhouding berekend tussen het ontvangen vermogen ten gevolge van een dubbel schijndoel en het ontvangen vermogen ten gevolge van een gewoon schijndoel. Aan de hand van deze verhouding kan bepaald worden of een dubbel schijndoel onderdrukt zal worden indien er sprake is van zijlusonderdrukking in de gebruikte radar.

De mate waarmee de invallende straling wordt gereflecteerd wordt aangeduid met de radardoorsnede van het object, met het symbool σ . Om een schatting te maken in hoeverre dubbele schijndoelen waargenomen kunnen worden berekenen we eerst het ontvangen vermogen in de radar voor een gewoon schijndoel. We gaan daarbij uit van de situatie als in figuur 4.1, waarbij we de windturbine buiten beschouwing laten. Het schip wordt dus via een zijbundel belicht door de radar, de gevolgde weg is dus a-b-a. Het ontvangen vermogen door de radar volgt uit:

$$P_s = \frac{P_t G_t}{4\pi R_1^2} \frac{\sigma_s}{4\pi R_1^2} \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \frac{1}{L_s^2} \quad (\text{A.1})$$

waarin P_s het ontvangen vermogen ten gevolge van een schijndoel betekent, G antenneversterking in de hoofd-lus, R_1 de afstand is tussen radar en doel, λ de golflengte van de radarstraling, L_s de verhouding tussen de versterking in de hoofd-lus en de zijlus en σ_s de radardoorsnede van het schip. De suffices t en r duiden op zenden en ontvangen. Vergelijking A.1 is terug te vinden in verscheidene radar handboeken en wordt hier niet verder toegelicht. Zonder deze vergelijking verder numeriek uit te werken beschouwen we eerst de weg waarbij het schijndoel op kan treden zoals dat in de figuur is aangegeven, dus volgens de weg a-c-b-a en de weg a-b-c-a. Het ontvangen vermogen wordt dan:

$$P_{ds} = 4 \frac{P_t G_t}{4\pi R_1^2} \frac{\sigma_{s\phi}}{4\pi R_2^2} \frac{\sigma_{T\phi}}{4\pi R_3^2} \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} \frac{1}{L_s} \quad (\text{A.2})$$

P_{sd} is hier het ontvangen vermogen ten gevolge van een dubbel schijndoel en de extra suffix ϕ bij σ betekent dat het hier gaat om de radardoorsnede in een andere richting dan de invallende straling.

Het belangrijkste verschil treedt op omdat er nu sprake is van twee reflecties, eenmaal aan het schip en eenmaal aan de windturbine, dit verklaart de factor 4 ten opzichte van de eerdere vergelijking. Door nu beide vergelijkingen door elkaar te delen verkrijgen we de verhouding tussen de vermogens die ontvangen worden in beide situaties:

$$\frac{P_{ds}}{P_s} = 4 \frac{\sigma_{s\phi}}{R_2^2} \frac{R_1^2}{\sigma_s} \frac{\sigma_{T\phi}}{4\pi R_3^2} L_s \quad (\text{A.3})$$

Vervolgens nemen we aan dat de reflectie van het schip in alle richtingen ongeveer gelijk is, hetgeen voor een complex object reëel is. Dit betekent dat σ_s en $\sigma_{s\phi}$ aan elkaar gelijk gesteld worden. R_2 en R_3 kiezen we minimaal en R_1 kiezen we zodanig dat het schip naast de windturbine is. Hieruit volgt: $R_1 = 8000$ m, $R_2 = 500$ m en $R_3 = 8000$ m. L_s is de verhouding tussen de antenneversterking in de hoofdbundel en de hoogste zijbundel en deze bedraagt 630, gebaseerd op de hoogste zijbundel.

De belangrijke term is nu de reflectie van de windturbine. Met een op het FEL ontwikkeld programma is de radardoorsnede van de windturbine berekend in de gewenste richting. Door de vorm van de windturbine wordt de meeste straling licht omhoog gereflecteerd, over een hoek van 1° . Omdat het schip zeer dichtbij de windturbine is spelen er nog twee effecten.

Ten eerste zal een deel van de gereflecteerde straling het schip nog kunnen raken en ten tweede is de radardoorsnede van de windturbine kleiner dan op grote afstand. Naar aanleiding van de berekening van de radardoorsnede en de twee genoemde effecten wordt voor $\sigma_{T\phi}$ 10.000 m^2 aangenomen.

Vullen we deze waarden in in vergelijking A.3 dan volgt:

$$\frac{P_{ds}}{P_s} = 8.0 \quad (\text{A.4})$$

Dit houdt dus in dat het ontvangen vermogen door het dubbele schijndoel 8 maal zo hoog is als het ontvangen vermogen van een gewoon schijndoel.



L. AKOESTISCH ONDERZOEK

HASKONING, 1999

1. Samenvatting

Oriënterende metingen zijn uitgevoerd aan een windturbine van Windmolenpark Irene Vorrink te Lelystad. Aanleiding voor de metingen is een MER rapportage waarin de milieu-effecten van het plaatsen van windturbines in de Noordzee worden onderzocht.

Gemeten zijn trillingsniveaus in de voet van de fundatie van een windturbine met een nominaal vermogen van 600 kW en geluiddrukkniveaus in het water op diverse afstanden van de windturbine.

Uit de meetresultaten blijkt dat het trillingsniveau dat door de windturbine wordt gegenereerd in de fundatie relatief laag is bij een productie van maximaal 30% van het nominale vermogen van 600 kW. Als gevolg hiervan is het door de fundering van de windturbine afgestraalde onderwatergeluid eveneens relatief gering. Onder de meetomstandigheden is het geluid van de windturbines niet meer waarneembaar in het gemeten achtergrond geluidsdrukkniveau vanaf een meetafstand van 90 m.

De navolgende totale geluiddrukkniveaus, afgerond op gehele getallen, zijn op diverse afstanden gemeten:

Afstand tot de fundatie (m)	L_p (dB Re 1 μ Pa)
1,2	139
8	126
14	124
90	134
260	129
410	129

Tabel 1: Totaal geluiddrukkniveau L_p onder water op een diepte van 2 m op diverse afstanden van een windturbine. Weergegeven zijn de gesommeerde niveaus over de tertsbanden van 10 Hz tot en met 10.000 kHz.

Benadrukt moet worden dat het uitgevoerde onderzoek ernstig werd belemmerd door de omstandigheid dat tijdens de uitvoering van de metingen de windturbine slechts lage vermogens leverde.

2. Inleiding

In opdracht van de *Nederlandse onderneming voor energie en milieu* (Novem) zijn oriënterende geluid- en trillingsmetingen uitgevoerd aan een windturbine van het Windmolenpark Irene Vorrink, gelegen in het IJsselmeer nabij Lelystad. Aanleiding voor de metingen is het opstellen van een MER rapportage waarin de milieueffecten van het plaatsen van windturbines in de Noordzee worden onderzocht. Het doel van het nu uitgevoerde onderzoek is het leveren van informatie met betrekking tot het onderwatergeluid vanwege windturbines in het water.

Het op te richten windpark waarop de genoemde MER betrekking heeft, zal bestaan uit windturbines met een groter elektrisch vermogen (minimaal 1 MW) dan de windturbine waaraan nu onderzoek is uitgevoerd (600 kW).

Omdat er tot op heden geen enkele informatie met betrekking tot het onderwater geluid in relatie tot windturbines beschikbaar was, is het nu uitgevoerde onderzoek verkennend van aard.

Bij het voorliggende onderzoek is aangenomen dat het door de windturbine opgewekte luchtgeluid niet van invloed is op het geluid onder water. Ook is aangenomen dat trillingen in de bodem dusdanig zwak zijn dat deze geen bijdrage leveren aan het onderwater geluid. Op basis van deze aannames wordt dus al het onderwatergeluid vanwege de windturbine veroorzaakt door trillingen in dat deel van de fundering dat in het water staat.

De metingen zijn uitgevoerd op windturbine unit 12 op woensdag 14 april en donderdag 15 april 1999.

Gemeten zijn trillingsniveaus in de voet van de fundatie van een windturbine en geluidsdrukkniveaus in het water op enige afstand van de windturbine.

2. Omstandigheden en omgeving

Het windmolenpark Irene Vorrink ligt in het IJsselmeer aan de dijk, tussen Houtribhoek en de Ketelbrug, evenwijdig aan de A6 Lelystad - Emmeloord. Het windmolenpark bestaat uit 28 windturbines. De turbines zijn van het fabrikaat Nordtank, windturbine type NTK 600/43. Ze staan in het water op een afstand van ongeveer 25 meter uit de dijken zijn bereikbaar via een loopbrug en voorzien van een bordes rondom.

De waterdiepte ter plaatse is 4,2 meter. De toplaag (ongeveer 5 centimeter) van de bodem bestaat uit lichte zavel met keileem. Na de toplaag bestaat de bodem over een diepte van ongeveer 80 centimeter uit lichte zavel. In het onderzoeksgebied bevinden zich zandwinputten.

In het algemeen wordt water met een diepte van minder dan 200 meter akoestisch beschouwd als ondiep water. Water met een diepte van meer dan 2000 meter wordt beschouwd als akoestisch diep water.

De windturbine waaraan de metingen zijn verricht, heeft een nominaal vermogen van 600 kW bij een generatortoerental van 1500 omw/min. De generator wordt via een tandwielkast door de rotor aangedreven. De (vaste) overbrengverhouding bedraagt 1:55,806. Indien stroom wordt geleverd (dat is bij windsnelheden vanaf 4 m/s) bedraagt het toerental van de rotor 27 omw/min. Dat rotortoerental, en dus ook het generatortoerental, is dan constant. Bij windsnelheden lager dan 4 m/s kan het voorkomen dat de rotor wel draait, maar dat is dan in vrijloop. Dan wordt dus geen stroom geleverd. De rotor, bestaande uit 3 bladen, heeft een diameter van 43 m. De gondelhoogte bedraagt 50 m.

De windturbines zijn elk gefundeerd op een enkele stalen buispaal, een zogenaamde monopaal. Deze holle monopalen staan ongeveer 18 meter in de bodem van het IJsselmeer.

Tijdens de uitvoering van de metingen bedroeg de watertemperatuur 8,4°C. De wind was variabel (tussen 0 en 7 m/s). Hierdoor werd het onderzoek sterk belemmerd. De genoemde windsnelheden hadden namelijk tot gevolg dat de windturbine waaraan werd gemeten tot ten hoogste 30 % van het volle vermogen van 600 kW leverde.

3. Gebruikte meetapparatuur en toegepaste meetmethoden

3.1 Signaalanalysatoren

De metingen zijn uitgevoerd met behulp van twee twee-kanaals signaalanalysatoren Brüel & Kjær type 2144/7651. Dit is een type 1 precisie meetinstrument volgens de normen NEN 10651 en NEN 10804. Met deze analysatoren kunnen, afhankelijk van de geladen software, zowel real-time metingen in oktaafbanden, of smaller, als FFT-metingen worden gedaan.

In eerste instantie zijn FFT metingen uitgevoerd. Deze metingen, met de 7651-FFT software van de analysator, zijn uitgevoerd over een frequentiebereik van 1600 Hz met een lijnspartering van 2 Hz. Gebruik is gemaakt van het Hanning tijdvenster. De middelingstijd bedroeg circa 43 seconden per meting (256 averages, overlap 75%).

Vanwege de optredende lage niveaus, en de ingangsgevoeligheid van de analysatoren, bleek het niet mogelijk om met FFT-metingen bruikbare meetresultaten te verkrijgen. Daarom werd besloten de uiteindelijke metingen in real-time modus uit te voeren. Deze real-time metingen zijn uitgevoerd in tertsen over een frequentiebereik van 1 Hz tot 10.000 Hz. Deze begrenzing aan de bovenzijde van 10.000 Hz wordt bepaald door de analysatoren die in twee-kanaals bedrijf tot maximaal 10.000 Hz meten. De ingangsgevoeligheid is zodanig aangepast dat een voor opname bruikbaar signaal via de AC-uitgangen beschikbaar was. De meettijd bedroeg, rekening houdend met het continue karakter van de bron, minimaal 15 seconden.

3.2 Trillingsmetingen

Ten behoeve van de trillingsmetingen is een B&K trillingsopnemer type 4370 gebruikt. De meetketen is gekalibreerd met behulp van een trillingskalibrator van B&K type 4294. De trillingsopnemer werd steeds op de fundatie van de windturbine gemonteerd, met bijenwas, ter hoogte van het bordes en aan de zijde waar zich de hydrofoon bevond. Het door de trillingsopnemer geleverde versnellingssignaal is achteraf door middel van discrete integratie omgerekend naar snelheid.

Als trillingsbron is gebruik gemaakt van de door de windturbine zelf gegenereerde trillingen en van trillingsaanstoting van de mastvoet van de windturbine middels een hamer.

3.3 Geluidmetingen

Voor de geluidmetingen onder water is gebruik gemaakt van een ZP 84 hydrofoon. Deze hydrofoon heeft een hoogdoorlaat filter vanaf 10 Hz en een geïntegreerde voorversterker.

In eerste instantie is getracht te meten met behulp van een B&K hydrofoon type 8100 omdat deze hydrofoon een bruikbaar frequentiegebied heeft vanaf 0,1 Hz. Hierbij werden de metingen echter verstoord door een sterk 50 Hz stoor-signaal. Daarom werd uiteindelijk gekozen voor het gebruik van een ZP 84 hydrofoon, waarbij geen hinder werd ondervonden van dat stoorsignaal.

Omdat de metingen van geluiddrukkniveaus werden uitgevoerd in akoestisch zeer ondiep water is de hydrofoon op halve waterdiepte gehangen (Richardson et al., 1995). De lokale waterdiepte is 4,2 m waardoor gekozen werd voor een meetdiepte van 2 m.

De meetketen met de ZP 84 hydrofoon is elektrisch gekalibreerd met behulp van een ijkruisbron.

3.4 Diversen

De B&K meetapparatuur is voorzien van een certificaat van de Nederlandse Kalibratie Organisatie.

De meetafstanden op grotere afstand tot de windturbine zijn bepaald op basis van de gegevens die werden geleverd door een GPS (global positioning system) aan boord van het meetvaartuig.

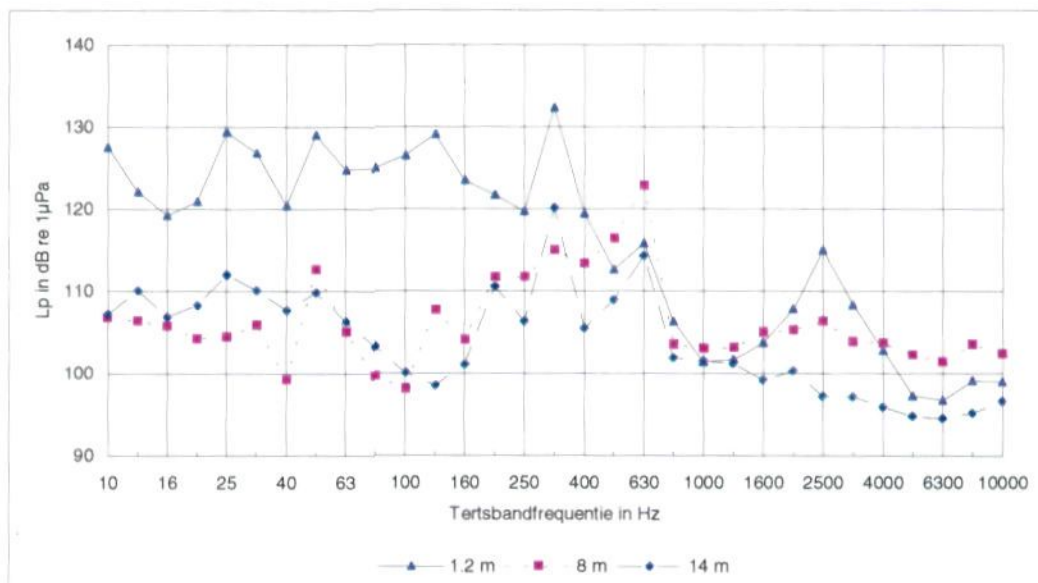
Metingen op relatief korte afstanden van de windturbine zijn steeds uitgevoerd als twee-kanaalsmeting met één analysator. Daarbij werden het hydrofoonsignaal en het signaal vanaf de trillingsopnemer, via de analoge uitgangen van de B&K 2144 signaalanalysator, opgenomen met behulp van een DAT-recorder. Bij metingen op grotere afstanden werd met twee analysatoren gemeten waarbij alleen het hydrofoonsignaal werd opgenomen. De hierbij gebruikte DAT-recorder is een Tascam DA-P1. Deze heeft, via de gebruikte lijningen, een bruikbaar frequentiebereik van 20 Hz tot en met 20 kHz.

4. Meetresultaten

4.1 Geluiddrukkniveaus onder water

In figuur 2 zijn de gemeten geluiddrukkniveaus op afstanden van 1,2 m, 8 m en 14 m uit de zijkant van de fundatie van de windturbine opgenomen. Het door de windturbine geleverde vermogen varieerde hierbij tussen 100 kW en 200 kW.

De metingen op deze korte afstanden van de windturbine zijn relatief dicht bij de dijk. Geluid als gevolg van golfslag tegen de dijk was echter niet in het hydrofoonsignaal herkenbaar als stoorgeluid. Wel bleek bij de meting op 1,2 m uit de fundatie een geringe storing waarneembaar als gevolg van de nabij het windpark gelegen zender van Radio 5. Dit heeft de meting echter niet significant beïnvloed. Deze storing was zwak hoorbaar in het meetsignaal.



Figuur 2: Geluiddrukkniveau L_p in dB re 1 μ Pa onder water op 1,2 m, 8,0 m en 14,0 m uit de fundatie van de windturbine op 2 m diepte.

De hoge niveaus in de lage frequenties bij de meting op 1,2 m afstand uit de fundatie hebben mogelijk te maken met het feit dat met name voor deze frequenties in het nabijheidsveld wordt gemeten. De maximale afstand (d) voor effecten van het nabijheidsveld wordt (volgens Verboom, 1992) gegeven door:

$$d = (f \cdot a^2) / c,$$

waarin

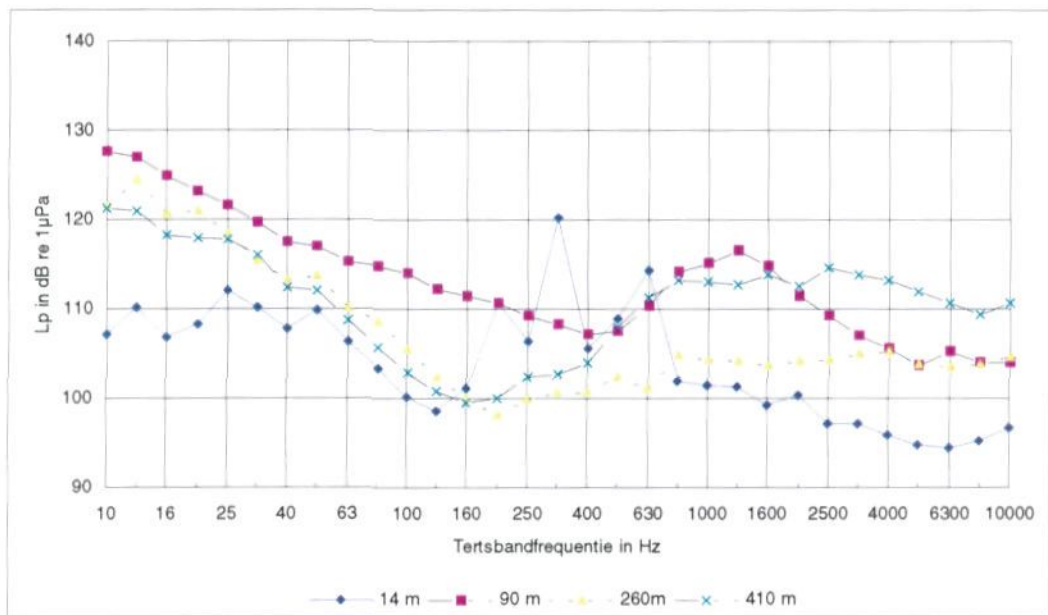
f de frequentie in Hz

a de grootste actieve afmeting van de bron in m

c de geluidssnelheid in water in m/s.

De fundatie staat 4,2 m in het water. De grootste actieve afmeting a van de geluidbron is dus 4,2 m. Dan wordt tot een afstand d van 1,2 m voor frequenties tot ongeveer 100 Hz in het nabijheidsveld gemeten.

In figuur 3 worden de gemeten geluiddrukkniveaus op afstanden van 14 m, 90 m, 290 m en 410 m uit de fundatie van de windturbine weergegeven.



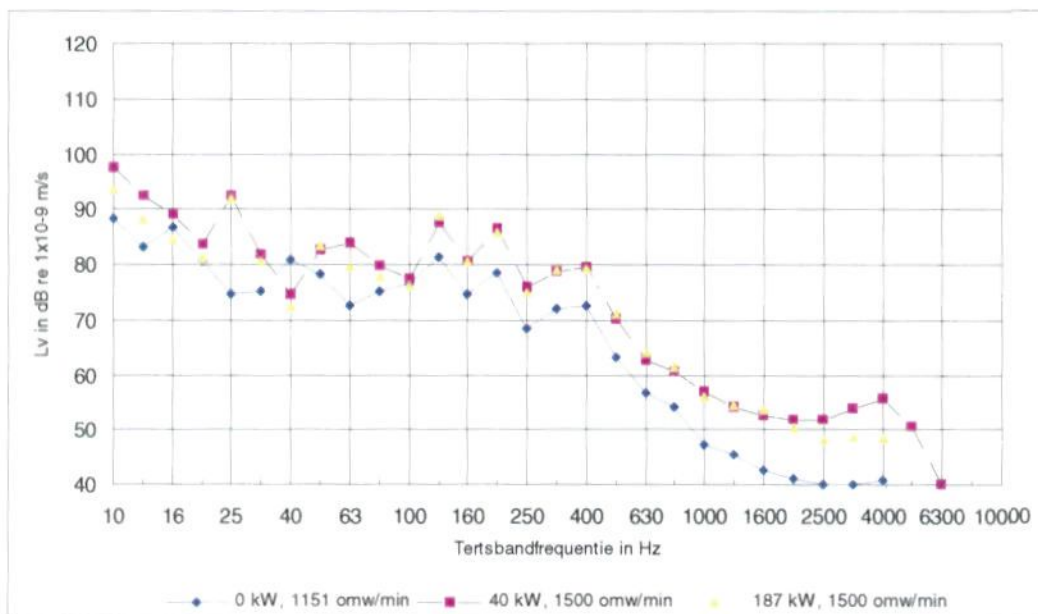
Figuur 3: Geluidrukniveau L_p in dB re $1 \mu\text{Pa}$ onder water op 14 m, 90 m, 260 m en 410 m uit de fundatie op 2 m diepte.

Uit figuur 3 blijkt geen directe relatie tussen de afstand tot de windturbine en het gemeten geluidrukniveau. Het gemeten niveau lijkt volledig te worden bepaald door het achtergrondsignaal, met name het klotsen van het water tegen het meetvaartuig. Dit wordt bevestigd bij het afluisteren van de bandopnamen. Vanaf 90 m afstand van de windturbine is het geluid van de turbine, bij afluisteren van het meetsignaal, niet meer herkenbaar in het hydrofoonsignaal.

In bijlage 1 zijn in figuur 10 de trillingsspectra opgenomen die op de fundatie zijn gemeten gelijktijdig met de in de figuren 2 en 3 weergegeven resultaten van de geluidrukmetingen op afstand. Deze trillingsspectra vertonen weinig variatie en kunnen de gevonden verschillen in de spectra van de geluidrukmetingen niet verklaren. Tevens zijn in deze bijlage in figuur 11 de verschilniveaus tussen snelheidsniveau en geluidrukniveau opgenomen.

5. Verband tussen geluiddrukniveau en trillingsniveau

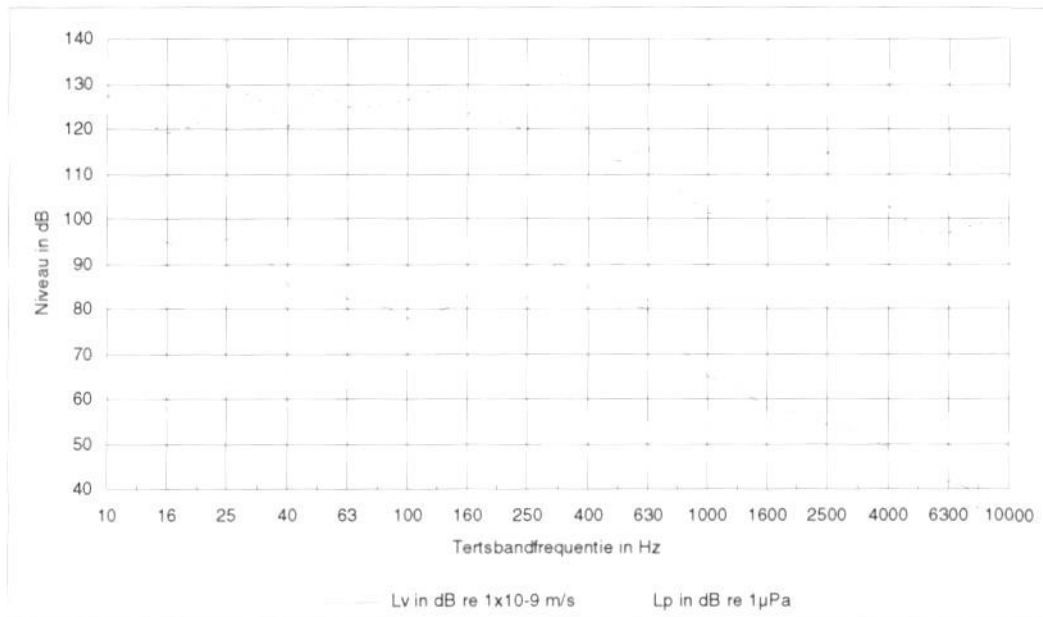
In figuur 4 wordt het trillingsniveau in de voet van de windturbine weergegeven voor een drietal verschillende door de windturbine geleverde vermogens.



Figuur 4: Snelheidsniveau L_v in dB re 1×10^{-9} m/s in de fundatie van de windturbine.

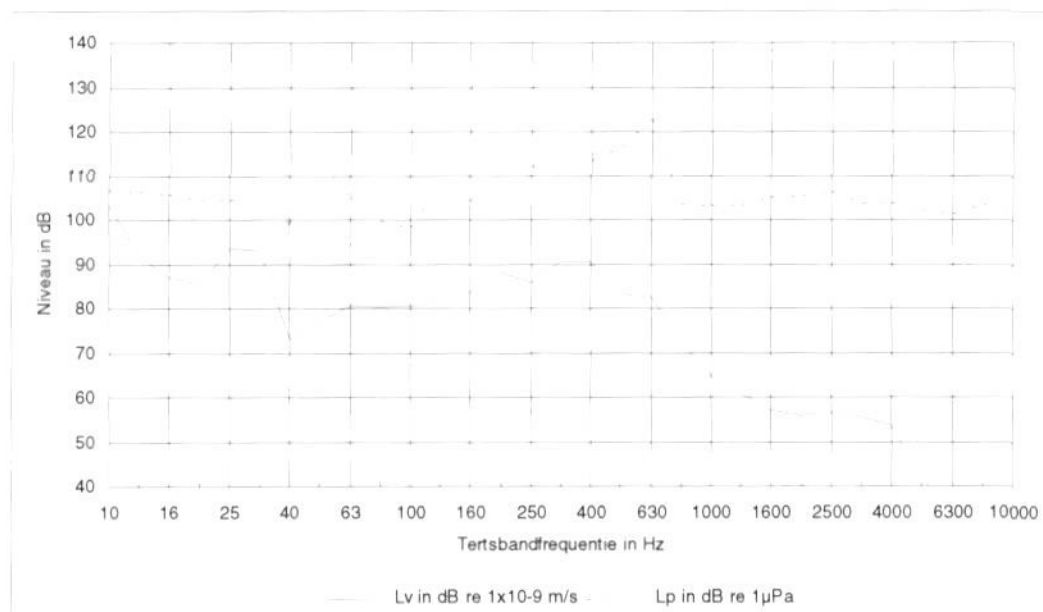
Uit de in figuur 4 gepresenteerde resultaten blijkt dat het trillingsniveau in de fundatie van de turbine enigszins toeneemt indien stroom wordt geleverd. Het verschil tussen het gemeten trillingsniveau bij 40 kW en dat bij 187 kW productie is echter niet groot.

In figuur 5 worden het trillingsniveau in de fundatie van de turbine en het daarbij gemeten geluiddrukniveau onder water op 1,2 m van de fundatie weergegeven. Op het hydrofoonsignaal bleek een geringe storing waarneembaar als gevolg van de nabij gelegen zender van Radio 5. Dit heeft de meting echter niet significant beïnvloed.



Figuur 5: Geluidrukniveau L_p in dB re $1 \mu\text{Pa}$ onder water op 1,2 m uit de fundatie op 2 m diepte en het bijbehorende trillingsniveau L_v in dB re $1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ in de fundatie van de windturbine. De productie van de turbine bedraagt 5,9 kW bij 1500 omw/min.

In figuur 6 zijn het trillingsniveau in de fundatie van de turbine en het daarbij gemeten geluidrukniveau onder water op 8 m van de fundatie opgenomen.



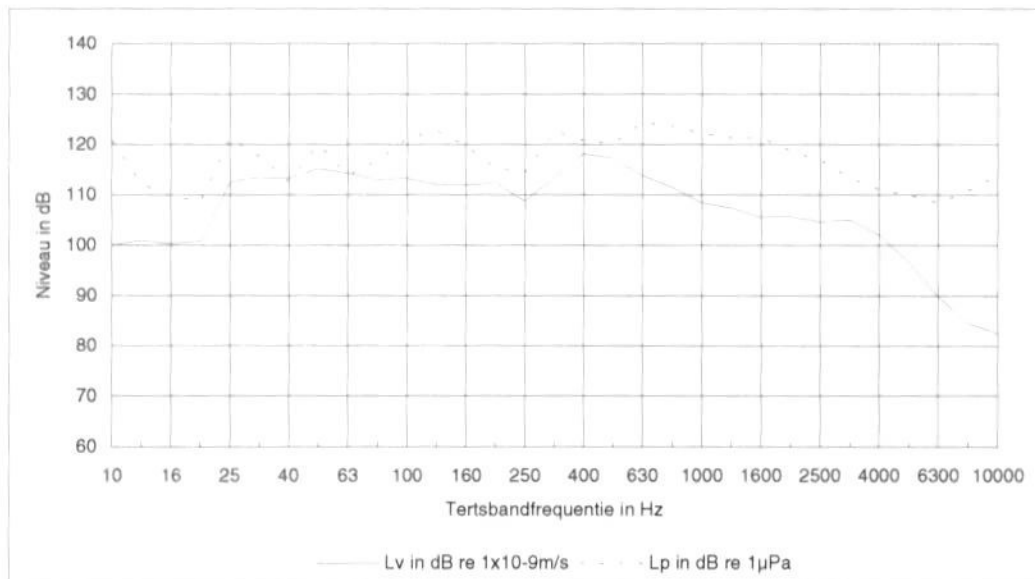
Figuur 6: Geluidrukniveau L_p in dB re $1 \mu\text{Pa}$ onder water op 8,0 m uit de fundatie op 2 m diepte en het bijbehorende trillingsniveau L_v in dB re $1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ in de fundatie van de windturbine. De productie van de turbine bedraagt 5,9 kW bij 1500 omw/min.

Omdat het door de turbine veroorzaakte trillingsniveau laag is, zal in het hydrofoonsignaal relatief veel stoorgeluid zijn meegemeten. Dit maakt het vrijwel

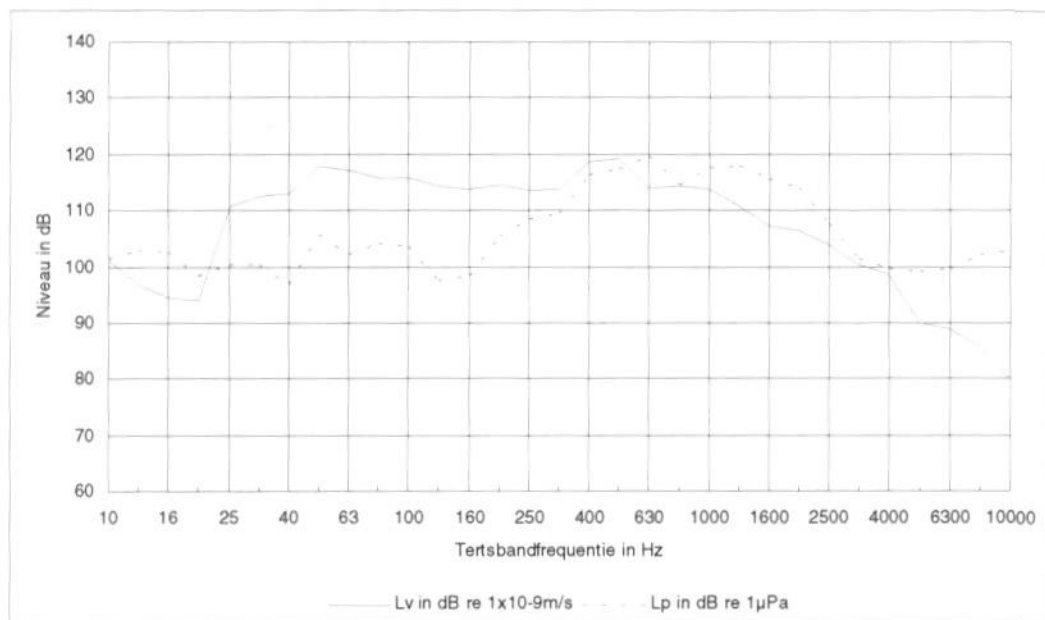
onmogelijk om een verband te vinden tussen het trillingsniveau in de fundatie van de turbine en het gemeten geluiddrukkniveau onder water.

Ten einde nader onderzoek te kunnen doen naar het verband tussen trillingsniveau en geluidafstraling is een trilling aan de fundatie opgelegd met behulp van aanstoting met een hamer met kunststof kop. Hierbij werd de fundatie een aantal keren achter elkaar aangestoten. Het signaal van de hydrofoon en dat van de trillingsopnemer op de fundatie zijn simultaan geregistreerd door middel van een tijdregistratie op het meetinstrument (multispectrum). De meetsignalen zijn tevens op de DAT-band opgenomen voor eventuele nadere analyse.

In de figuren 7 en 8 worden het gemiddelde trillingsniveau L_v in de fundatie van de turbine en het geluiddrukkniveau onder water op 1,2 m en 8 m uit de fundatie weergegeven op het moment van aanstoting.

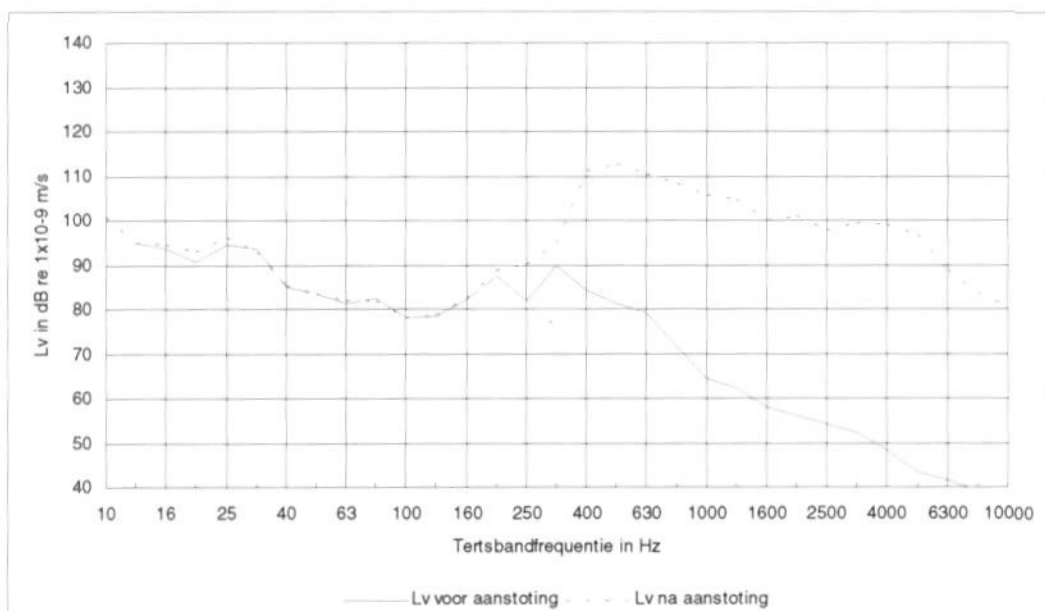


Figuur 7: Geluiddrukkniveau L_p in dB re $1 \mu\text{Pa}$ onder water, 1,2 m uit de fundatie, en het bijbehorende trillingsniveau L_v in dB re 1×10^{-9} m/s in de fundatie van de windturbine bij aanstoting.

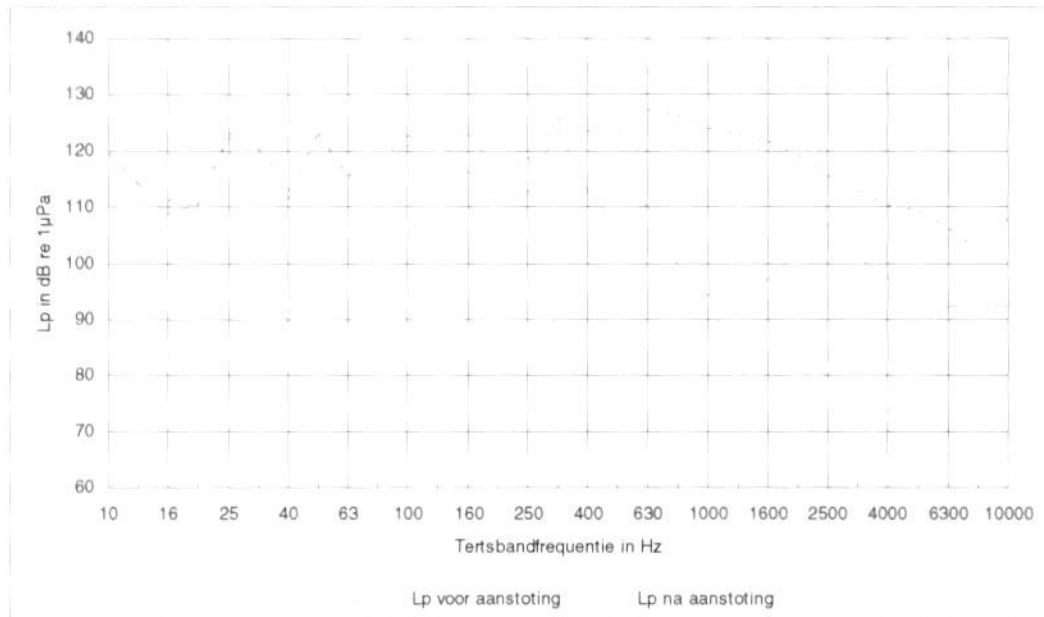


Figuur 8: Geluidrukniveau L_p in dB re 1 μ Pa onder water, 8 m uit de fundatie, en het bijbehorende trillingsniveau L_v in dB re 1×10^{-9} m/s in de fundatie van de windturbine bij aanstoting.

Uit de meetresultaten zoals die zijn weergegeven in de figuren 6 en 7 blijkt dat het niet eenvoudig is om de fundatie in trilling te brengen. Slechts in het frequentiegebied tussen 500 Hz en 2000 Hz is in zowel het snelheidsspectrum als in het geluidrukspectrum een toename van het niveau waar te nemen als gevolg van de aanstoting. Dit wordt in de figuren 9 en 10 nader geïllustreerd voor één excitatie en een meetafstand van 1,2 m uit de fundatie.



Figuur 9: Vergelijking gemiddeld snelheidsniveau voor en na aanstoting.



Figuur 10: Vergelijking gemiddeld geluiddrukkniveau voor en na aanstoting.

In bijlage 2 is de relatie tussen het geluiddrukkniveau in het water en het trillingsniveau in de fundatie van de windwindturbine afgeleid. Hieruit blijkt dat op grond van het trillingsniveau in de fundatie van de windturbine een uitspraak gedaan kan worden over het te verwachten onderwatergeluid.

6. Analyse

De metingen zijn uitgevoerd bij relatief lage windsnelheden. Bij de hoogst voorkomende windvlagen draaide de windturbine zelfs op niet meer dan 30% van het nominale vermogen. De metingen leverden een relatief laag trillingsniveau in de fundatie van de windturbine. Dat trillingsniveau blijkt, onder de omstandigheden waaronder de metingen werden verricht, niet sterk toe te nemen indien het geleverde vermogen toeneemt (tot 30% van het vermogen).

Als gevolg van het lage trillingsniveau in de fundatie is ook het onder water gemeten geluiddrukkniveau laag. Op basis van de nu uitgevoerde metingen is het niet mogelijk een uitspraak te doen omtrent het geluiddrukkniveau als functie van de afstand. Het door de windturbine veroorzaakte geluiddrukkniveau in de 315 Hz tertsband is op 14 m van de turbine ongeveer 10 dB verzwakt ten opzicht van het niveau op 1,2 m. Op een afstand van 8 meter, dus minder dan 14 meter, echter wordt in dezelfde tertsband een verzwakking van ongeveer 15 dB gevonden. Op grotere afstand van de turbine is deze frequentiecomponent ten gevolge van overige geluiden (met name klotsen van het water tegen het meetvaartuig) niet meer te onderscheiden in het hydrofoonsignaal.

Het is in het algemeen niet mogelijk om een eenduidige uitspraak te doen omtrent de geluidvoortplanting in een gebied met zulk ondiep water als waar nu werd gemeten. Een aantal aspecten, waaronder enige die niet aan de orde zijn bij luchtgeluid, spelen hier een rol. Hierop wordt in de navolgende alinea's kort ingegaan.

Naast verzwakking van het geluiddrukkniveau als gevolg van de geometrische uitbreiding lijken de bodemdemping en de oppervlakedemping in de overdracht een belangrijke rol te spelen. De bodem gedraagt zich als een absorberend oppervlak. Bij oppervlakedemping kan energie, als oppervlaktegolf, verdwijnen in het grensvlak van water en lucht.

Op basis van de geometrie mag worden aangenomen dat de verzwakking als gevolg van de geometrische uitbreiding volgens $10 \cdot \log(r)$ verloopt, waarbij r de afstand tussen bron en ontvanger is. Hierbij wordt uitgegaan van een cilindervormige bron die cilindervormige golffronten uitstraalt.

Uit de beschikbare literatuur (Richardson et al., 1995) blijkt dat wanneer bron en ontvanger zich dicht bij het wateroppervlak bevinden, het aan het oppervlak gereflecteerde geluid een sterke wisselwerking met het directe geluid heeft. Voor zuivere tonen kan dit zich uiten in interferentie. Als gevolg hiervan kunnen afstandsafhankelijke niveaufluctuaties ontstaan. Tevens wordt in ondiep water een grotere demping gevonden dan op grond van de geometrische uitbreiding mag worden verwacht.

Verder blijkt dat de overdrachtdemping onder water sterk afhankelijk is van de plaatselijke omstandigheden. Het vermoeden dat de demping van het onderwater geluid in het gebied waar nu de metingen werden verricht relatief hoog is, wordt geschraagd door de omstandigheid dat tijdens het doen van de metingen minder hinder van stoorgeluid werd ondervonden dan was verwacht.

Zo was er zeker stoorgeluid verwacht vanwege de scheepvaart en scheepsbewegingen in het nabij gelegen sluizencomplex en vanwege koelwaterinname van de Flevocentrale. Stoorgeluid vanwege een passerend schip werd pas in het hydrofoonsignaal waargenomen als het schip was genaderd tot ongeveer 100 meter.

7. Conclusies

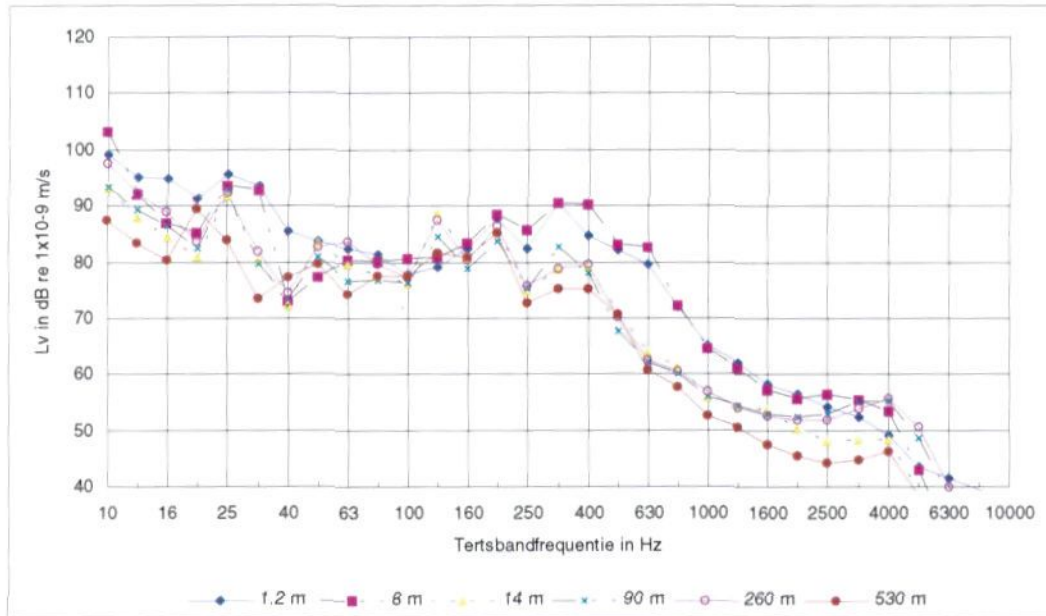
Op een afstand van 90 m of meer van de windturbine was het door de turbine veroorzaakte geluid onder water niet meer waarneembaar in het gemeten achtergrondgeluiddrukkniveau.

Het trillingsniveau dat de windturbine genereert in de fundatie is relatief laag bij de gemeten productie van maximaal 30% van het nominale vermogen. Als gevolg hiervan is het door de windturbine afgestraalde onderwatergeluid eveneens relatief gering. Bij de nu uitgevoerde metingen werd op een afstand van 1,2 m uit de fundatie een geluiddrukkniveau gemeten dat in een beperkt frequentiegebied ongeveer 20 dB hoger is dan het optredende achtergrondniveau.

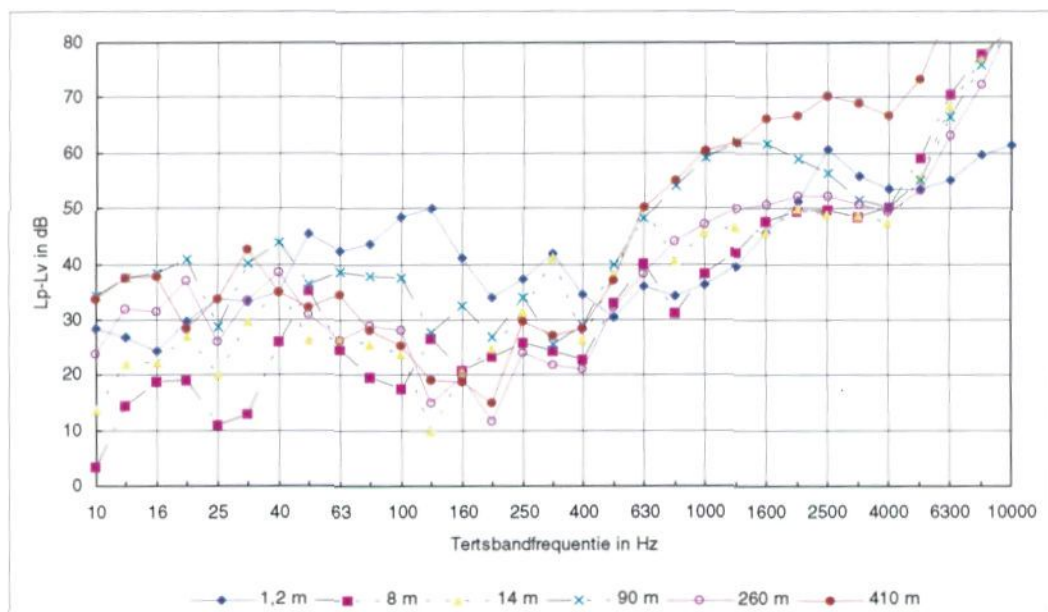
Om een goede inschatting te maken van de effecten van de nieuw te plaatsen windturbines is het van belang het maximaal te verwachten trillingsniveau, als functie van de frequentie, in de fundatie te kennen. Met behulp van nader onderzoek, met voldoende hoge trillingsniveaus in de fundatie, zal het mogelijk zijn de geluidafstraling in het water als functie van de trillingsniveaus te bepalen. Mogelijk levert een windturbine van 600 kW die inderdaad het volle vermogen levert hiervoor de benodigde trillingsniveaus. Anders zal gebruik moeten worden gemaakt van een excitator van voldoende vermogen over het gewenste frequentiebereik. Verder dient, onder representatieve weersomstandigheden, de overdracht van geluid in het water voor het betreffende plangebied te worden onderzocht alsmede het achtergrondgeluid onder water. Nu werd gemeten in een waterdiepte van ten hoogste 5 meter terwijl de windturbines in de Noordzee in waterdieptes van 15 tot 20 meter zullen worden geplaatst.

Bijlage 1: Grafische weergave meetresultaten

Snelheidsniveaus en geluidrukniveaus



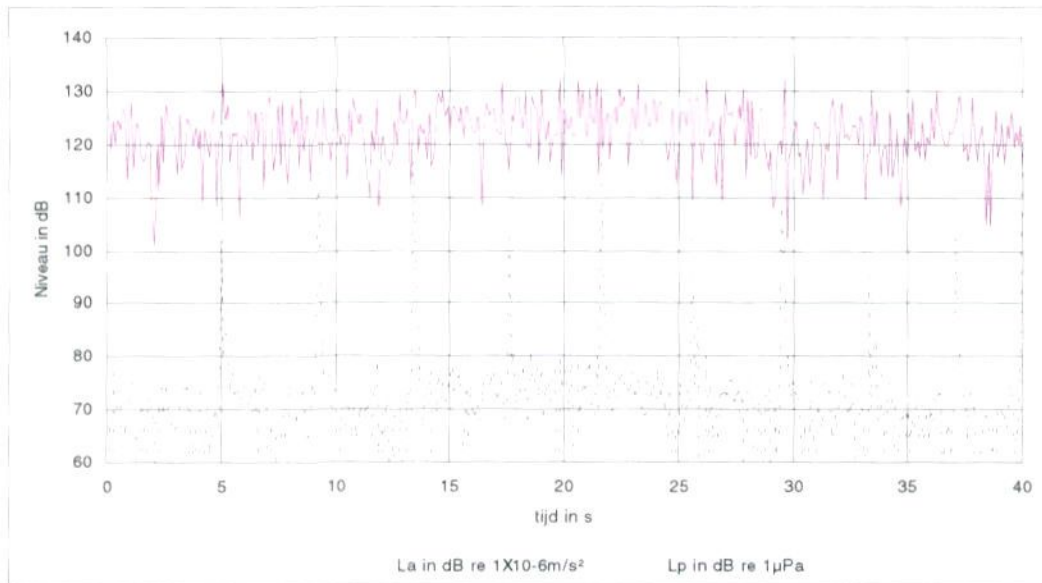
Figuur 11: Snelheidsniveau L_v in dB re 1×10^{-9} m/s in de fundatie van de windturbine. Gemeten gelijktijdig met een geluidruknmeting op afstand (overeenkomstige afstand opgenomen in legenda).



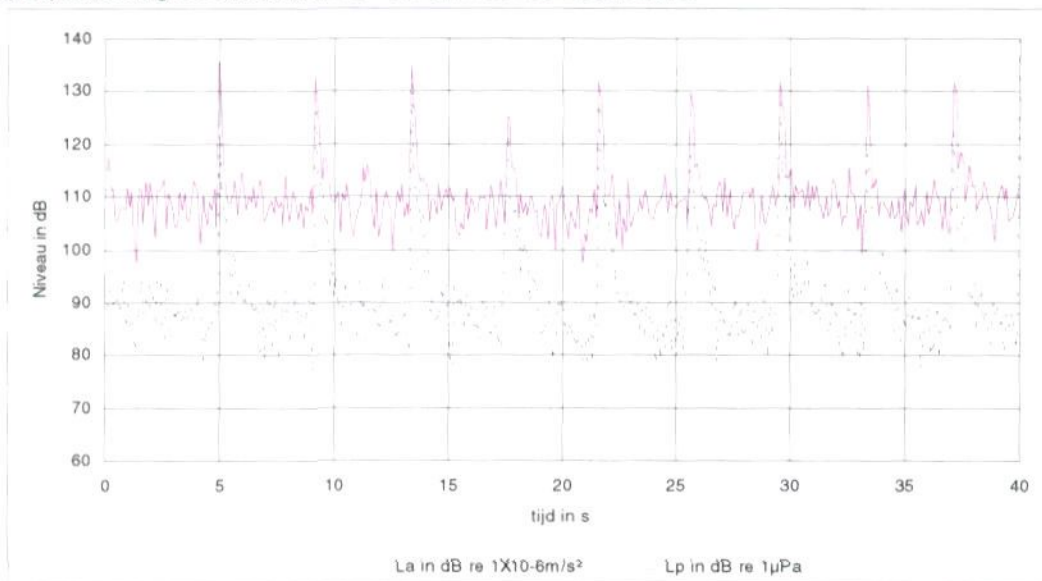
Figuur 12: Verschilniveau geluidrukn onder water op aangegeven afstand L_p in dB re $1 \mu\text{Pa}$ minus het gelijktijdig gemeten snelheidsniveau in de fundatie L_v in dB re 1×10^{-9} m/s (overeenkomstige afstand opgenomen in legenda).

Excitatie

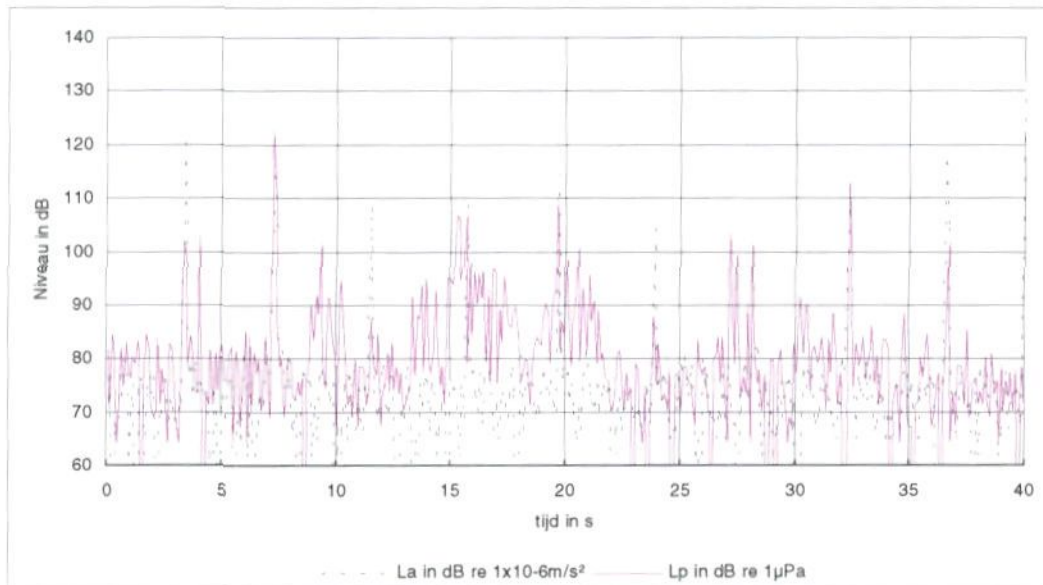
In de figuren 13 tot en met 16 zijn het verloop van het geluidsdrukniveau en het snelheidsniveau in de 100 Hz en de 500 Hz tertsband als functie van de tijd weergegeven bij trillingsexcitatie door middel van een hamer. De tertsband van 100 Hz is gekozen omdat deze zich voor een meetafstand van 1,2 meter op de rand van het nabijheidsveld bevindt. De keuze voor de tertsband van 500 Hz is min of meer arbitrair.



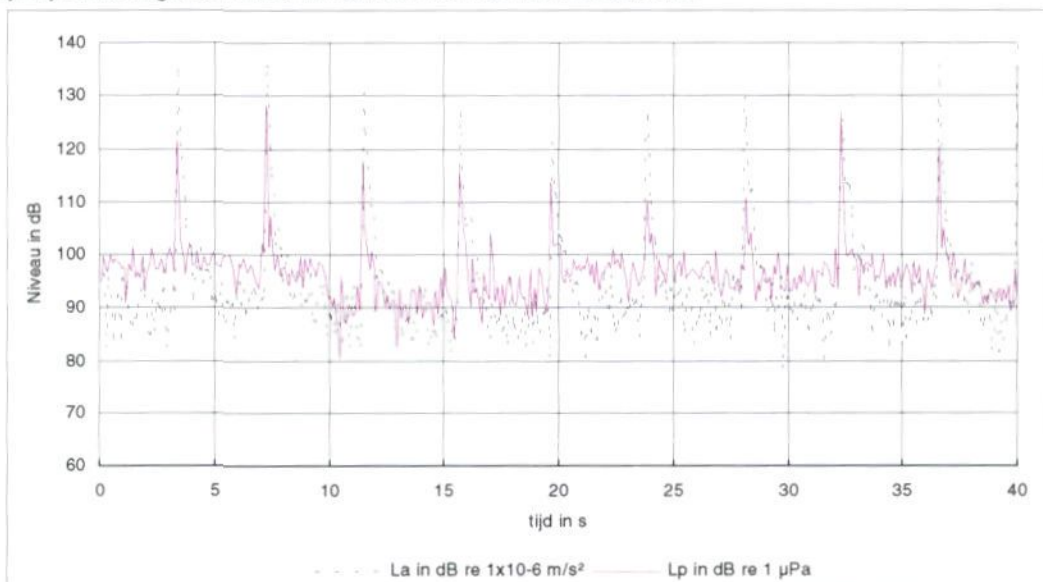
Figuur 13: Versnellingsniveau en onderwater geluidsdrukniveau, op 1,2 m uit de fundatie, als functie van de tijd bij aanstoting door middel van een hamer, in de 100 Hz tertsband.



Figuur 14: Versnellingsniveau en onderwater geluidsdrukniveau, op 1,2 m uit de fundatie, als functie van de tijd bij aanstoting door middel van een hamer, in de 500 Hz tertsband.



Figuur 15: Versnellingsniveau en onderwater geluidrukniveau, op 8,0 m uit de fundatie, als functie van de tijd bij aanstoting door middel van een hamer, in de 100 Hz tertsband.



Figuur 16: Versnellingsniveau en onderwater geluidrukniveau, op 8,0 m uit de fundatie, als functie van de tijd bij aanstoting door middel van een hamer, in de 500 Hz tertsband.

Uit een vergelijking van figuren 13 en 15 blijkt dat op 8 m afstand van de fundatie het effect van excitatie in de 100 Hz tertsband nog wel is terug te vinden in het verloop van het niveau als functie van de tijd terwijl dit op 1,2 m niet is terug te vinden. Verwacht mag worden dat dit geschiedt onder invloed van het nabijheidsveld.

Bijlage 2: Relatie tussen geluidrukniveau L_p en trillingsniveau L_v .

Afgeleid kan worden dat voor onderwatergeluid de volgende relatie bestaat tussen het afgestraalde geluidvermoggenniveau L_W (re 1×10^{-12} W) en het gemeten trillingsniveau L_v (re 1×10^{-9} m/s) in de constructie:

$$L_W = L_{\bullet} + L_v + 10 \log S + 1,8$$

waarbij $L_{\bullet}$ de frequentieafhankelijke afstraalgraad is en S het geluidafstralende oppervlak.

De laatste term van de formule (1,8) wijkt af van die in lucht (-34) omdat $\bullet$ (de soortelijke dichtheid) en c (snelheid van het geluid) in lucht verschillen van die in water. Daardoor is de karakteristieke impedantie $\bullet \cdot c$ van water ongeveer 3570 hoger dan die van lucht. En is $10 \cdot \log(\bullet \cdot c)$ in lucht 26 tegen 61,8 in water.

Aangenomen wordt dat in het medium water voor de 'vrije veld' situatie op korte afstand een zelfde relatie tussen het geluidvermoggenniveau L_W (re. 1×10^{-12} W) en geluidrukniveau L_p (re $1 \mu\text{Pa}$) bestaat als in het medium lucht:

$$L_W = L_p + 10 \log S + C_{gn}$$

waarbij C_{gn} een correctieterm is voor het geometrische nabijheidsveld.

Gebaseerd op deze veronderstelling kan het volgende verband tussen het gemeten snelheidsniveau in de constructie en het gemeten geluidrukniveau onder water worden afgeleid op korte afstand van een oneindig grote vlakke plaat:

$$L_p = L_v + L_{\bullet} + 1,8 - C_{gn}$$

In deze betrekking bevinden zich als onbekenden $L_{\bullet}$ en C_{gn} .

In een nader onderzoek kan de afstraalgraad voor de turbinefundatie systematisch worden onderzocht met behulp van een trillingsexcitorator. Op deze wijze kan de relatie tussen het geluidrukniveau onder water L_p en het snelheidsniveau L_v in de turbinefundatie exact worden vastgesteld voor het volledige relevante frequentiegebied.

Bijlage 3: Referenties

W. John Richardson, Charles R. Greene Jr, Charles I. Malme and Denis H. Thomson. 1995. Marine mammals and noise. Academic Press, San Diego.

W.C. Verboom. 1992. Bio-acoustics: Standardization, reference levels and data notation for underwater sound measurements. P 741-751 *In*: J.A. Thomas, R.A. Kasterlein and A.Ya Supin (eds.), Marine mammal sensory systems. Plenum, New York.

M. EFFECTEN WINDPARK OP VISSERIJ

RIVO-DLO, 1999

DLO-Rijksinstituut voor Visserijonderzoek

Postbus 68
1970 AB IJmuiden
Tel.: 0255 564646
Fax.: 0255 564644

Internet: postkamer@rivo.dlo.nl

Postbus 77
4400 AB Yerseke
Tel.: 0113 572781
Fax.: 0113 573477

RIVO-DLO Rapport

Nummer: C040/99

Effecten windpark op visserij

Dr. S.J. de Groot

Opdrachtgever: HASKONING

Barbarossastraat 35
6522 DK NIJMEGEN

Project nummer: 324 755233
Contract nummer: 07 00

Akkoord: Dr. A.D. Rijnsdorp
Hoofd afd. Biologie & Ecologie

Handtekening: _____

Datum: 15 juli 1999

Aantal exemplaren: 10
Aantal pagina's: 12
Aantal tabellen: 4
Aantal figuren: 7
Aantal bijlagen:

De Directie van het RIVO-DLO is niet aansprakelijk voor gevolgschade, alsmede voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van het RIVO-DLO; opdrachtgever vrijwaart het RIVO-DLO van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.

Dit rapport is vervaardigd op verzoek van de opdrachtgever hierboven aangegeven en is zijn eigendom. Niets van dit rapport mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier zonder schriftelijke toestemming van de opdrachtgever.

Inhoudsopgave:

Inhoudsopgave:.....	2
Samenvatting	3
1. Inleiding.....	4
2. Keuze locatie in een gebied dicht onder de kust (< 15m diep) of verder van de kust (> 15m diep).....	5
3. Verlies van visgrond	6
4. Voordelen van een gesloten gebied	9
5. De trillingen (vibratie) veroorzaakt door de werkende windturbines	9
6. Effecten van het magnetisch veld rond een elektrische kabel.....	10
7. Referenties	11
Figuren.....	12

Samenvatting

- Ten behoeve van een MER-Near Shore Windpark wordt een vijftal locaties in beschouwing genomen langs de rechte Nederlandse kust (Katwijk tot IJmuiden).
- Uit de kwantitatieve gegevens over de visserij-inspanning afkomstig uit de logboeken die de visserij verplicht is in te vullen en waarin visserij-inzet en vangsten worden gerapporteerd met een ruimtelijke resolutie van ICES kwadranten (ongeveer 30x30 zeemijl), blijkt dat de gebieden van de locatiealternatieven worden gebruikt door de boomkorvisserij, de bordentrawl visserij, spanvisserij en staand-want visserij. Het aandeel van de inspanning in deze gebieden bedraagt tussen de 1-25% van de totale inspanning. Van de schelpdiervisserij en garnalenvisserij zijn geen gegevens beschikbaar.
- Gedetailleerde gegevens over de verspreiding van de visserij zijn alleen beschikbaar voor een steekproef van 6 boomkorschepen van ≤ 300 pk. De micro-verspreiding van deze schepen is geëxtrapoleerd naar de totale visserij-inzet van de boomkorvloot (≤ 300 pk) en laat zien dat het gebruik van de locaties gering is. Het aantal visregistraties uitgedrukt als percentage van de visregistraties van deze vloot op het Nederlands deel van het Continentaal Plat varieert tussen de 0.06% en 0.12%. De locatie bij IJmuiden > 15 wordt intensiever bevist, die bij Zandvoort > 15 minder intensief.
- Van de garnalenvisserij, de visserij op rondvis met de bordentrawl en de schelpdiervisserij zijn geen gedetailleerde gegevens beschikbaar om het effect van een windpark te evalueren.
- Op basis van de verspreiding van garnaal kan worden verwacht dat de garnalenvisserij voornamelijk in de ondiepe kustzone (< 15 m) plaatsvindt. Voor deze visserij zou een locatie in het diepere water (> 15 m) te verkiezen zijn.
- Een windpark schept een gesloten gebied voor de visserij, waar onderzoek kan worden uitgevoerd naar de effecten van bodemvisserij op bodemdieren.
- Een windpark is voor vissen een tijdelijk refugium omdat deze dieren het gebied na enige tijd zullen verlaten.
- Vissen kunnen zeer goed horen (gehoorzin als wel zijlijnzintuigen) in het lage frequentie gebied.
- Magnetische velden kunnen de trek van vissen beïnvloeden. Met name haaien en roggen zijn er zeer gevoelig voor. Het leggen van de kabels in een stalen buisleiding kan het effect opheffen.

1. Inleiding

In het kader van de Milieu Effect Rapportage "Near Shore Windpark" worden de mogelijke effecten voor de Nederlandse visserij geïnventariseerd van een vijftal locaties voor een windpark. Het gaat hierbij om zowel negatieve als positieve effecten op de waterfauna, met name de vissen en de uitoefening van de visserij (zie Richtlijnen Milieu-Effectrapport Near Shore Windpark 25 maart 1999, p.18).

Het RIVO-DLO levert:

- 1). kwantitatieve gegevens over intensiteit van de Nederlandse visserij op de vijf locaties;
- 2). een beoordeling van de te verwachten effecten van een Near Shore Wind park op de vijf locatie-alternatieven op de visserij en op het bestand aan vis, waarbij de refugium rol van het voor de visserij gesloten gebied (20 - 50 km²) mede beschouwd zal worden ;
- 3). een overzicht van mogelijke mitigerende maatregelen voor de visserij .

In tabel 1 worden de vijf locaties nauwkeurig omschreven wat betreft coördinaten, lengte kustzijde en lengte haaks op de kust.

Tabel 1 - De vijf alternatieve locaties voor een windpark (Near Shore Windpark) in de Nederlandse kustzone.

	Middelpunt	Hoekpunt noordwest	Hoekpunt noordoost	Hoekpunt zuidoost	Hoekpunt zuidwest
IJmuiden II <15	52° 32' N en 4° 24' E 087.999 X 505.418 Y	52° 34' N en 4° 23' E 086.919 X 509.142 Y	52° 33' N en 4° 27' E 091.415 X 507.227 Y	52° 30' N en 4° 27' E 091.343 X 501.665 Y	52° 32' N en 4° 22' E 085.737X 505.449Y
IJmuiden II >15	52° 34' N en 4° 19' E 082.400 X 509.207 Y	52° 38' N en 4° 17' E 080.253 X 516.657 Y	52° 34' N en 4° 22' E 085.789 X 509.158 Y	52° 32' N en 4° 21' E 084.606 X 505.466 Y	52° 33' N en 4° 15' E 077.850X5 07.422Y
Zandvoort <15	52° 26' N en 4° 22' E 085.580 X 494.325 Y	52° 28' N en 4° 20' E 083.367 X 498.065 Y	52° 27' N en 4° 26' E 090.138 X 496.117 Y	52° 23' N en 4° 25' E 088.906 X 488.716 Y	52° 24' N en 4° 19' E 082.125X4 90.666Y

vervolg tabel 1.

	Middelpunt	Hoekpunt noordwest	Hoekpunt noordoost	Hoekpunt zuidoost	Hoekpunt zuidwest
Zandvoort > 15	52° 26' N en 4° 16' E 078.780 X 494.425 Y	52° 29' N en 4° 14' E 076.602 X 500.023 Y	52° 28' N en 4° 20' E 083.367 X 498.065 Y	52° 24' N en 4° 19' E 082.125 X 490.666 Y	52° 25' N en 4° 13' E 075.350X4 92.625Y
Katwijk	52° 15' N en 4° 13' E 075.050 X 474.085 Y	52° 17' N en 4° 12' E 073.973 X 477.811 Y	52° 15' N en 4° 17' E 079.602 X 474.014 Y	52° 12' N en 4° 14' E 076.100 X 468.505 Y	52° 14' N en 4° 8' E 069.327X4 72.326Y

2. Keuze locatie in een gebied dicht onder de kust (< 15m diep) of verder van de kust (15m diep)

Om de voorkeur te bepalen voor een locatie van een windpark in het kustwater minder diep dan 15 m of dieper dan 15 m werd een tweetal gegevensbestanden, op het voorkomen van 0-jarige en ongeveer 1 jaar oude vis (en marktwaardige garnaal) in de Nederlandse kustzone (ICES-kwadrant 33F4) onderzocht. Het betreft de gegevens uit de Demersal Fish Survey (DFS: RIVO-DLO) en de Sole Net Survey (SNS: RIVO-DLO). De gegevens werden voor de twee diepte strata, per decenium (1970-1979, 1980-1989, 1990-1998) uitgedrukt als gemiddelde vangst (aantallen per trek) (DFS: figuur 1 en 2; SNS: figuur 3 en 4)

De figuren laten zien dat zowel op grond van de de Demersal Fish Survey als op grond van de Sole Net Survey gesteld kan worden dat er meer 0-jarige tong, schol, wijting en kabeljauw voorkomen in de kustzone in ondiep water (<15m) en dat er meer grotere vis (tong, schol, wijting, kabeljauw) voorkomt in het diepere deel van de kustzone. Garnaal (<54 mm) komt met name in de kustzone voor. Marktwaardige garnaal (>54 mm) komt ook voornamelijk voor in water van <15 m.

Een windpark in de ondiepe kustzone zal met name een refugium kunnen zijn voor de talrijker voorkomende kleine exemplaren, terwijl een windpark in de diepere kustzone voor de minder talrijke grotere exemplaren betekenis heeft.

3. Verlies van visgrond

De locatie-alternatieven voor een windpark liggen alle binnen de 12 mijls zone. Binnen dit gebied worden verschillende vormen van visserij uitgeoefend. Voor de Nederlandse visserij is dit met name de visserij op platvis met boomkorschepen, de visserij met de borden trawl op rondvis (kabeljauw, wijting), de staand-want visserij, de garnalenvisserij en de schelpdiervisserij. Voor de platvisvisserij en rondvisvisserij, die alleen mag worden beoefend met schepen met een motorvermogen ≤ 300 pk of met een maaswijdte van ≥ 100 mm, zijn gegevens beschikbaar uit de VIRIS data base (Visserij Registratie Informatie Systeem; Ministerie Landbouw Natuurbeheer en Visserij). Gegevens zijn ook beschikbaar voor de staand-want visserij. De VIRIS data base bevat logboekgegevens die vissers verplicht zijn in te leveren en waarin informatie staat over de vangst en visserij-inspanning per visserij type met een ruimtelijke resolutie van $\pm 30 \times 30$ zeemijl (ICES kwadrant).

De jaarlijkse visserij-inzet staat weergegeven in Tabel 2. De visserij-inzet van de boomkorvloot is voornamelijk beperkt tot het Nederlands deel van het continentaal plat. In tabel 2 zien we dat de vloot gemiddeld 6473 zeedagen op het NCP maakt van een totaal van 7162 zeedagen. In de kwadranten van de locatie-alternatieven worden gemiddeld 602 en 754 zeedagen gemaakt, overeenkomend met respectievelijk 9% en 12% van het aantal zeedagen van het NCP. De twee ICES kwadranten waar de mogelijke locaties van een windpark liggen (33F4 en 34F4), blijken hiermee een belangrijk visgebied te zijn voor de boomkorvloot.

Tabel 2. - Visserij-inzet in de twee ICES kwadranten waarbinnen de 5 mogelijke locaties voor een windpark gelegen zijn.

Boomkorvloot (TBB Trawl Beam Bottom: 225-300 pk)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	Gemiddeld Aantal visdagen
34/F4	498	524	482	793	811	767	479	449	619	602
33/F4	704	582	655	1127	729	590	797	839	761	754
Som NCP	6390	6784	6051	7281	7070	6563	6450	6984	4687	6473
Totaal	6801	7823	6914	8150	7851	7396	6749	7929	4843	7162
Percentage van visdagen op het NCP										
34/F4	7,8%	7,7%	8,0%	10,9%	11,5%	11,7%	7,4%	6,4%	13,2%	9,4%
33/F4	11,0%	8,6%	10,8%	15,5%	10,3%	9,0%	12,4%	12,0%	16,2%	11,7%

Het percentage visserij-inspanning van de andere vormen van visserij met schepen ≤ 300 pk dat in de periode 1994-1998 in de betreffende kwadranten 34/F3 en 34/F4 is uitgevoerd is als volgt:

	34/F3	34/F4
PTB	8.1%	26.1%
OTB	12.2%	7.4%
GNS	0.8%	19.3%

De PTB (Pair trawl bottom) betreft de spanvisserij op rondvis. De OTB (Otter trawl bottom) betreft de borden trawl visserij op rondvis, en de GNS (Gill net standing) betreft de staand-want visserij.

De oppervlakte van de verschillende dieptezones in de betreffende kwadranten staat hieronder aangegeven. Hieruit kan worden afgeleid dat de oppervlakte van een windpark van 25 km² tussen de 6% en 10% van de beschikbare dieptezone van 10-20 meter beslaat.

ICES Kwadrant	.0-5 meter	.5-10 meter	.10-20 meter	>20 meter	Totaal (km ²)
33F4	6.5	17.1	379.8	26.5	429.9
34F4	18.4	28.3	242.0	446.1	734.8

Omdat de doelsoorten van een bepaald type visserij (schol, tong, kabeljauw, garnaal, etc) niet homogeen binnen een ICES vak verdeeld is (zie sectie 2), zal ook de visserij-inzet niet homogeen binnen een ICES kwadrant verdeeld zijn. Voor de beantwoording van de vraag naar het verlies van visgronden zijn verspreidingsgegevens met een hoge ruimtelijke resolutie noodzakelijk. Een dergelijke data set, zij het van beperkte omvang, is beschikbaar voor de boomkorvloot. Sinds 1993 wordt van een steekproef van Nederlandse schepen iedere 6 minuten de visposities geregistreerd (Rijnsdorp et al., 1998). Deze gegevens maken het mogelijk om de visserij in kaart te brengen met een ruimtelijke resolutie van 1x1 zeemijl. In de periode tot 1997 bestond de steekproef uit vijfentwintig grote kotters (>300 pk) en één Eurokotter (300 pk). Alleen deze laatste mocht binnen de 12 mijlszone vissen. Met ingang van 1997 is de steekproef met schepen ≤300 pk uitgebreid tot een zestal schepen, verdeeld over een aantal vissershavens. Deze microverspreidingsgegevens geven een gedetailleerd beeld van de visgebieden van deze vloot binnen de Nederlandse kustzone. Om het aandeel van de locatie-alternatieven van een windpark in het beviste gebied te kwantificeren werd de visserij-intensiteit van de steekproef geëxtrapoleerd naar de totale Nederlandse vloot van kotters ≤300pk. Daarbij werd aangenomen dat binnen ieder ICES kwadrant de onderzochte steekproef een representatief beeld geeft van de beviste gebieden. Berekend is het percentage van de totale visserij-inspanning op het NCP dat op de locatie wordt uitgeoefend.

Uit de bewerkte gegevens blijkt dat er verschillen in visserij-intensiteit tussen de locaties zijn waar te nemen. De visserij-intensiteit is het hoogst bij IJmuiden > 15 (dieper dan 15m) terwijl Zandvoort < 15 (Zandvoort ondieper dan 15 m) en Zantvoort > 15 (dieper dan 15m) het minst bevist worden. De verschillen zijn evenwel gering.

Tabel 4. - De betekenis van de locatie-alternatieven voor de boomkorvisserij met schepen van 225-300 pk uitgedrukt in visserij-inspanning per locatie als percentage van de totale visserij-inspanning op het Nederlands deel van het Continentaal Plat (%NCP).

<u>Locatie</u>	<u>%NCP</u>
IJmuiden >15	0.12
IJmuiden <15	0.09
Katwijk	0.11
Zandvoort >15	0.06
Zandvoort <15	0.08

Opgemerkt dient te worden dat de beschikbare microverspreidingsgegevens slechts een zestal schepen van de boomkorvloot betreffen en zijn verzameld in een periode van 2 jaar. In een dynamisch gebied als de ondiepe kustzone is het mogelijk dat zich jaarlijks veranderingen voordoen. Het verkregen beeld is daarom mogelijk niet representatief voor de gehele vloot (± 950 schepen; Lindeboom en de Groot, 1998, Tabel 3.1.1) over een langere periode.

Voor wat de garnalenvisserij betreft, blijkt uit de DFS en SNS-survey's dat de garnalenvisserij de meeste hinder ondervindt van een windpark in de ondiepe kustzone (<15m diep) (zie fig. 1 en 2).

Behalve het eigenlijke ruimtebeslag van het windpark (100 turbines) en een veiligheidszone van 500 m, gaat er nog meer te bevissen oppervlak voor de visserij verloren daar de vistuigen verhinderd worden te vissen tot zeer nabij de verboden zone. Vissende schepen moeten ruim van te voren de koers verleggen bij nadering van het gesloten gebied. Dit verkeer dient door een navigatiedeskundige, tevens schipper, per vistuig en diepte te worden ingeschat c.q. uitgerekend. (Bennett, 1974) De figuren 6 en 7 zijn afkomstig uit deze publicatie. In het kader van dit onderzoek is het niet mogelijk concrete uitspraken te doen over de effecten hiervan. Om dit verlies te kwantificeren voor de betrokken visserijen is een specifieke berekening nodig.

Een ander aspect van het verlies van visgronden is de invloed van een verkleining van het beschikbare vissgebied op de visnamigheid (vangstefficiëntie) van een schip. Het is bekend dat de visnamigheid van een schip afneemt naar mate er meer schepen op eenzelfde visgrond vissen (Rijnsdorp et al., 1999). Het verlies van visgronden zal een toename van de visserijdruk op de resterende visgronden veroorzaken. Het is voor de schepen van ≤ 300 pk niet goed mogelijk te concurreren met grote schepen, zodat zij voornamelijk beperkt zullen zijn tot de 12 mijlszone. Gezien het relatief geringe aandeel van de visserij op deze locaties ten opzichte van de visserij binnen de Nederlandse 12 mijlszone zal dit effect waarschijnlijk gering zijn.

Gedeeltelijk is de visserij compensatie aan te bieden voor het verloren gaan van visgebied, door toe te staan dat binnen het windpark i.p.v. met actieve vistuigen, gevisd wordt met passieve vistuigen (met name staand-want). Het is echter wel een andere groep van vissers die van een dergelijke maatregel zou profiteren.

4. Voordelen van een gesloten gebied

Tot op heden zijn er in het Nederlandse deel van het Continentale Plat (NCP) geen gesloten gebieden aangewezen waar men niet mag vissen met actieve gesleepte vistuigen. Denemarken en Duitsland kennen enkele "landschapsparken" langs hun kusten. Voor een evaluatie van beschermde gebieden in de Noordzee en voor het onderzoek naar de effecten van gesleepte vistuigen op het benthos zijn voor de visserij gesloten gebieden wenselijk (Bergman c.s., 1991; Lindeboom en De Groot, 1998.). Een gebied waar een 100-tal windturbines staan zal een oppervlak van ca. 25km² (inclusief de veiligheidszone) beslaan. Zo een gebied is mogelijk geschikt voor de bestudering van de ontwikkeling van de bodemfauna (benthos) en de daarop levende vissen en schaaldieren. Afgezien van de visserijdruk is de verwachting dat de belangrijkste omgevingsfactoren op de zeebodem van een windpark gelijk zullen zijn aan het omringende beviste gebied. Een onzekerheid wordt evenwel gevormd door mogelijke ontgrondingsverschijnselen (scour) en stromingsverschijnselen rondom de turbines. Een gesloten gebied zal voor opgroeiende vis, m.n. schol en tong een tijdelijk refugium kunnen zijn. Uiteindelijk zal de vis er van weg zwemmen (Heincke's wetmatigheid, schol moet bij ouder worden naar dieper water). Een refugium zal voor de visserij dan ook geen verlies van commerciële soorten inhouden.

5. De trillingen (vibratie) veroorzaakt door de werkende windturbines

De draaiende windturbine zal zijn, weliswaar geringe, trillingen zowel rechtstreeks als via de lucht overdragen op het omringende water. Dit geluid zal zeker door de vissen worden waargenomen. Met welke consequentie valt niet direct te zeggen. Er zullen in situ metingen dienen plaats te vinden. De groep vissen die het best geluiden waarnemen, de ostariophysi. horen goed tussen de 100 - 1500 Hz, maar sommige horen tot 7000 Hz. De gehoordrempel ligt laag, tussen de -40 en -60 dB μ b (Tavolga, 1971). Kabeljauwachtigen (Kabeljauw, wijting, enz.) zijn voorbeelden van vissen die wegzwemmen van een geluidsbron (Chapman, 1976). Maniwa, 1976, geeft voorbeelden van vissen die worden aangetrokken door een geluidsbron. Behalve de geluiden die vissen waarnemen met hun gehoororgaan, nemen zij ook laag frequente trillingen waar met de zijlijn-organen. Het zijn meestal de trillingen in het near-field die zo worden waargenomen. Maar de zijlijn kanalen (laterale zintuigen) op de kop dienen ook voor het richting-horen in het far-field. (Coombs c.s., 1989).

Er zijn geen gegevens beschikbaar over de verwachte trilling c.q. geluidsfrequenties van in zee geplaatste windturbines. Wel is in te schatten dat deze laag frequent zullen zijn, dat wil zeggen geheel binnen de gehoorfrequenties van vissen, inclusief de zijlijnorganen. Om de ernst hiervan te bepalen, zouden deze moeten worden vergeleken met de geluiden geproduceerd door varende en vissende schepen. Het geheel dient te worden afgezet tegen het achtergrondgeluid (ambient noise) van de zee zelf. (zie bv. Mitson, 1995). Vis zwemt weg van geluid meer dan 30dB. Op schepen reageren vissen op een afstand van 100-200 m. Is een schip zeer lawaaiig dan reageren zij reeds op 400 m afstand. Een vissend schip produceert 5-15 dB meer dan een varend schip. De geluidsdrempels van een aantal vissoorten is weergegeven in Figuur 5 (Mitson, 1995).

6. Effecten van het magnetisch veld rond een elektrische kabel

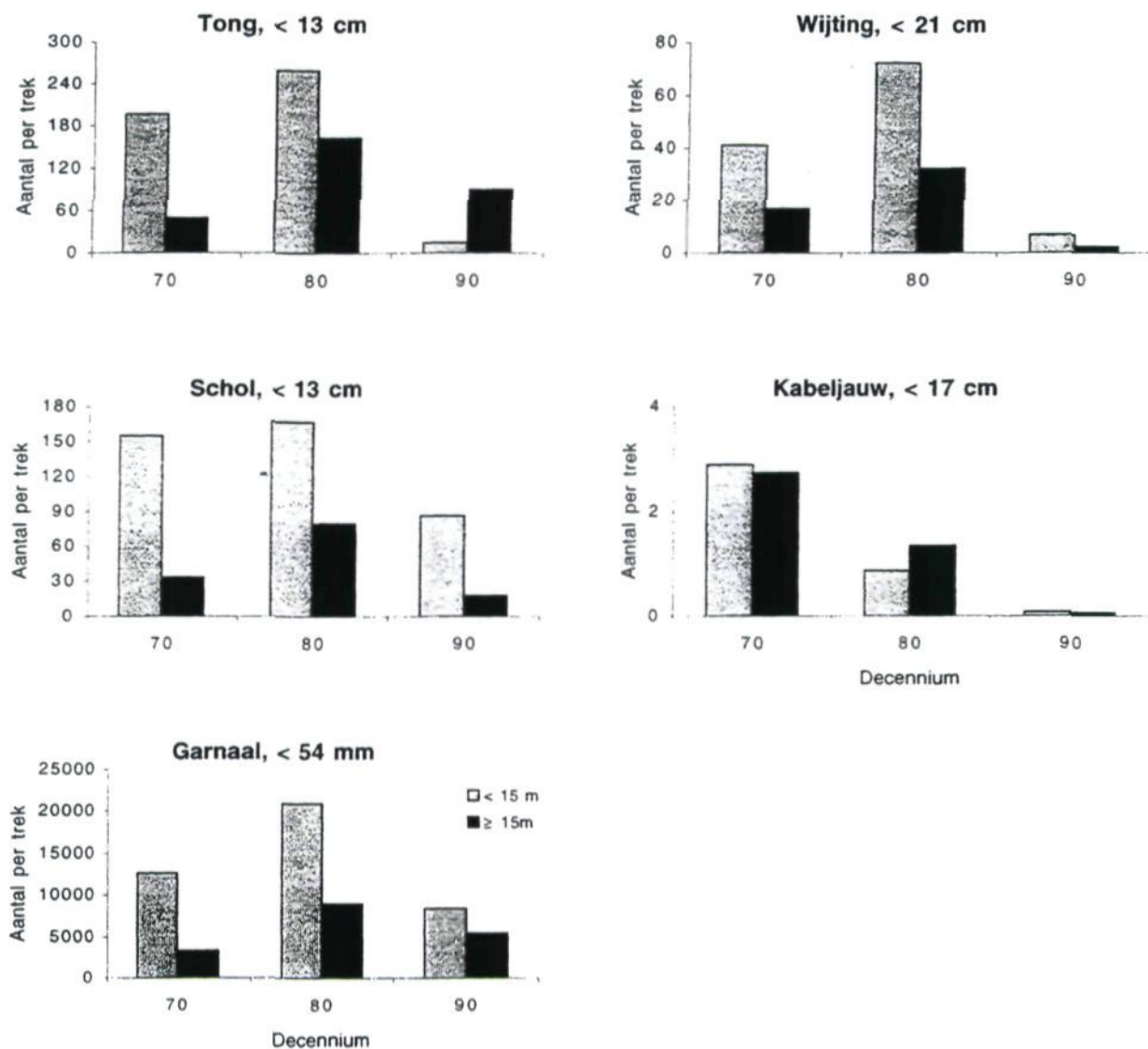
Voor het transport van elektrische stroom via een kabel wordt de stroom vaak omgezet in gelijkspanning en komen er hoge voltages voor. Voor de scheepvaart, waaronder de visserij, kan dit betekenen dat de magnetische kompassen worden beïnvloed. Uit Duits onderzoek is gebleken dat een krachtstroomkabel een magnetisch kompas doet afwijken binnen een afstand van 80m. Recht boven de kabel vertoont het kompas een afwijking van 35 – 70° al naar gelang de afstand tussen kompas en kabel 20 of 5 meter bedraagt. (Uhlig en Schulz, 1993)

Maar ook vissen, m.n. haaien en roggen (kraakbeenvissen) reageren op elektrische spanningsvelden. Bij haaien en roggen is aangetoond dat deze op een spanning van 0,01µV/cm reageren, zodat ze zelfs in staat zijn de kieuwbeweging tijdens de ademhaling van een schol waar te nemen. (Bennett, 1971)

Wat de invloed van de magnetische velden is op het trekgedrag en voorkomen van vissen (kraakbeen- en beenvissen) is niet te zeggen. Wel is het probleem te ondervangen door de kabels in een stalen buis (pijpleiding) te leggen. De kabels (en de buizen) dienen voldoende ingegraven te liggen om niet door de visserij te worden beschadigd. De ingravingseisen zijn die voor pijpleidingen van geringe diameter (< 40cm) in een gevoelig gebied. Dit wil zeggen niet 0,20 cm ingraven (bovenzijde pijpleiding tot zeebodem) maar op een diepte van 1m. De wijze van leggen kan milieuvriendelijk via een spool(haspel) methode, vanaf een schip (reel-barge) af of vanaf het land. Na legging zal de kabel (pijpleiding) dienen te worden ingegraven.

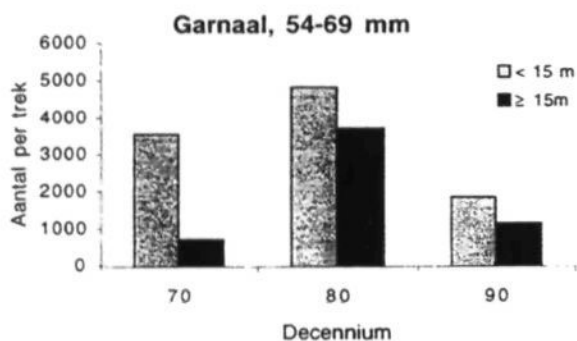
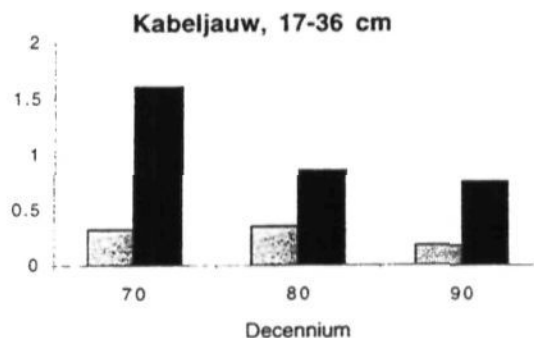
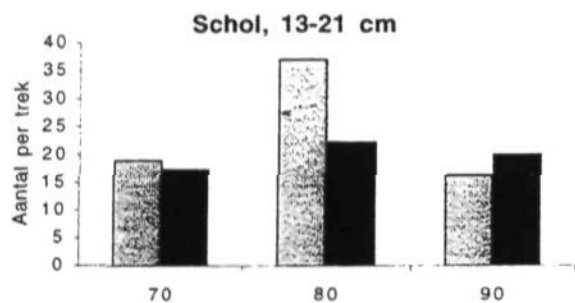
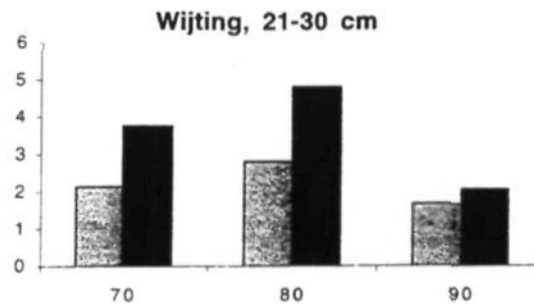
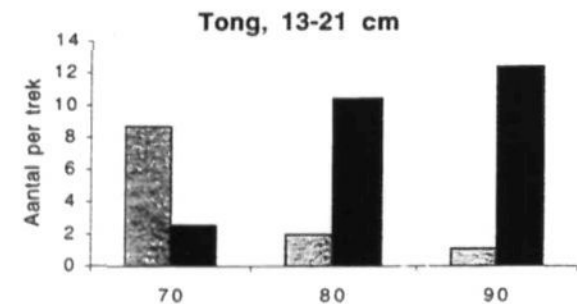
7. Referenties

- Bennett, M.V.L., 1971. Electroreception. In: W.S. Hoar en D.J. Randall (eds) *Fish Physiology*. Vol. 5. Sensory Systems and Electric Organs, New York, pp 493 - 574.
- Bennett, R., 1974. Some of the effects of Oil Exploitation and Production on Fishing Operations. In: *Fisheries and Hydrocarbons a Symposium held at British Petroleum Ltd. Britannic House, London, 127 the November 1974*, pp 28 - 43.
- Bergman, M.J.N., c.s., 1991. Beschermde gebieden Noordzee-noodzaak en mogelijkheden. NIOZ-Rapport 1991 - 3, 195 pp.
- Chapman, C.J., 1976. Some observations on the reactions of fish to sound. In: A. Schuyf en A.D. Hawkins (eds.) *Sound Perception in Fish*, Amsterdam, pp 241 - 255.
- Coombs, S., P. Görner en U. Münz (eds), 1989. *The Mechanosensory. Lateral Line. Neurobiology and Evolution*, New York, 724 pp.
- Lindeboom, H.J., en S.J. de Groot (eds), 1998. The effects of different types of fisheries on the North Sea and Irish Sea benthic ecosystems. NIOZ-Rapport 1998-1, 404 pp.
- Maniwa, Y., 1976. Attraction of bony fish, squid and crab by sound. In: A. Schuyf en A.D. Hawkins (eds). *Sound Reception in Fish*, Amsterdam, pp. 271 - 283.
- Mitson, R.B., 1995. Underwater noise of research vessels. Review and Recommendations. ICES. Coop.Res.Rep. no.209:1 - 60
- Rijnsdorp, A.D., Buys, A.M., Storbeck, F., Visser, E.G. 1998. Micro-scale distribution of beam trawl effort in the southern North Sea between 1993 and 1996 in relation to the trawling frequency of the sea bed and the impact on benthic organisms. *ICES Journal of Marine Science* 55: 403-419.
- Rijnsdorp, A.D., Dol, W., Hooyer, M., and Pastoors, M.A. 1999. Effects of fishing power and competitive interactions among vessels on the effort allocation on the trip level of the Dutch beam-trawl fleet. *ICES CM* 1999/R:05
- Rijnsdorp, A.D., Maurik Broekman, P.L. van, and Visser, E.G. (submitted). Competitive interactions among beam trawl vessels exploiting local patches of flatfish in the North Sea. *ICES J. Mar. Sci.*
- Tavolga, W.N., 1971. Sound production and detection. In W.S. Hoar and D.J. Randall (eds). *Fish Physiology*. Vol. 5 Sensory Systems and Electric Organs. New York, pp. 135 - 205
- Uhlig, H.R., and R. Schultz, 1993. Ablenkungen des Magnetkompasses durch zur Energieübertragung bestimmte HGU-Kabel. (Hochspannung-Gleichstrom,bertragung) *Dt.Hydr.Zeitschr.* 45(5): 337 - 358.



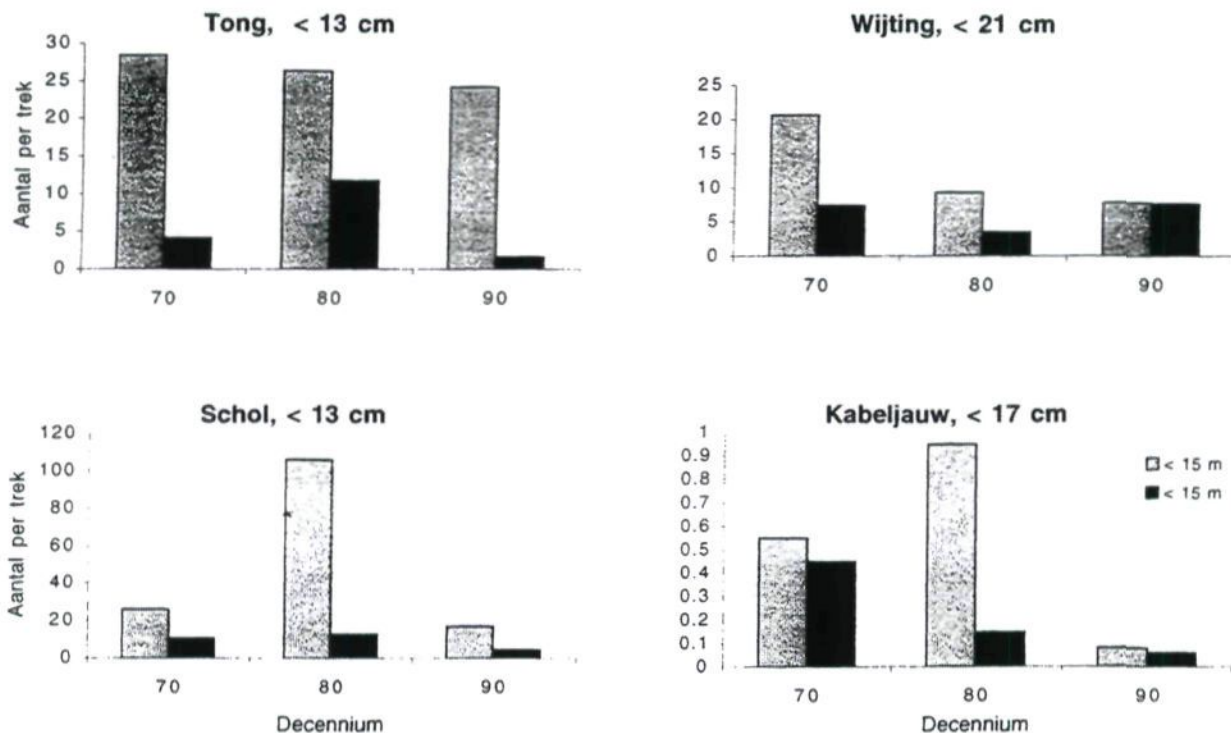
Figuur 1

Per decennium en voor twee diepte strata, de gemiddelde vangst aan 0-jarige vissen (en nog niet marktwaardige garnaal) van soorten die belangrijk zijn voor de visserij. Gegevens afkomstig uit Demersal Fish Survey (DFS: RIVO-DLO)

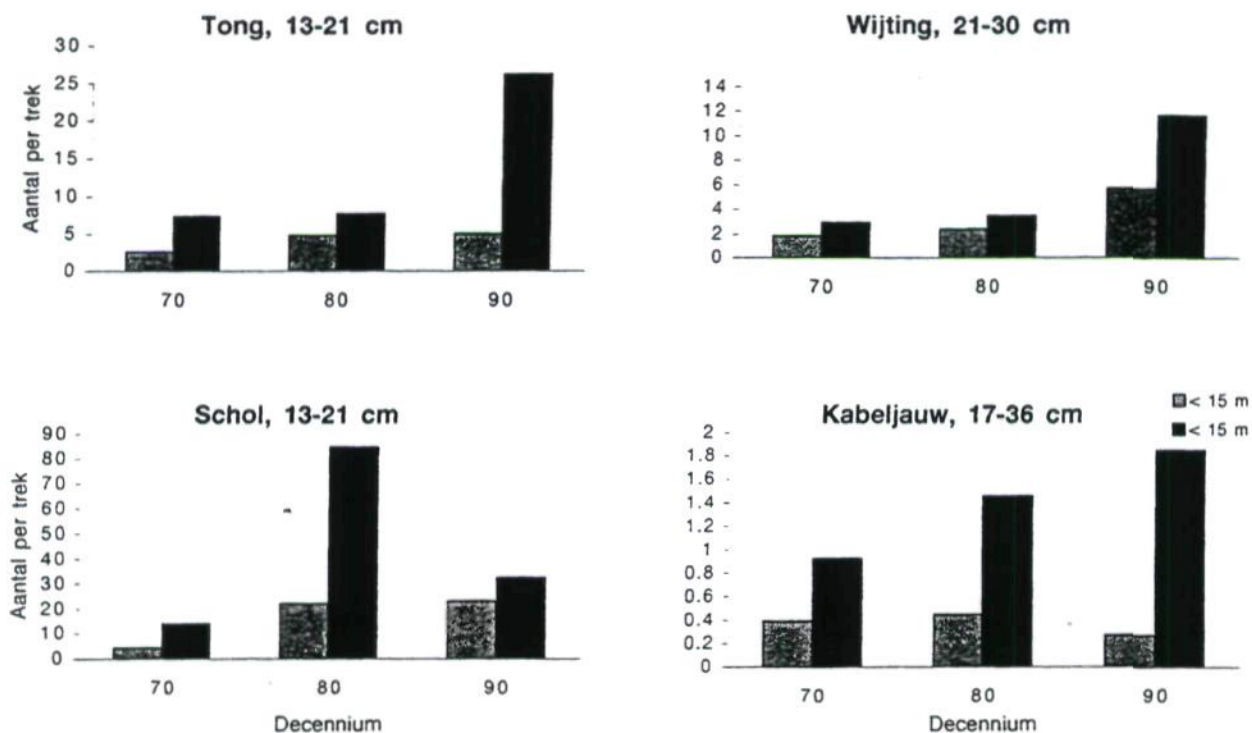


Figuur 2

Per decennium en voor twee diepte strata, de gemiddelde vangst aan ± 1 jaar oude vis (en marktwaardige garnaal) van soorten die belangrijk zijn voor de visserij. Gegevens afkomstig uit Demersal Fish Survey (DFS: RIVO-DLO)

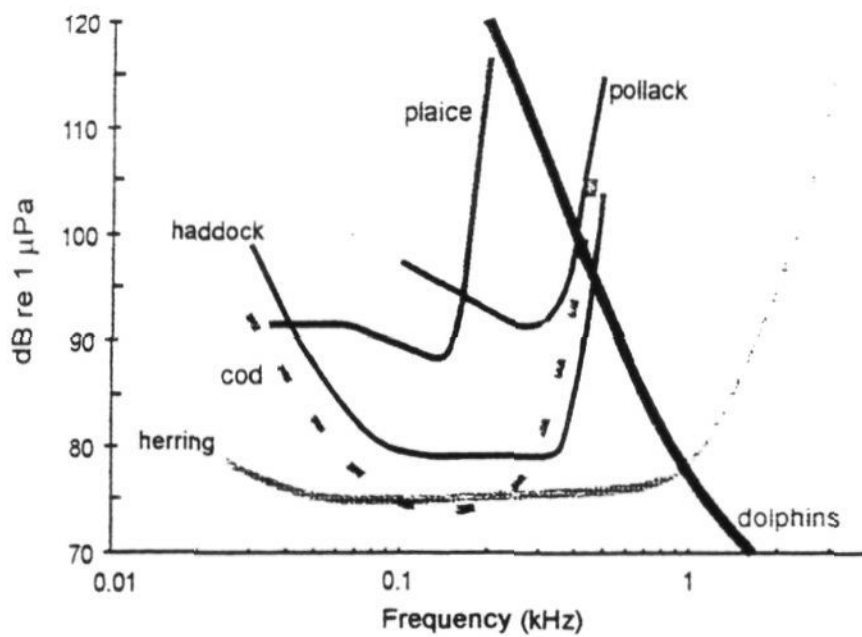


Figuur 3
Per decennium en voor twee diepte strata, de gemiddelde vangst aan 0-jarige vissen van soorten die belangrijk zijn voor de visserij.
Gegevens afkomstig uit Sole Net Survey (SNS: RIVO-DLO)

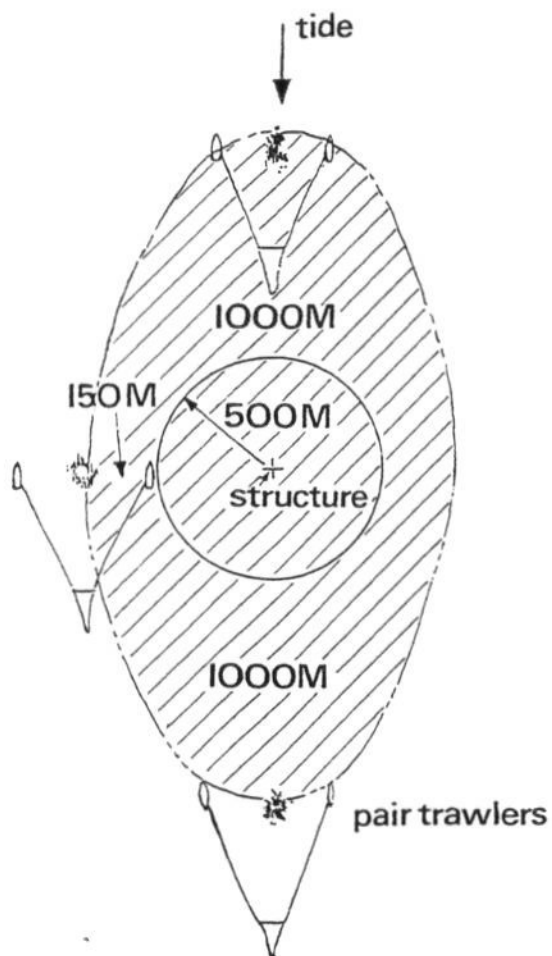


Figuur 4
Per decennium en voor twee diepte strata, de gemiddelde vangst aan ± 1-jaar oude vis van soorten die belangrijk zijn voor de visserij.
Gegevens afkomstig uit Sole Net Survey (SNS: RIVO-DLO)

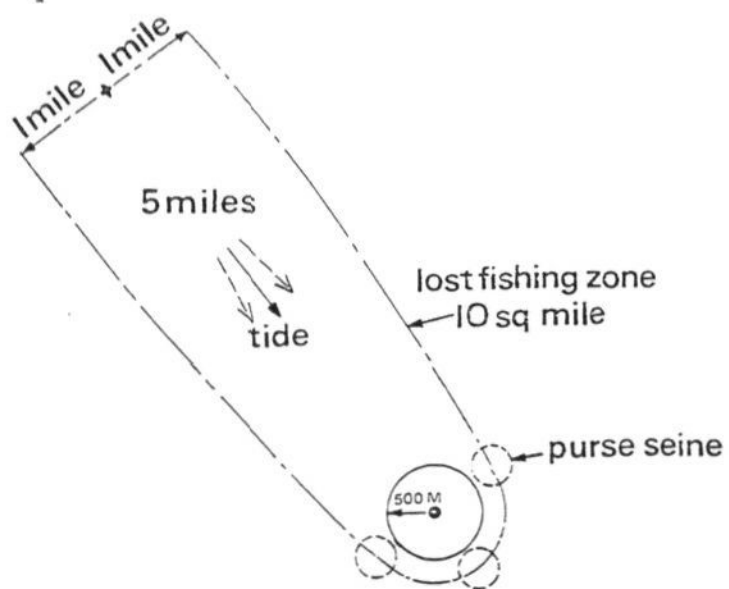
Figuur 5 - De geluidsdrampels (geluidsdruck) van een aantal vissoorten (haring, kabeljauw, schelvis, schol, witte koolvis, dolfijn). Duidelijk zijn de relatieve gevoeligheden van de soorten te zien (In Mitson (1995)).



Figuur 6 - Verloren visgrond als gevolg van een gesloten gebied (bv. boorplatform met 500 m veiligheidszone) (naar Bennett, 1974).



Figuur 7- Verloren visgrond als gevolg van een gesloten gebied (bv boorplatform met 500 m veiligheidszone) (naar Bennett, 1974)



**N. DEMONSTRATIEPROJECT NEAR SHORE WINDPARK,
MOGELIJKE INTERFERENTIE MET MIJNBOUWACTIVITEITEN**

NITG-TNO, 1999

TNO-rapport
NITG 99-66-C

Demonstratieproject Nearshore Windpark, mogelijke interferentie met mijnbouwactiviteiten

Datum

09 september 1999

Auteur(s)

Dr. J.N. Breunese

Prins Hendrikklaan 105
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

Projectnummer

005.80031/01.02

Opdrachtgever

Ministerie van Economische Zaken

Alle rechten voorbehouden

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook, zonder voorafgaande
toestemming van TNO

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor
onderzoeksovereenkomsten aan TNO', dan
wel de betreffende ierzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 1998 TNO

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO
is gevestigd in Delft en Utrecht en heeft nevenvestigingen in
Heerlen, Nuenen en Zwolle

Het instituut is het centrale geowetenschappelijke informatie-
en onderzoeksinstituut van Nederland, ten behoeve van het
duurzaam beheer en gebruik van de ondergrond en de
ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen

Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Inhoud

1.	Inleiding	3
2.	Onderzoeksgebieden	3
3.	Aanpak en overwegingen.....	3
4.	Resultaten.....	4
	Bijlagen 1, 2, 3 en 4.	

1. Inleiding

Op verzoek van de afdeling Mijnwezen van de Directie Olie en Gas van het Ministerie van Economische Zaken heeft het NITG-TNO een overzicht opgesteld van mogelijke vormen van interferentie tussen activiteiten in het kader van het demonstratieproject Nearshore Windpark (NSW) en mijnbouwactiviteiten, i.c. verkenning, exploratie en winning van aardolie en aardgas. Deze notitie geeft een samenvatting van dat onderzoek.

2. Onderzoeksgebieden

Voor het NSW-project zijn zes gebieden als voorlopige locatie-opties aangegeven:

Zandvoort	<	15 m
Zandvoort	>	15 m
IJmuiden II	<	15 m
IJmuiden II	>	15 m
Katwijk		
Egmond		

De betreffende locaties zijn aangegeven in de Bijlagen 1 (IJmuiden II), 2 (Zandvoort), 3 (Katwijk) en 4 (Egmond).

De volgende uitgangspunten m.b.t. het NWS-project zijn overgenomen uit externe informatie:

- het voornemen is om het NSW-project op korte termijn in ontwikkeling te brengen en uiterlijk in het jaar 2002 operationeel te maken (bepalend voor de tijdhorizon);
- de onderlinge afstand tussen de windmolens zal ca. 400 meter bedragen; rekening houdend met de ruimte voor de rotorbladen blijft er dan een maximale vrije ruimte tussen de windmolens van ca. 350 meter (bepalend voor de eventuele toegankelijkheid van een windmolenpark voor andere activiteiten).

3. Aanpak en overwegingen

In eerste aanleg is een overzicht gemaakt van de bestaande situatie in de gebieden m.b.t. mijnbouwobjecten en -activiteiten, gebaseerd op de bij het NITG beschikbare gegevens. Deze informatie is grafisch weergegeven in de Bijlagen. Vervolgens is de interferentie met bestaande en mogelijke toekomstige mijnbouwactiviteiten en -objecten onderzocht. Daarbij zijn de volgende aspecten zijn beschouwd:

De mijnwettelijke vergunnings situatie

Daar waar geen mijnwettelijke vergunning van kracht is, kunnen geen mijnbouwactiviteiten worden ontplooid (m.u.v. seismisch onderzoek).

Bedekking van een locatie met moderne drie-dimensionale seismiek

Zodra een windmolenpark wordt gerealiseerd, zal het niet meer mogelijk zijn om seismiek op de gebruikelijke wijze op te nemen met kabels, drijvend gesleept achter schepen. In principe bestaat de mogelijkheid om de opnamekabels op de zeebodem uit te leggen; niettemin zal seismische registratie dan toch moeilijk zijn.

Status van boringen, die reeds in een gebied zijn gezet

Indien een boring definitief is verlaten, is de mogelijkheid om daar later opnieuw gebruik van te maken praktisch gesproken afgesneden.

Indien een boring tijdelijk is verlaten, kan het zijn, dat de oliemaatschappij in kwestie later besluit alsnog verdere activiteiten in dat boorgat te gaan uitvoeren. Het plaatsen en gebruiken van een boorplatform in een windmolenpark zal echter praktisch onmogelijk zijn.

Reeds ontdekte aardolie- of aardgasvoorkomens

De realisatie van een windmolenpark kan de nadere verkenning, ontwikkeling en in productie name van een reeds ontdekt voorkomen van aardolie of aardgas hinderen (c.q. duurder maken) of zelfs onmogelijk maken.

Prospects

Op geologische gronden kan het bestaan van een aardolie- of aardgasvoorkomen worden vermoed. Het uitvoeren van een exploratieboring en, in geval van succes, het in ontwikkeling nemen van een ontdekt voorkomen kan op moeilijkheden stuiten om dezelfde redenen als genoemd bij reeds ontdekte voorkomens.

Gezien de onzekerheden met betrekking tot de feitelijke realisatie van toekomstige exploratie- en exploitatie-activiteiten op de onderzochte locaties is hier volstaan met het geven van een relatieve weging van de NSW locatie-opties.

4. Resultaten

Mijnbouwactiviteiten

In geen van de zes gebieden (inclusief een veiligheidszone van 500 m. daaromheen) vinden momenteel mijnbouwactiviteiten plaats.

Vergunnings situatie

De beide IJmuiden II locaties (Bijlage 1) en de Egmond locatie (Bijlage 4) liggen geheel of deels in een gebied, waarvoor een vergunning voor exploratie en winning geldt. Deze vergunning (de winningsvergunning Q8) is in handen van Clyde Petroleum Exploratie B.V. Het realiseren van een windmolenpark zal voor dat gebied het uitvoeren van mijnbouwactiviteiten bemoeilijken.

In de andere drie gebieden kunnen, afgezien van seismisch onderzoek, in de toekomst alleen mijnbouwactiviteiten plaatsvinden, nadat daarvoor een vergunning is aangevraagd, verleend en van kracht geworden is. Dergelijke aanvragen liggen op dit moment niet voor.

Het kan niet worden uitgesloten, dat in de naaste toekomst alsnog een aanvraag voor opsporing van delfstoffen wordt ingediend, maar dit wordt door het NITG gezien de geologische evaluatie niet erg waarschijnlijk geacht.

Seismisch onderzoek

De gebieden Katwijk, IJmuiden II < 15 m en Egmond zijn inmiddels geheel bedekt met 3D seismiek. De overige drie gebieden zijn slechts gedeeltelijk met 3D seismiek bedekt (zie de inzet-figuren in de Bijlagen). Gelet op de geologische evaluatie kan het gewenst zijn om met name het gebied IJmuiden > 15 m verder met 3D seismiek te bedekken, alvorens een windmolenpark wordt gerealiseerd. De beslissing daartoe ligt uiteraard in de handen van de betreffende vergunninghouder Clyde Petroleum Exploratie B.V..

Boringen

In de onderzochte gebieden (incl. veiligheidszone van 500 m.) zijn de volgende boringen verricht:

Q10-05	Zandvoort > 15 m
Q11-01 (-S1)	Zandvoort < 15 m

Deze boringen zijn definitief verlaten. Het is dan ook onwaarschijnlijk, dat in de toekomst opnieuw gebruik zal worden gemaakt van deze boorgaten.

Vergunningen voor opsporing van koolwaterstoffen door middel van boringen worden voor een beperkte periode uitgegeven. Indien de gedurende de vergunningperiode geplaatste boringen niet leiden tot het aantonen van een economisch winbaar voorkomen, dan vervalt de vergunning en komt het gebied open voor eventuele nieuwe vergunningaanvragen. Dit verklaart, waarom een aantal van de in de Bijlagen aangegeven locaties van boringen zich buiten een vergunninggebied bevinden; deze boringen zijn op mijnwettelijke gronden definitief verlaten.

Aangetoonde aardolie- of aardgasvoorkomens

Het gebied Zandvoort > 15 m overlapt deels met het ontdekte aardgasvoorkomen Q7-FA, dat overigens niet in productie is genomen. Het wordt naar huidig inzicht niet erg waarschijnlijk geacht, dat dit voorkomen in de naaste toekomst in productie wordt gebracht. Mocht daartoe alsnog worden besloten, dan lijkt de overlap met het windmolenpark geen belemmering op te leveren voor de ontwikkeling van dit voorkomen: de zuidelijk punt van het voorkomen kan desgewenst van buiten het gebied worden bereikt met een gedeveerde boring.

De overige vijf gebieden hebben geen overlap met en reeds ontdekt aardgas- of aardolievoorkomen.

Mogelijk nog aan te tonen voorkomens

Alle gebieden hebben een (gedeeltelijke) overlap met prospectieve structuren, d.w.z. potentiële aardgas- of aardolievoorkomens, waarvan het bestaan (laat staan de economische winbaarheid) nog niet is aangetoond. Er bestaan volgens de bij NITG-TNO beschikbare informatie momenteel geen concrete plannen om boringen uit te voeren gericht op deze prospects. Dit zou vergunnings-technisch op dit moment overigens alleen maar mogelijk zijn in de vergunning Q8.

Los van overwegingen m.b.t. de vergunnings situatie heeft het NITG-TNO een relatieve weging opgesteld van de zes gebieden in termen van hun aantrekkelijkheid voor het plaatsen van een exploratieboring. De weging is vooral gebaseerd op de geschatte kans, dat er daadwerkelijk een economisch winbaar voorkomen van aardolie of aardgas zou worden aangetroffen.

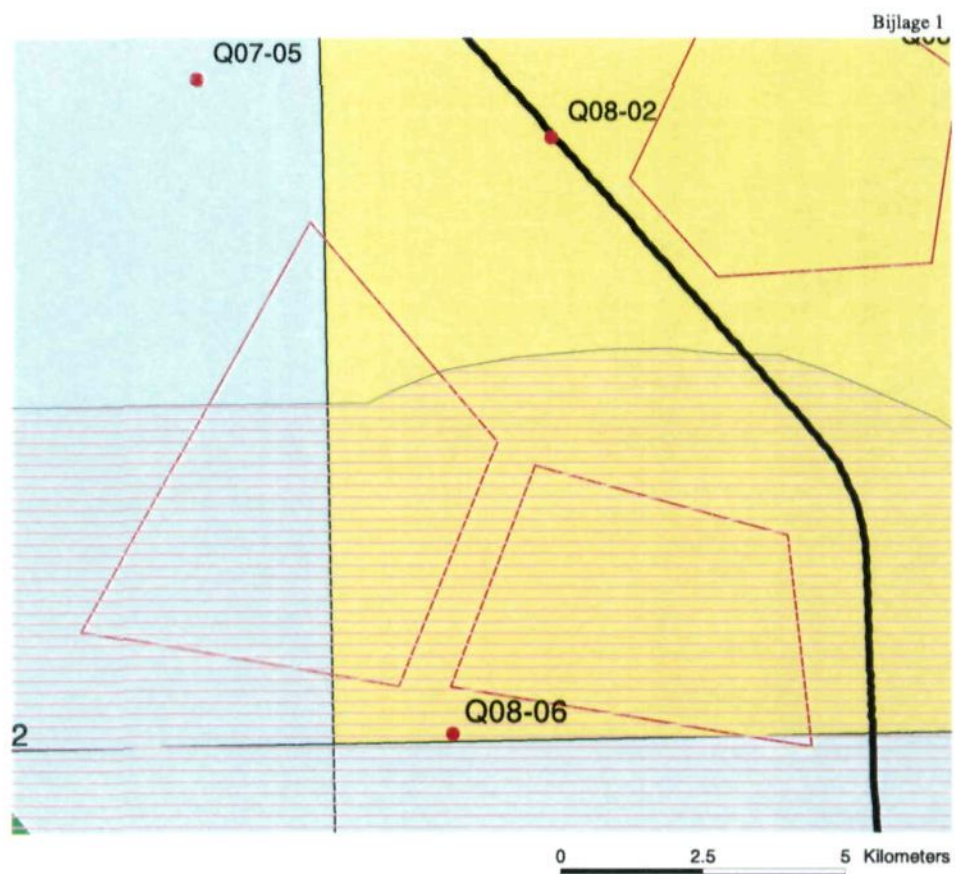
Gezien de geologische evaluatie en gelet op de exploratieresultaten in het verleden, kan geen van de zes gebieden als hoog prospectief worden aangemerkt. De kwalificatie luidt dan:

- | | |
|----------------------|-----------------------------|
| ▪ Egmond | matig prospectief |
| ▪ IJmuiden II < 15 m | matig prospectief |
| ▪ IJmuiden II > 15 m | matig prospectief |
| ▪ Zandvoort < 15 m | weinig tot niet prospectief |
| ▪ Zandvoort > 15 m | weinig tot niet prospectief |
| ▪ Katwijk | weinig tot niet prospectief |

Slotopmerkingen

De bovenstaande kwalificatie van de locatie-opties in termen van prospectiviteit voor olie of gas is uiteraard gebaseerd op de huidige gegevens en inzichten. Het kan niet worden uitgesloten, dat hierin in de toekomst verandering komt ten gevolge van voortschrijdend inzicht of nieuwe gegevens.

Met uitzondering van de gebieden Katwijk en Egmond liggen de NSW locatie-opties geheel of deels in een restrictie-gebied in verband met scheepvaart.



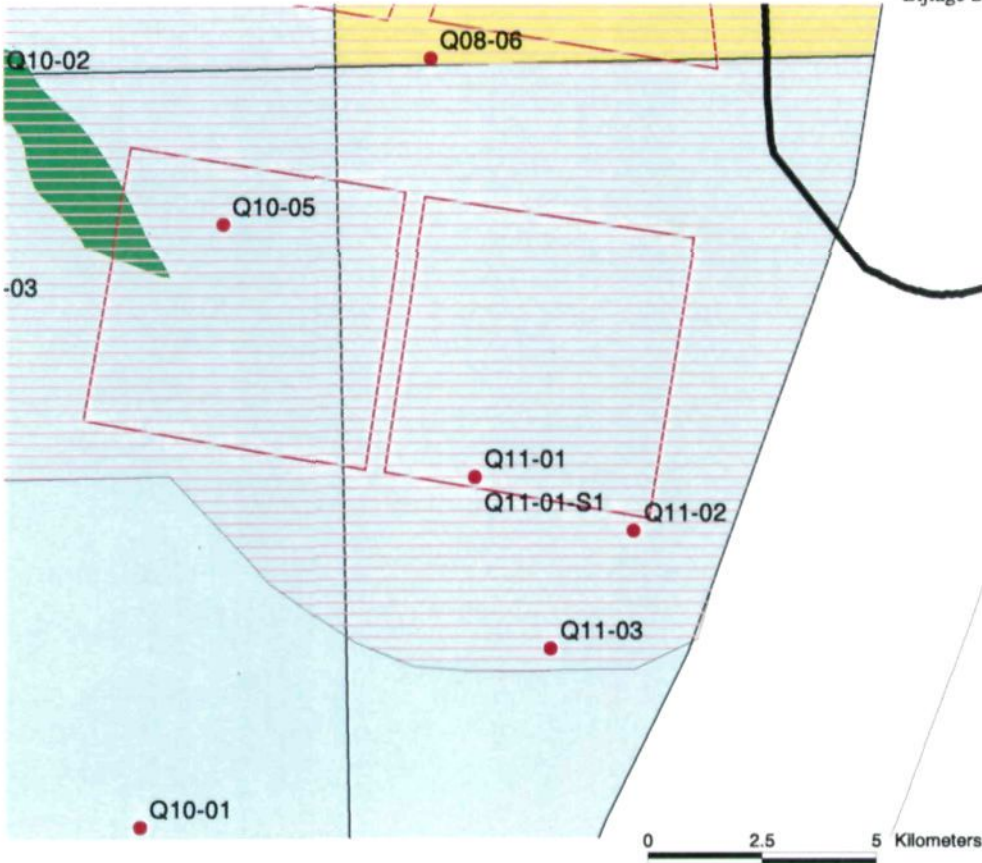
Legenda

-  locatie IJmuiden
-  Scheepvaart-route
-  Winningsvergunning
-  Boring
-  Pijpleiding (Gas)

3D bedekking



Bijlage 2



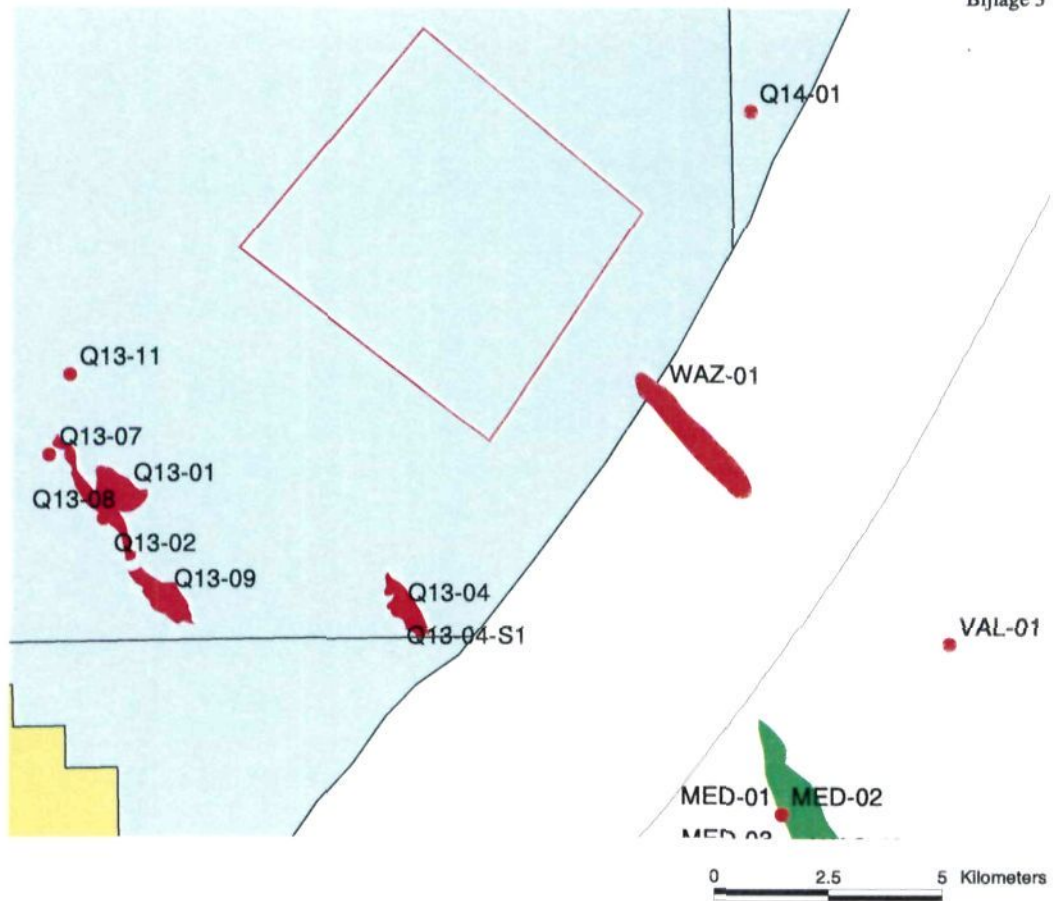
Legenda

- locatie Zandvoort
- Scheepvaart-route
- Winningsvergunning
- Gasveld
- Boring
- Pijpleiding (Gas)

3D bedekking



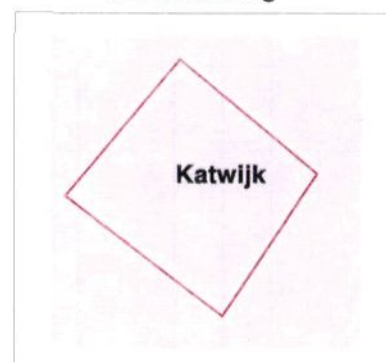
Bijlage 3



Legenda

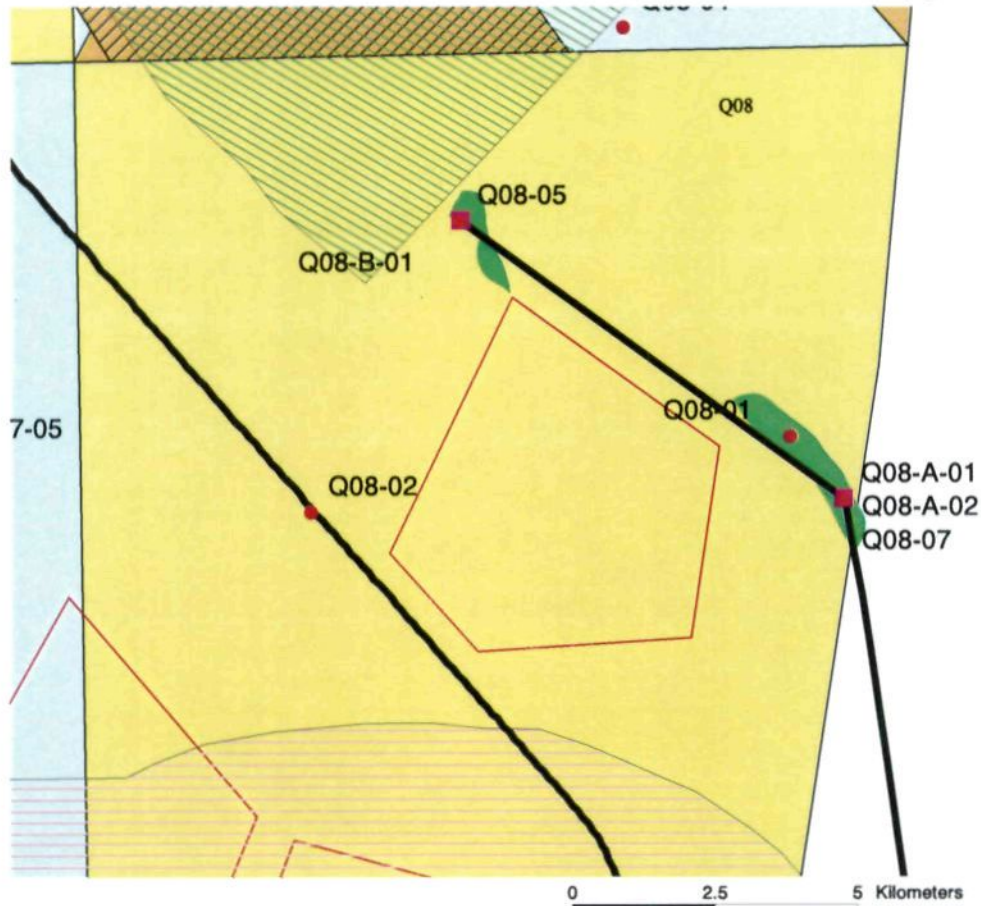
-  locatie Katwijk
-  Olieveld
-  Gasveld
-  Winningsvergunning
-  Boring

3D bedekking



De Egmond, de Noordzee en de Waddenzee

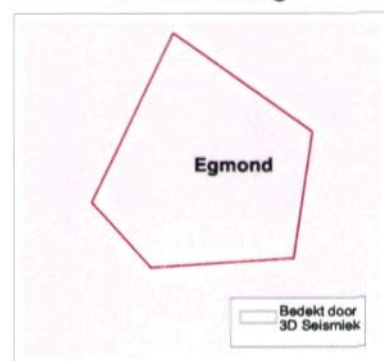
Bijlage 4



Legenda

-  locatie Egmond
-  Gebied met restricties
-  Scheepvaart-route
-  Opsporingsvergunning
-  Winningsvergunning
-  Gasveld
-  Boring
-  Pijpleiding (Gas)

3D bedekking



O. LEERDOELEN TECHNIEK EN ECONOMIE

Novem, 1999

Leerdoel	Resultaten	Beschrijving	Meetmethode	Representativiteit voor offshore parken	Minimale evaluatie tijd	Minimale park-omvang
Windturbines aanpassen aan maritieme klimaat	Langere levensduur en grotere onderhoudsintervallen van windturbines op zee	Door windturbines (verder) aan te passen aan het maritieme klimaat kan de levensduur van de turbines worden verlengd en kunnen storingen en onderhoudsbeurten worden beperkt. Zout, water, golven, meer UV en een ander windregime zorgen voor een andere en extra aanslag op de verschillende componenten van turbines op zee ten opzichte van op land. De aanpassing van turbines aan deze omstandigheden is kostbaar. Met de ervaring van het NSW moeten betere en goedkopere manieren van aanpassen worden ontwikkeld.	Registratie	Ervaringen zijn te vertalen naar eisen voor toekomstige offshore parken.	5 tot 10 jaar	5 tot 10 turbines
			Inspectie			
Effecten van gecombineerde belasting turbines door wind en golven	Verlagen investeringskosten door betere en minder zware ontwerpen van (componenten van) windparken	Er is geen ervaring met de combinatie van wind- en golfbelastingen op offshore constructies. Het gebruik van afzonderlijke rekenmodellen voor respectievelijk windbelastingen en golfbelastingen leidt tot (onnodig) zware en dure constructies. Aangepaste rekenmodellen, met een integrale benadering van deze belastingen, leiden in theorie tot aanzienlijk lichtere constructies. Met het NSW kunnen deze theoretische modellen worden verbeterd, gevalideerd en afgestemd op de specifieke kenmerken van offshore parken.	Windmetingen	Representatief	5 jaar	enkele turbines
			Meting golfhoogten			
			Opnemers op de turbines en funderingen om de belastingen te meten			
Invloed van funderingen op de morfologie	Kostenreductie door funderingen te kunnen ontwerpen die niet overgedimensioneerd hoeven te zijn	Over de randvoorwaarden die de morfologie van de zeebodem stelt aan de plaatsing van grote aantallen funderingen is weinig bekend. Een precies inzicht in de mate van erosie rond funderingen ontbreekt momenteel. Funderingen moeten daarom (nu nog) op extreme situaties zijn berekend. Inzichten in de morfologische effecten rond de funderingen van turbines van het NSW kunnen bij andere windparken worden gebruikt om betere, lichtere en goedkopere funderingen te ontwerpen.	Peilingen naar voorkomen zandgolven en boringen naar bodemgesteldheid voor plaatsing van de windturbines	Levert bruikbare informatie om voor andere locaties funderingen te kunnen berekenen.	5 tot 10 jaar	enkele tientallen turbines
			Jaarlijkse metingen na plaatsing van de turbines			
Seriematig plaatsen van grote aantallen funderingen en turbines	Kostenreductie door het seriematig plaatsen van grote aantallen funderingen en turbines	In de offshore industrie is nauwelijks tot geen ervaring met de seriematige bouw van constructies. Bij herhaling van werkzaamheden ontstaat routine en kunnen werkzaamheden sneller, effectiever en goedkoper worden uitgevoerd. Het NSW moet derhalve inzicht opleveren in de consequenties van het seriematige karakter voor het ontwerp van turbines en funderingen, voor de logistieke operaties en voor de constructie en installatie van de turbines.	Registraties en inspecties	Representatief	1 tot 2 jaar	50 tot 100 turbines
			Ontwerp van het logistieke proces en toetsing daarvan in de praktijk			
			Tijdens de constructiefase wordt een knelpuntenanalyse opgesteld			