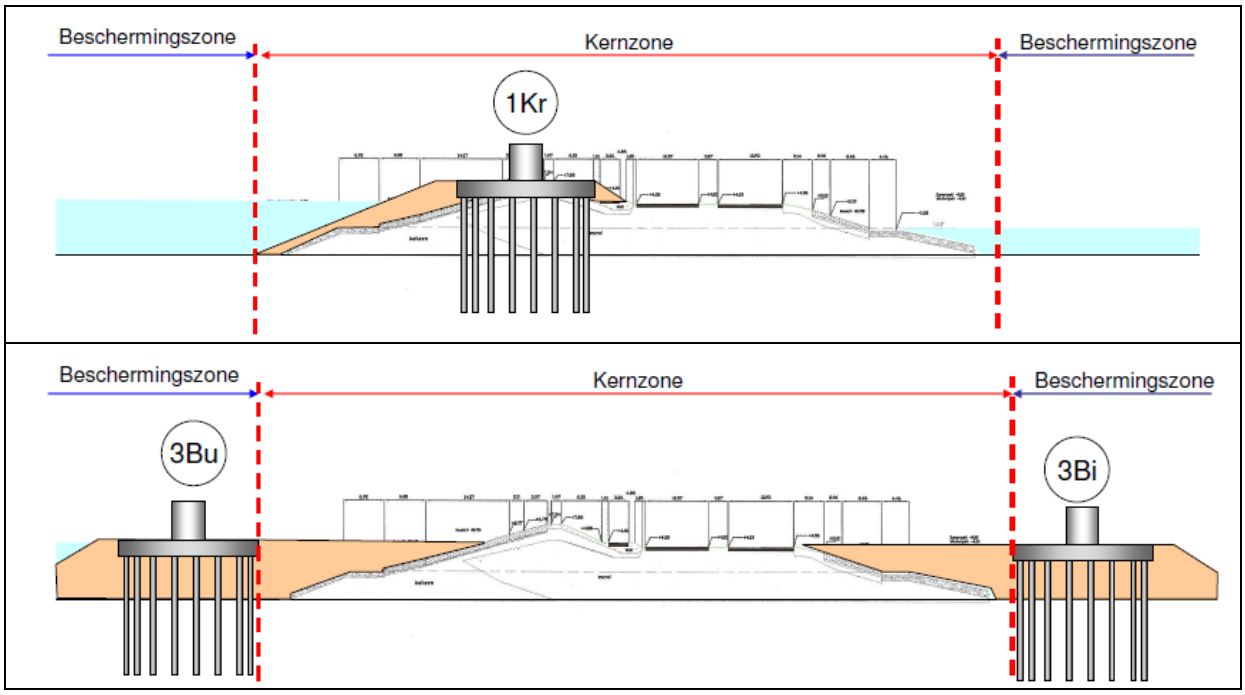


Onderzoek technische mogelijkheden windturbines Afsluitdijk

Verkenning van de technische haalbaarheid

Rijkswaterstaat, Waterdienst

7 december 2012
Eindrapport
9Q0041

Royal HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONING NEDERLAND B.V.
RIVERS, DELTAS & COASTS

George Hintzenweg 85
Postbus 8520
3009 AM Rotterdam
+31 (0)10 443 36 66 Telefoon
info@rotterdam.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel	Onderzoek technische mogelijkheden windturbines Afsluitdijk Verkenning van de technische haalbaarheid
Verkorte documenttitel	Windturbines Afsluitdijk
Status	Eindrapport
Datum	7 december 2012
Projectnaam	Technische haalbaarheid windturbines Afsluitdijk
Projectnummer	9Q0041
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat, Waterdienst
Referentie	9Q0041/R00001/RS/Rott

Disclaimer **De in het voorliggende rapport beschreven resultaten en conclusies zijn niet bedoeld voor ontwerpdoeleinden.**

Auteur(s)	ir. J. Cools, ir. R. Speets
Collegiale toets	ir. D. Hordijk, ir. C. Sevink
Datum/paraaf	22 november 2012
Vrijgegeven door	ir. R. Speets
Datum/paraaf	7 december 2012

INHOUDSOPGAVE

			Blz.
1	INLEIDING		1
	1.1	Achtergrond	1
	1.2	Doelstelling en vraagstelling	2
	1.3	Projectafbakening	3
	1.4	Organisatie	4
	1.5	Leeswijzer	4
2	PROJECTAANPAK EN UITGANGSPUNTEN		5
	2.1	De gevolgde aanpak	5
	2.2	Overzicht van uitgangspunten	6
3	BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOEKSLOCATIES		14
	3.1	Representatieve dwarsprofielen	14
	3.2	Geselecteerde onderzoekslocaties	16
	3.2.1	Locaties DWP Afsluitdijk	17
	3.2.2	Locaties DWP Aansluitingen en werkeiland	19
	3.2.3	Locaties DWP Kornwerderzand	19
4	INVENTARISATIE VAN EFFECTEN		21
	4.1	Effecten op de functionaliteit van de waterkering	21
	4.2	Effecten op het beheer en onderhoud van de waterkering	24
	4.3	Effecten op toekomstige versterking van de waterkering	24
	4.4	Cumulatieve effecten	25
5	UITWERKING VAN EFFECTEN & MAATREGELEN		26
	5.1	Algemene opzet van de effectbeoordeling	26
	5.2	Overzicht resultaten effectbeoordeling	26
	5.3	Overzicht mogelijke maatregelen	29
	5.4	Nadere toelichting belangrijkste effecten en maatregelen	32
	5.4.1	Toelichting locaties 1Kr en 6Bi	32
	5.4.2	Toelichting locatie 2Bi	35
	5.4.3	Toelichting locatie 2Bu	36
	5.4.4	Toelichting locatie 3Bi	36
	5.4.5	Toelichting locatie 3Bu	37
	5.4.6	Toelichting locaties 4Bi en 4Bu	37
	5.4.7	Toelichting locaties 5Bi en 5Bu	37
	5.5	Ruimtelijke vertaling van resultaten naar het onderzoeksgebied	38
6	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN		43
	6.1	Inleiding en vraagstelling	43
	6.2	Effecten en maatregelen	44
	6.3	Conclusies	45
	6.4	Aanbevelingen	47
7	LITERATUUR		49

BIJLAGEN

1. Ligging stroomgeulen
2. Effectbeoordeling & maatregelen
3. Zonering technische haalbaarheid windturbines op de Afsluitdijk

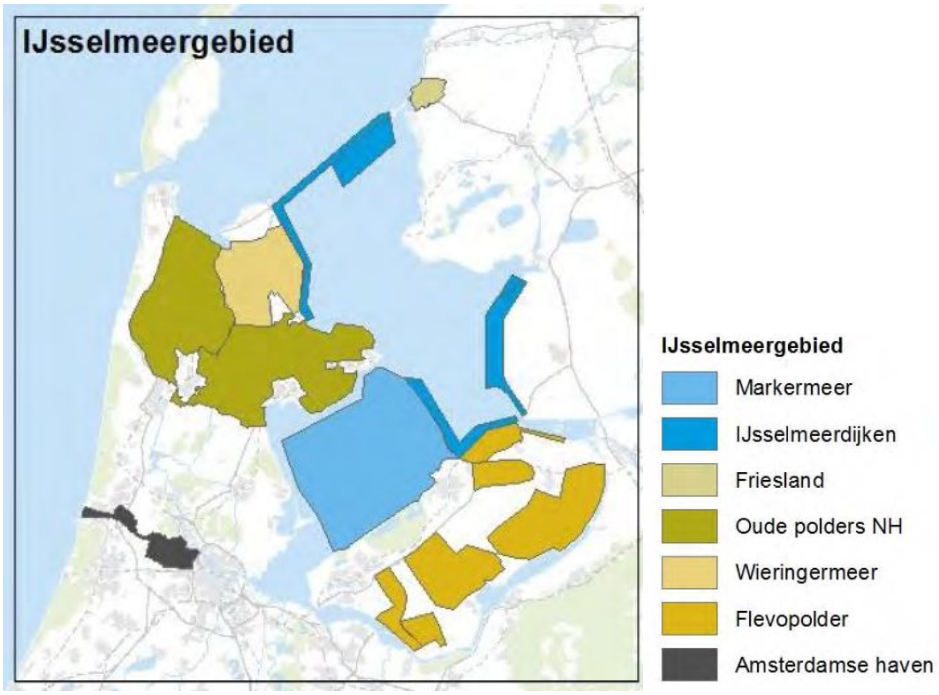
1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

Volgens de EU-richtlijnen moet duurzame energie in het jaar 2020 minstens 20 procent van Europa's energieverbruik uitmaken. Nederland heeft een doelstelling van 16 procent opgelegd gekregen. In 2011 stonden er in Nederland ongeveer 2100 windturbines op land, met een totaal opgesteld vermogen van circa 2300 MW. Het kabinet streeft naar een vergroting van deze capaciteit tot 6000 MW in 2020. Dit betekent dat er ruimte moet worden gevonden voor het plaatsen van veel nieuwe (en vooral grote) windturbines. Deze ruimte kan wellicht voor een deel worden gevonden op en nabij (primaire) waterkeringen.

De Afsluitdijk staat in de belangstelling bij windenergie producenten, parlement en overheid voor de mogelijke plaatsing van windturbines. Vanuit de markt liggen er momenteel meerdere initiatieven voor plaatsing van windturbines op de Afsluitdijk in de vorm van meldingen voor toepassing van de Rijkscoördinatieregelingen Energie-Infrastructuurprojecten. Deze moeten te zijner tijd beoordeeld worden op technische- en ruimtelijke haalbaarheid en wenselijkheid.

Op dit moment wordt op rijksniveau een Structuurvisie Windenergie op Land ontwikkeld, waarin voor heel Nederland (land en rijksbinnenwateren) de ruimtelijke mogelijkheden voor ontwikkelingen van grotere windparken (>100 MW) opgenomen worden. Een deel van de Afsluitdijk en directe omgeving wordt door het Rijk gezien als een mogelijk gebied voor de realisatie van een grootschalig windmolenpark (zie figuur 1.1).



Figuur 1.1 Potentiële gebieden voor grootschalige windenergie IJsselmeergebied (Uit: Voornemen Rijksstructuurvisie Windenergie op Land).

In een Kamermotie van 5 december 2011 is de regering opgeroepen om de optie van een windmolenpark op de Afsluitdijk door middel van een privaat-publieke samenwerking uit te werken en te betrekken bij de huidige voorbereidingen voor de verbetering/renovatie van de Afsluitdijk.

Het plaatsen van windturbines op of in de directe nabijheid van (primaire) waterkeringen (zeker wanneer het plaatsing in de kernzone betreft) is een nog niet toegepast concept, waarvoor de vigerende beleidsregel van Rijkswaterstaat geen ruimte biedt[1]. Deze beleidsregel wordt in dit onderzoek niet als uitgangspunt gehanteerd, omdat de ontwikkelingen in het licht van de lopende evaluatie van de beleidsregel nog niet duidelijk zijn. Het doel van de evaluatie is om de werking van de beleidsregel te beoordelen en of het noodzakelijk is om de beleidsregel aan te passen.

Plaatsing van windturbines op of in de nabijheid van waterkeringen mag uiteraard geen nadelige gevolgen hebben voor de waterstaatkundige functie van de waterkering. Daar waar de realisatie, de aanwezigheid, de toekomstige ontmanteling of achtergebleven funderingselementen na ontmanteling van windturbines nadelige effecten voor de functionaliteit van de waterkering met zich mee kunnen brengen, dienen maatregelen te worden getroffen of dient van plaatsing te worden afgezien. Ook is het voor de waterkeringbeheerder(s) van belang om al voorafgaande aan de realisatie een beeld te hebben van de eventuele gevolgen van op de waterkering geplaatste windturbines voor het beheer en onderhoud van de waterkering en toekomstige versterkingswerken.

1.2 Doelstelling en vraagstelling

De doelstelling voor het onderzoek is als volgt gedefinieerd:

Het verkennen van de technische haalbaarheid van plaatsing van windturbines op of in de onmiddellijke nabijheid (het gebied binnen de zonering van de legger) van de Afsluitdijk.

Met de resultaten van deze verkenning moet aan de Tweede Kamer kunnen worden aangegeven of, en zo ja onder welke (technische) voorwaarden windturbines op deze locatie geplaatst kunnen worden.

Op basis van het hiervoor geformuleerde doel hebben wij de volgende hoofdvraag voor het onderzoek geformuleerd:

Op welke locaties en onder welke condities is het mogelijk om windturbines op of nabij de Afsluitdijk te plaatsen, zonder de functionaliteit van de waterkering nadelig te beïnvloeden, het beheer en onderhoud van deze waterkering in onaanvaardbare mate te beïnvloeden en de geplande renovatie van de Afsluitdijk te belemmeren?

[1] 'Plaatsing van windturbines bij, op en/of over Rijkswaterstaatswerken' (Staatscourant 15 mei 2002, artikel 7). In deze beleidsregel staat:"Het is *niet* toegestaan windturbines te plaatsen in de kernzone van een primaire waterkering."

De hoofdvraag kan worden ontleed in een drietal deelvragen:

- *Beïnvloedt de realisatie van windturbines in de kern- of beschermingszone van de Afsluitdijk de functionaliteit van de waterkering?*

- *Beïnvloedt de realisatie van windturbines in de kern- of beschermingszone van de Afsluitdijk het beheer en onderhoud van de waterkering?*

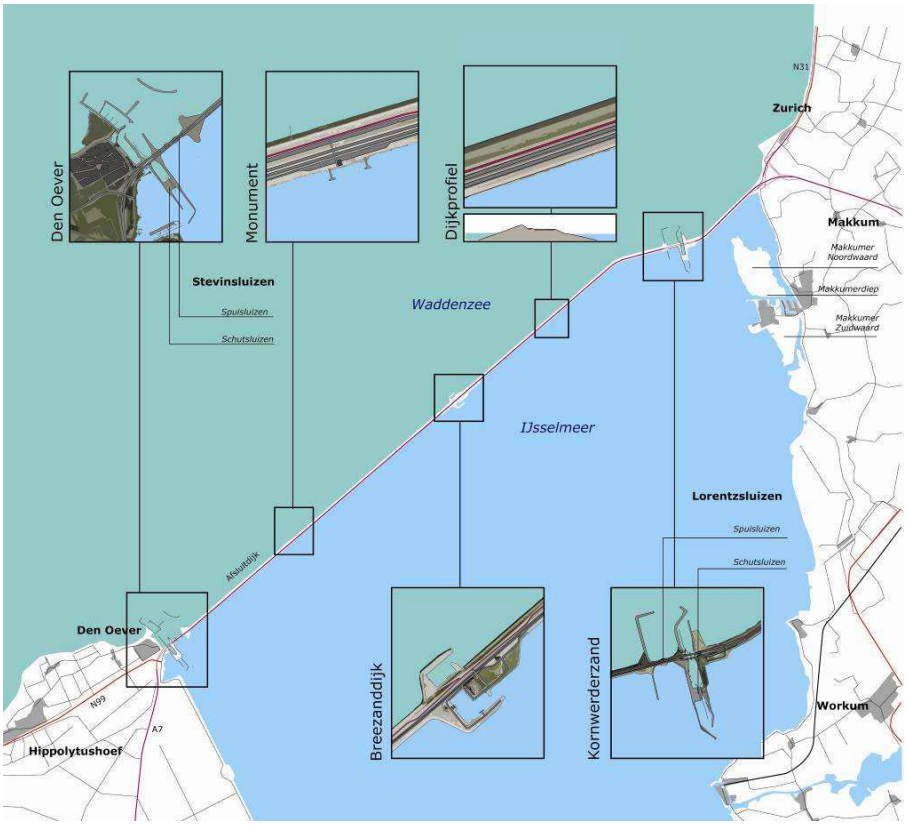
- *Kunnen in de kern- of beschermingszone van de gerenoveerde Afsluitdijk windturbines geplaatst worden en vormen deze een belemmering voor eventueel in de verdere toekomst benodigde versterking van de Afsluitdijk, en zo ja, op welke wijze?*

In deze studie is uitgegaan van een op dit moment beschikbaar ontwerp van een overslagbestendige dijk. Daarbij valt niet te zeggen of dit ook het uiteindelijk ontwerp voor de renovatie zal worden.

1.3 Projectafbakening

Het onderzoek heeft een verkennend karakter en richt zich alleen op de technische aspecten: functionaliteit, beheer- en onderhoud en gevolgen voor toekomstige versterkingswerken aan de waterkering. Overige aspecten zoals: gevolgen voor verkeer, scheepvaart, functionaliteit van de sluizen, ruimtelijke inpassing, ecologie en kosten worden niet beschouwd.

In deze verkenning worden de technische mogelijkheden voor plaatsing van windturbines langs de gehele Afsluitdijk beschouwd conform de vraag vanuit de Kamermotie van 5 december 2011. Het onderzoeksgebied wijkt hiermee dus enigszins af van de potentiële gebieden voor grootschalige windenergie, zoals aangegeven in het Voornemen Rijksstructuurvisie Windenergie op Land.



Figuur 1.2 Afsluitdijk en civieltechnische kunstwerken

1.4 Organisatie

Het project is inhoudelijk begeleid door de begeleidingsgroep met vertegenwoordigers van het ministerie van Infrastructuur en Milieu en Rijkswaterstaat (Waterdienst en Dienst IJsselmeergebied). De resultaten van de verkenning zijn teruggekoppeld naar een klankbordgroep waarin betrokken gemeenten en provincies vertegenwoordigd zijn.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de voor dit onderzoek gevolgde aanpak en de hierbij gehanteerde uitgangspunten. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op de geselecteerde onderzoekslocaties. Hoofdstuk 4 geeft een overzicht van alle mogelijke (nadelige) effecten die windturbines kunnen hebben op de functionaliteit, het beheer en onderhoud en de toekomstige versterkingen van de waterkering. Deze effecten worden vervolgens in hoofdstuk 5 beoordeeld voor de verschillende geselecteerde locaties. Hierbij worden ook mogelijke maatregelen benoemd die de effecten kunnen wegnemen of tot acceptabel niveau kunnen beperken. In hoofdstuk 5 worden de resultaten voor de onderzochte locaties ruimtelijk vertaald naar de gehele Afsluitdijk, waarbij verschillende zones worden gedefinieerd ten behoeve van de classificering van de technische mogelijkheden voor plaatsing van turbines. Hoofdstuk 6 beschrijft ten slotte de conclusies en aanbevelingen.

2 PROJECTAANPAK EN UITGANGSPUNTEN

2.1 De gevolgde aanpak

Om de technische haalbaarheid van plaatsing van windturbines op of in de onmiddellijke nabijheid van de Afsluitdijk in beeld te brengen is een stapsgewijze aanpak gevolgd. De stappen worden hieronder kort toegelicht.

Stap 1: formuleren van uitgangspunten
Allereerst zijn in overleg met de begeleidingsgroep de uitgangspunten bepaald. Hierbij ging het vooral om het te beschouwen type constructie (turbine en fundering) en de te hanteren basisgegevens. De uitgangspunten zijn beschreven in paragraaf 2.2.

Stap 2: selectie van onderzoekslocaties
Op basis van een representatief dwarsprofiel van de Afsluitdijk zijn de volgende representatieve locaties gekozen voor de verkenning:

- 'droge' locatie in de kernzone op de kruin van de dijk
- 'droge' locatie in de kernzone op het binnenbeloop van de dijk (IJsselmeerzijde)
- 'droge' locatie in de kernzone op het buitenbeloop van de dijk (Waddenzeezijde)
- 'natte' locatie in de beschermingszone aan de IJsselmeerzijde van de dijk
- 'natte' locatie in de beschermingszone aan de Waddenzeezijde van de dijk
- 'droge' locatie in de kernzone op de binnenberm nabij de aansluiting van de dijk op kunstwerken en werkeiland
- 'droge' locatie in de kernzone op de buitenberm nabij de aansluiting van de dijk op kunstwerken en werkeiland
- 'droge' locatie in de kernzone op de binnenberm in het traject Kornwerderzand en Zürich.

De locaties worden nader beschreven in hoofdstuk 3.

Stap 3: inventarisatie van mogelijke effecten
Om de nadelige effecten van windturbines op de functionaliteit, het beheer en onderhoud en de toekomstige dijkversterking in beeld te kunnen brengen zijn de mogelijke effecten geïnventariseerd.

Stap 4: beoordeling van effecten en formuleren van maatregelen
Op basis van de mogelijke effecten is vervolgens voor alle geselecteerde locaties een effectbeoordeling uitgevoerd. Tevens zijn maatregelen benoemd die de verwachte nadelige effecten kunnen voorkomen of tot acceptabel niveau kunnen beperken. De effectbeoordeling en benoeming van maatregelen is uitgevoerd tijdens een daarvoor georganiseerde (interne) workshop met diverse specialisten op het gebied van waterkeringen, geotechniek en windturbines. De belangrijkste bevindingen van deze workshop zijn vervolgens afgestemd met de begeleidingsgroep.

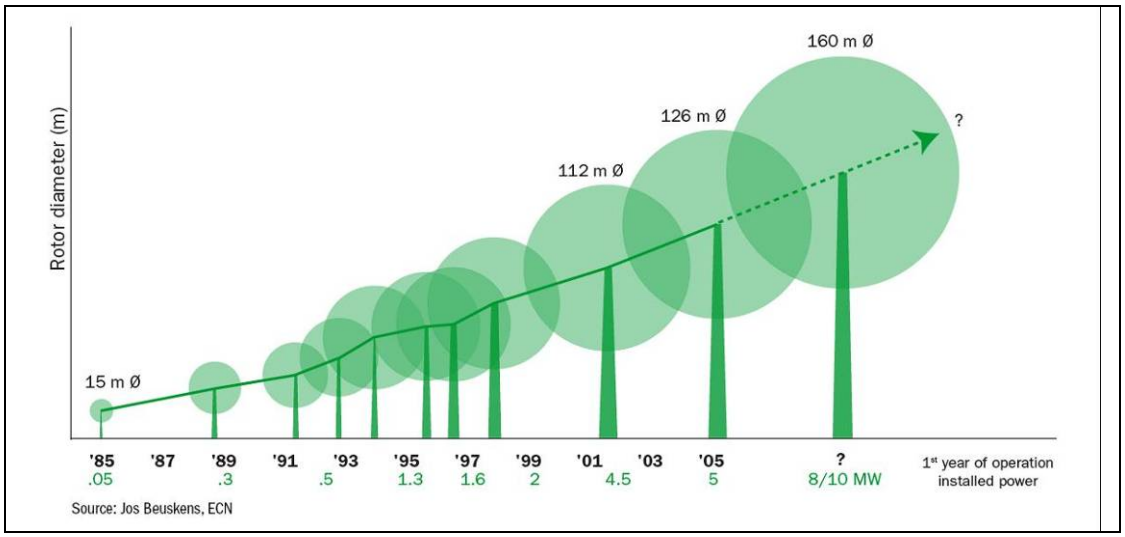
Stap 5: vertaling van resultaten naar het onderzoeksgebied
Op basis van de bevindingen voor de onderzochte locaties is vervolgens een ruimtelijke vertaalslag gemaakt naar de gehele Afsluitdijk. Daarbij zijn verschillende zones onderscheiden, waarbinnen windturbines met meer of minder aanvullende maatregelen gerealiseerd kunnen worden.

Tevens is inzichtelijk gemaakt welke zones de mogelijkheid bieden voor lijnopstellingen met een omvang van minimaal 100 MW.

Stap 6: formuleren van conclusies en aanbevelingen
Tot slot zijn conclusies getrokken ten aanzien van de technische haalbaarheid van het plaatsen van windturbines op of nabij de Afsluitdijk. Naast conclusies zijn ook aanbevelingen voor nader onderzoek gedaan en is een overzicht gegeven van tijdens deze verkenning geconstateerde leemten in informatie en kennis.

2.2 Overzicht van uitgangspunten

Type windturbine
De techniek voor de opwekking van windenergie is voortdurend in ontwikkeling. Windturbines worden steeds efficiënter en de opbrengst per turbine steeds groter. In figuur 2.1 is een overzicht gepresenteerd van de ontwikkelingen in de afgelopen decennia waarin het vermogen van de windturbine gestaag toenam.



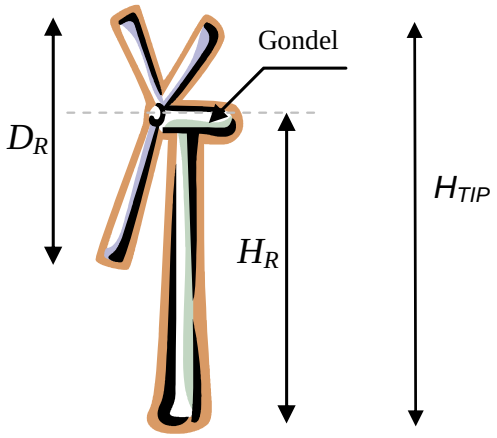
Figuur 2.1: Ontwikkeling windturbines

In deze verkennende fase voor de realisatie van windturbines op en rondom de Afsluitdijk zijn alle opties open gehouden voor het best passende type windturbine.
Voor deze studie is daarom uitgegaan van de grootste state-of-the-art windturbineklasse. De achterliggende gedachte hierbij is dat indien plaatsing van dergelijk grote turbines technisch haalbaar is, plaatsing van kleinere turbines ook mogelijk zal zijn. Indien er bij onderdelen of locaties geen grote turbine mogelijk blijkt, kan alsnog worden bekeken of een kleinere turbine wel mogelijk is. In dit onderzoek is deze manier van effectreductie/-mitigatie niet onderzocht. De onderzoekopdracht bood ook geen ruimte om na te gaan of er bij de gerapporteerde effecten sprake is van een evenredig verband met de grootte van de windturbines, dan wel of zich schaalsprongen in dit verband voordoen waardoor wellicht geen of nauwelijks mitigerende maatregelen op het desbetreffende effect nodig zijn. Dit zal door belangstellende marktpartijen voor het bouwen van windturbines moeten worden nagegaan.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de eigenschappen van de beschouwde windturbineklasse.

Tabel 2.1: Eigenschappen van beschouwde windturbines

Eigenschap	Waarde
Rotor diameter, D_R	tot 130 meter
Hoogte rotor-as, H_R	80–140 meter
Tiphoogte H_{TIP}	130 – 200 meter
Gewicht rotor + gondel	270-650 ton



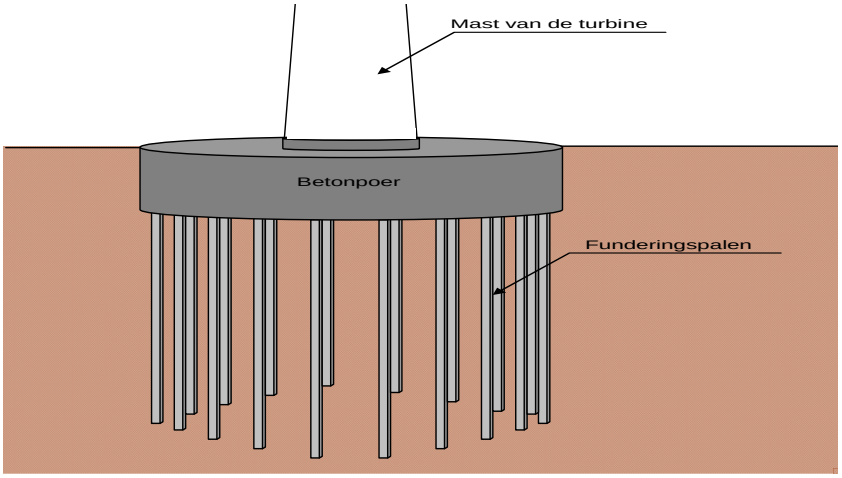
Fundering windmolen op land

Een windturbine op land kan gefundeerd worden op staal (direct op de ondergrond) of op palen[2]. Een fundering op staal heeft een directe impact op de technische veiligheid, glijvlakken, van de dijk en is daarom niet reëel geacht. Voor dit onderzoek is daarom uitgegaan van een paalfundering.

Een paalfundering bestaat over het algemeen uit een grote gewapende ronde of achthoekige betonpoer, welke de verbinding vormt tussen de turbinemast en de funderingspalen. Deze is geïllustreerd in figuur 2.2. De funderingspalen staan langs de buitenrand van de betonpoer, zodat een brede basis wordt verkregen. Welke paaltypen technisch haalbaar zijn, is geen onderdeel van de verkenning. In de effectbeoordeling is uitgegaan van de meest gangbare methode om de palen door middel van heien aan te brengen.

De diameter van de betonpoer voor de grote windturbines ligt in de orde van 20 à 25 meter, de dikte is afhankelijk van de specificaties van de windturbine, maar zal 3 à 4 meter bedragen. De lengte van de palen is onder andere afhankelijk van de opbouw van de ondergrond en ligt voor de Afsluitdijk zeker in de orde van 20 á 30 meter.

[2] Opgemerkt wordt dat voor windturbines op zee veelal een monopaal wordt toegepast. De plaatsing gebeurt hierbij met drijvend zwaar materieel.



Figuur 2.2: Impressie van een paalfundering voor een windturbine

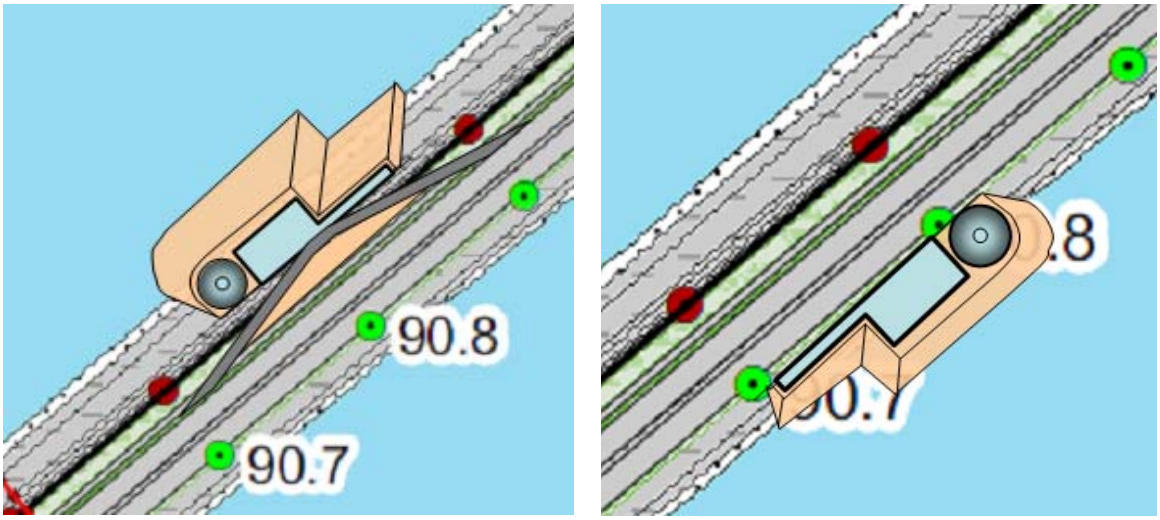
Benodigde grondaanvulling (bij windmolen op land)
In het geval dat de windturbine tegen het talud van de waterkering wordt geplaatst zijn aanvullende maatregelen benodigd, bijvoorbeeld in de vorm van een grondaanvulling. De omvang van een grondaanvulling is vooral afhankelijk van de grootte van de betonpoer en de te verwachten belastingen tijdens de heiwerkzaamheden. De precieze afmetingen dienen in de ontwerpfase te worden berekend. Op voorhand wordt verwacht dat het horizontale niveau van de grondaanvulling al snel zo'n 5 meter verder dient te reiken dan de poer.

Naast de windmolen dient voldoende ruimte beschikbaar te zijn voor het inrichten van een kraanopstelplaats en opslag van de materialen (rotorbladen). De afmetingen voor de opstelplaats bedragen naar verwachting circa 20 m x 40 m en mogelijk groter In de huidige situatie is deze ruimte niet aanwezig langs de Afsluitdijk (met uitzondering van het werkeiland en de aansluitingen op kunstwerken), waardoor een grondaanvulling dient te worden aangebracht. Afhankelijk van het draagvermogen van de ondergrond/aanvulling kan voor de steunpunten een permanente fundering op palen nodig zijn. In figuur 2.3 zijn ter indicatie de benodigde grondaanvullingen aangegeven voor de plaatsing van een windmolen tegen de buiten- en binnenzijde van de waterkering.

De kraanopstelplaats dient bereikbaar te zijn voor zwaar verkeer tijdens de bouw en voor onderhoud. Voor een aantal locaties, zoals de kruin, het buitentalud en het binnentalud, zal de aanleg van een op- en afrit nodig zijn om de locatie bereikbaar te maken. De benodigde wegbreedte van de bouw- en onderhoudsweg bedraagt circa 4 m. In figuur 2.3 is ter indicatie de ligging van de onderhoudsweg aangegeven. De inpassing van een dergelijke weg is verder niet beschouwd en is naar verwachting zeer complex. De op- en afritten leiden lokaal tot discontinuïteiten en steilere taluds. Dit vraagt extra aandacht voor ontwerp en beheer van de dijk, met name voor een overslagbestendige dijk. Verder wordt opgemerkt dat de op- en afritten ook vanuit verkeersveiligheid een aandachtspunt vormen.

Om de omvang van de grondaanvulling enigszins te beperken kan eventueel gebruik worden gemaakt van een verticale wand aan de voorzijde van de grondaanvulling.

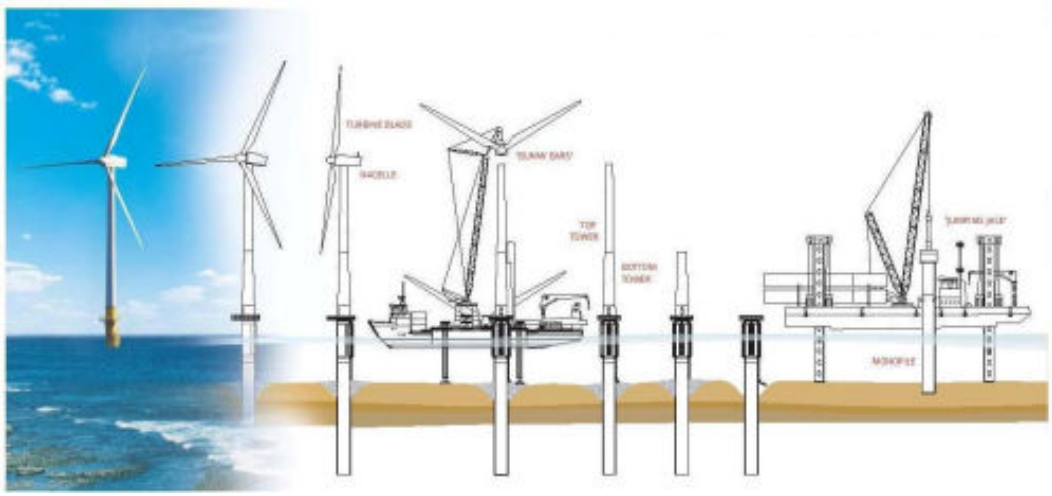
Ook in dat geval zal de grondaanvulling naar verwachting nog steeds verder moeten reiken dan de poer om de door heiwerkzaamheden veroorzaakte belastingen op te kunnen vangen. Binnen deze verkenning is uitgegaan van een brede grondaanvulling (orde 5 meter extra horizontale breedte buiten de poer) met schuin aflopend talud tot in het water.



Figuur 2.3: Impressie van benodigde grondaanvullingen voor de windmolen en kraanopstelplaats aan de buiten- en binnenzijde van de Afsluitdijk

Fundering windmolen op water

Voor windturbines die verder buiten de kernzone in de beschermingszone worden geplaatst zal een offshore fundering zoals een monopaal meer voor de hand liggen. Een monopaal is het meest gangbare funderingstype bij relatief ondiep water (tot circa 25 m waterdiepte). De diameter van de paal varieert van 3 m tot circa 6 m. Installatie van de palen en aanvoer van materialen kan vanaf water. Een voorbeeld van de installatie van monopalen is weergegeven in figuur 2.4.



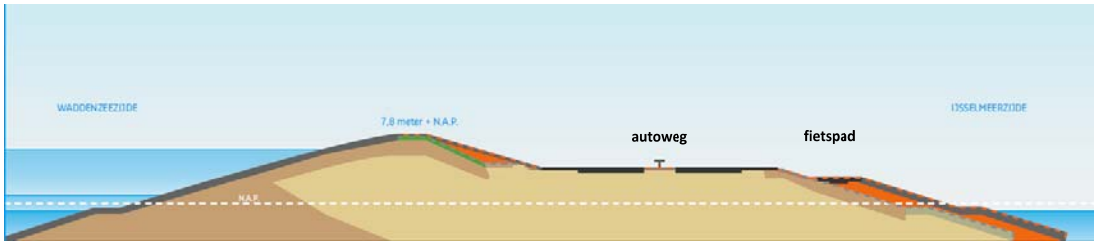
Figuur 2.4: Voorbeeld bouwwijze monopaal (*bron: e·on UK, www.eon-uk.com*)

Dijkversterking
De Afsluitdijk is in de tweede landelijke toetsronde afgekeurd ten aanzien van de hoofdsporen 'hoogte' en het deelspoor 'stabiliteit bekleding' en dient versterkt te worden. Voor de inpassing van een eventueel windpark wordt in deze verkenning uitgegaan van het referentieontwerp voor de dijkversterking zoals dat door Rijkswaterstaat is opgesteld.
De Afsluitdijk zal volgens dit ontwerp overslagbestendig worden gemaakt. Op de kruin en het binnentalud zal een harde overslagbestendige laag worden aangebracht (- mogelijk asfalt, beton, steenbekleding o.i.d.). Bij een dergelijk concept is het van belang dat bijzondere aandacht wordt besteed aan de aansluiting van zo'n laag op bestaande constructies, weglichaam en andere Niet Waterkerende Objecten. Het dijklichaam zal niet – of slechts in beperkte mate – worden verhoogd. De verwachte hoeveelheid overslag bij extreme stormomstandigheden is erg hoog en kan oplopen ruim 200 l/s/m.
Voor het gedeelte Kornwerderzand-Zurich is er naast de variant van 'overslagbestendig maken' ook een variant denkbaar waarbij de tuimeldijk wordt verhoogd (en verbreed).

Een impressie van het referentieontwerp is gegeven in de figuren 2.4 t/m 2.6.

Aan de Waddenzeezijde vindt geen aanpassing van het profiel plaats.

De versterking van de Afsluitdijk zal naar verwachting omstreeks 2020 gereed zijn. De overslagbestendige dijk biedt veiligheid tot halverwege deze eeuw (planperiode van 30 jaar in tegenstelling tot de gangbare periode van 50 jaar voor waterkeringen). Op dat moment ontstaat naar verwachting de noodzaak tot het treffen van vervolgmaatregelen aan het dijklichaam en de kunstwerken. Deze gefaseerde aanpak heeft als voordeel dat de investeringskosten nu relatief laag blijven. Dat is een kosteneffectieve manier van omgaan met de overheidsmiddelen. Bovendien ontstaat hierdoor de mogelijkheid om halverwege deze eeuw in te spelen op de daadwerkelijke klimaatontwikkeling, gebruik te maken van nieuwe technologische mogelijkheden en aan te sluiten bij dan levende maatschappelijke wensen. De gefaseerde aanpak biedt de volgende generatie de vrijheid om zelf tot de beste keuzen over de Afsluitdijk te komen. Hiermee is deze aanpak een voorbeeld van adaptief deltamanagement.



Figuur 2.4: Referentieprofiel dijkversterking Afsluitdijk

Figuur 2.5: Referentieontwerp dijkversterking Afsluitdijk

Figuur 2.6 Impressie overslagbestendige dijk

Effectbeoordeling windturbines
Bij eventuele toekomstige plaatsing van windturbines op of nabij de Afsluitdijk zullen de turbines naar verwachting in lijn worden geplaatst. Indien in dat geval wordt uitgegaan van de zwaarst beschikbare turbines met een vermogen van 6 MW zal de onderlinge afstand circa 900 meter bedragen. Gezien deze grote tussenafstanden kunnen de windturbines in de effectbeoordeling als solitaire objecten worden beschouwd. Daar waar bepaalde effecten van verschillende turbines elkaar toch zouden kunnen raken, is dit in de effectbeoordeling benoemd.

Worst case – benadering effectbeoordeling
De mogelijke effecten van de windturbines zijn beoordeeld op basis van expert judgement. Daarbij zijn de effecten steeds vanuit een worst case benadering beoordeeld. Concreet betekent dit dat dat indien een effect van de bouw of het beheer van windturbines verwacht zou kunnen worden, er in de effectbeoordeling vanuit is gegaan dat dit effect ook daadwerkelijk en ongemitigeerd optreedt. Van dat effect worden vervolgens de gevolgen voor de Afsluitdijk beschreven. Hiertoe wordt een schaalverdeling gehanteerd voor de ernst van het effect Er vindt dus geen onderlinge vergelijking van de locaties plaats maar er is sprake van een absolute beoordeling van de ernst van het optredend effect.

Na deze worst case beoordeling is vervolgens nagegaan welke maatregelen er kunnen worden getroffen om negatieve effecten te mitigeren dan wel te voorkomen. Vervolgens is het restrisico (na treffen van maatregelen) beoordeeld. Ook voor het restrisico is uitgegaan van bovengenoemd uitgangspunt ten aanzien van de kans van optreden.

Overige uitgangspunten
Naast de hiervoor genoemde uitgangspunten zijn in deze verkenning de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- “Volgens de Beleidsregel windturbines en rijkswaterstaatswerken (Staatscourant 15 mei 2002; art. 3 lid 3) wordt de plaatsing van windturbines op locaties waarbij de rotorbladen zich boven de verharding zullen bevinden, slechts toegestaan indien uit aanvullend onderzoek blijkt dat er geen onaanvaardbaar verhoogd risico is voor de verkeersveiligheid. Deze beleidsregel in bij dit onderzoek niet gehanteerd.
- Er worden geen turbines direct naast de schut- en spuisluizen (Stevin sluizencomplex en Lorentz sluizencomplex) beschouwd; hier is een veiligheidszone aangehouden met een breedte van 200 m, gelijk aan de maximale tiphoogte van beschouwd turbinetype.
- Voorhavendammen en leidammen zijn niet beschouwd.
- Voor de aanleg van de Afsluitdijk is geen zandcunet aangebracht: er is opgehoogd vanaf de oorspronkelijke waterbodem (Toetsrapport Oranjewoud, 2010).
- Voor de levensduur van een windturbine is uitgegaan van 20 jaar. Daarna kan de fundering eventueel nog eenmaal gebruikt worden voor een nieuw te installeren windturbine, mits de ontwerpbelastingen niet worden overschreden. De totale levensduur van de constructie bedraagt daarmee 40 jaar. De planningshorizon voor de dijkversterking van de Afsluitdijk bedraagt 30 jaar (in tegenstelling tot algemene planperiode van 50 jaar voor waterkeringen). Dit betekent dat binnen de technische levensduur van de constructies rekening moet worden gehouden met meerdere mogelijke toekomstige dijkversterkingen.

- Voor de realisatie van de fundering van de windturbines wordt er van uitgegaan dat deze op klassieke wijze wordt geheid. Indien dit leidt tot ongewenste effecten zijn ook geschikte alternatieve uitvoeringsmethoden in beschouwing genomen.
- Kosten zijn in principe niet beschouwd. In geval aanvullende en/of alternatieve maatregelen nodig zijn om ongewenste effecten te verkleinen/voorkomen, is wel een kwalitatieve inschatting van de kosten van deze maatregelen gemaakt.

Beschikbare informatie
Om de technische haalbaarheid van het plaatsen van windturbines op of nabij de Afsluitdijk inzichtelijk te kunnen maken is informatie over het profiel van de waterkering en de opbouw van de waterkeringen en ondergrond nodig. Voor het onderzoek is de volgende informatie gebruikt:

- Legger Afsluitdijk (dwarsprofielen primaire kering en zonering) (Rijkswaterstaat, november 2009).
- Grondonderzoek uit het DINO/REGIS archief van NITG-TNO.
- Rapportage van de derde landelijke toetsronde voor de primaire keringen (Oranjewoud, 2010).
- Rapportage van de tweede landelijke toetsronde voor de primaire keringen (DHV, 2005).
- Referentieprofiel dijkversterking RWS.

3 BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOEKSLOCATIES

3.1 Representatieve dwarsprofielen

De Waterkering Afsluitdijk is op grond van uniformiteit van karakteristieken onderverdeeld in 17 dijkvakken [Legger Afsluitdijk en Toetsrapport Oranjewoud, 2010]. De karakteristieken zijn geometrie, opbouw en samenstelling van de waterkering, de ondergrond en de hydraulische belasting.
Voor het technische haalbaarheidsonderzoek zijn de volgende dijkvakken, of delen van dijkvakken uitgesloten, omdat ze binnen 200 m van een kunstwerk zijn gelegen:

- Dijkvak 1: westelijke voorhavendijk Den Oever (0,61 km).
- Dijkvak 2: oostelijke voorhavendijk Den Oever (0,555 km).
- Dijkvak 3: dijk tussen de brug en de spuisluizen ((0,135 km).
- Dijkvak 4: dijk tussen de sluiscomplexen (0,47 km).
- Dijkvak 5: Aansluiting op het kunstwerk, tussen hm 2.07 en 2.27 (0,2 km).
- Dijkvak 12: dijk ten westen van de Lorentzspuisluizen (0,32 km).
- Dijkvak 13: dijk tussen de twee spuicomplexen Lorentzspuisluizen (0,27 km).
- Dijkvak 14: dijk ten oosten van de Lorentzspuisluizen (0,21 km).
- Dijkvak 15: westelijke voorhavendijk Kornwerderzand (0,6 km).
- Dijkvak 16: oostelijke voorhavendijk Kornwerderzand (0,6 km).

Voor de overige dijktracés zijn dijkvakken op basis van geometrie samengevoegd, waarbij uiteindelijk drie maatgevende dwarsprofielen (DWP) zijn geselecteerd. Het betreft de volgende dwarsprofielen:

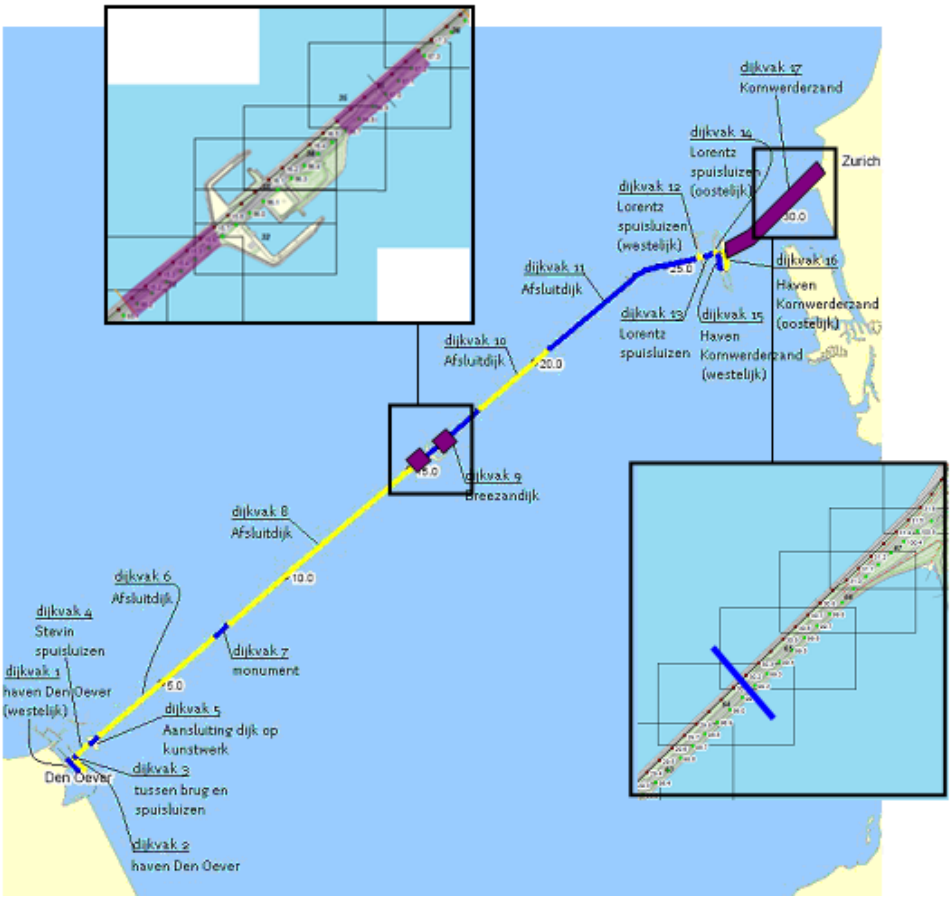
- **DWP Afsluitdijk**, representatief voor:
  - Dijkvakken 6, 7, 8, 10 en 11: de Afsluitdijk
  - Dijkvak 9: smalle delen van de Breezandijk tussen hm15.8 en hm16.0 en tussen hm17.2 en hm17.53
- **DWP Aansluiting en werkeiland, representatief voor:**
  - Dijkvak 5: aansluiting dijk op het kunstwerk tussen hm2.27 tot hm2.5
  - Dijkvak 9: werkeiland Breezandijk van hm15.7 tot hm15.8 en van hm16.0 tot hm16.6 (alleen binnenzijde)
- **DWP Kornwerderzand**, representatief voor:
  - Dijkvak 9: smalle delen van de Breezanddijk tussen hm15.05 en hm 15.7 en tussen hm 16.6 en hm 17.2
  - Dijkvak 17: Kornwerderzand.

Voor het DWP Aansluitingen en werkeiland zijn geen bruikbare dwarsprofielen beschikbaar in de legger. Voor deze brede dijkprofielen is het leggerprofiel van dijkvak 14 als representatief gesteld.

De ligging van de dijkvakken en de representatieve dwarsprofielen zijn weergegeven in onderstaande figuren 3.1 t/m 3.3.

Figuur 3.1: Dijkvakken met representatief DWP Afsluitdijk

Figuur 3.2: Dijkvakken met representatief DWP Aansluiting en werkeiland



Figuur 3.3: Dijkvakken met representatief DWP Kornwerderzand

3.2 Geselecteerde onderzoekslocaties

In de dwarsprofielen kunnen de windmolens in verschillende zones (de kernzone, de beschermingszone en de buitenbeschermingszone volgens de Legger Afsluitdijk) en op verschillende locaties (o.a. voorland, berm, talud, kruin, achterland) worden geplaatst.

In de drie maatgevende dwarsprofielen van de dijk, zoals hierboven beschreven, zijn in totaal tien onderscheidende turbinelocaties gedefinieerd.

In de volgende paragrafen worden de onderzoekslocaties nader toegelicht. In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de belangrijkste kenmerken van de verschillende locaties.

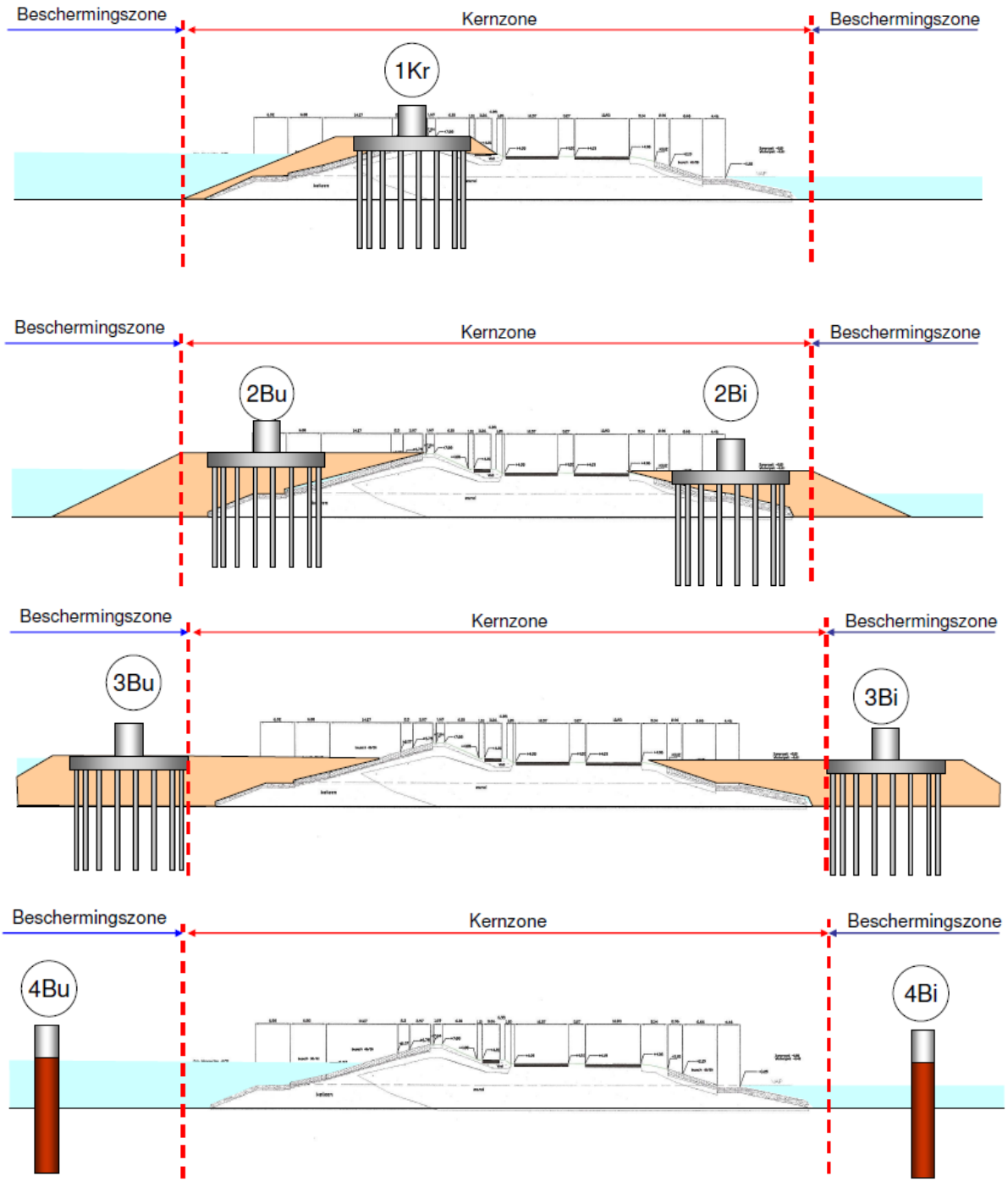
Tabel 3.1: kenmerken geselecteerde onderzoekslocaties

Nr.	Maatgevend dwarsprofiel	Zone	Locatie	Type fundering	Grond aanvulling	Niveau bovenkant fundering
1Kr	Afsluitdijk	Kernzone	Kruin	Plaat op palen	Ja	Circa NAP +8 m
2Bi	Afsluitdijk	Kernzone	Binnenbeloop	Plaat op palen	Ja	Circa NAP +4 m
2Bu	Afsluitdijk	Kernzone	Buitenbeloop	Plaat op palen	Ja	Circa NAP +6 m
3Bi	Afsluitdijk	Beschermingszone	Binnenvoorland	Plaat op palen	Ja	Circa NAP +4 m
3Bu	Afsluitdijk	Beschermingszone	Buitenvoorland	Plaat op palen	Ja	Circa NAP +6 m
4Bi	Afsluitdijk	Beschermingszone	Binnenvoorland	Monopaal	Nee	Circa NAP +4 m
4Bu	Afsluitdijk	Beschermingszone	Buitenvoorland	Monopaal	Nee	Circa NAP +6 m
5Bi	Aansluitingen en werkeiland	Kernzone	Binnenberm	Plaat op palen	Nee	Circa NAP +5 m
5Bu	Aansluitingen en werkeiland	Kernzone	Buitenberm	Plaat op palen	Nee	Circa NAP +5 m
6Bi	Kornwerderzand	Kernzone	Binnenberm	Plaat op palen	Nee	Circa NAP +4 m

3.2.1 Locaties DWP Afsluitdijk

Bij de aanleg van de Afsluitdijk is een keileemdam tot NAP +3,0 m aangebracht op rijshout. Ter plaatse van de diepe delen (stroomgeulen, zie bijlage 1) zijn eerst beteugelingsdammen aangelegd. Daarna is het zand opgebracht tot NAP +4,0 m. Aan de IJsselmeerzijde is het zandlichaam vanaf NAP -1,0 m afgedekt met 0,75 m keileem. De kruinhoogte bedroeg initieel NAP +7,4 m, in de jaren ’70 is de kruinhoogte op circa NAP +7,75 m gebracht. Aan de buitenzijde is het zandlichaam tot NAP +5,5 m afgedekt met 1 m keileem. De onderwatertaluds en de onderste bovenwatertaluds zijn aangelegd met een taludhelling van 1:4. De tuimelkade aan de Waddenzeezijde heeft steilere taluds. De breedte bedraagt 85 m ter plaatse van het ‘normale’ dijkprofiel gemeten op de waterlijn.

In onderstaande figuur is een standaard dwarsprofiel van de Afsluitdijk weergegeven met de verschillende plaatsingsmogelijkheden voor windmolens. Drie locaties zijn voorzien binnen de kernzone en vier locaties zijn gekozen in de beschermingszone. Opgemerkt wordt dat voor sommige locaties (zoals 1Kr en 2Bi) sprake zal zijn van een situatie waarbij de bladen van de turbine tot over de weg reiken.



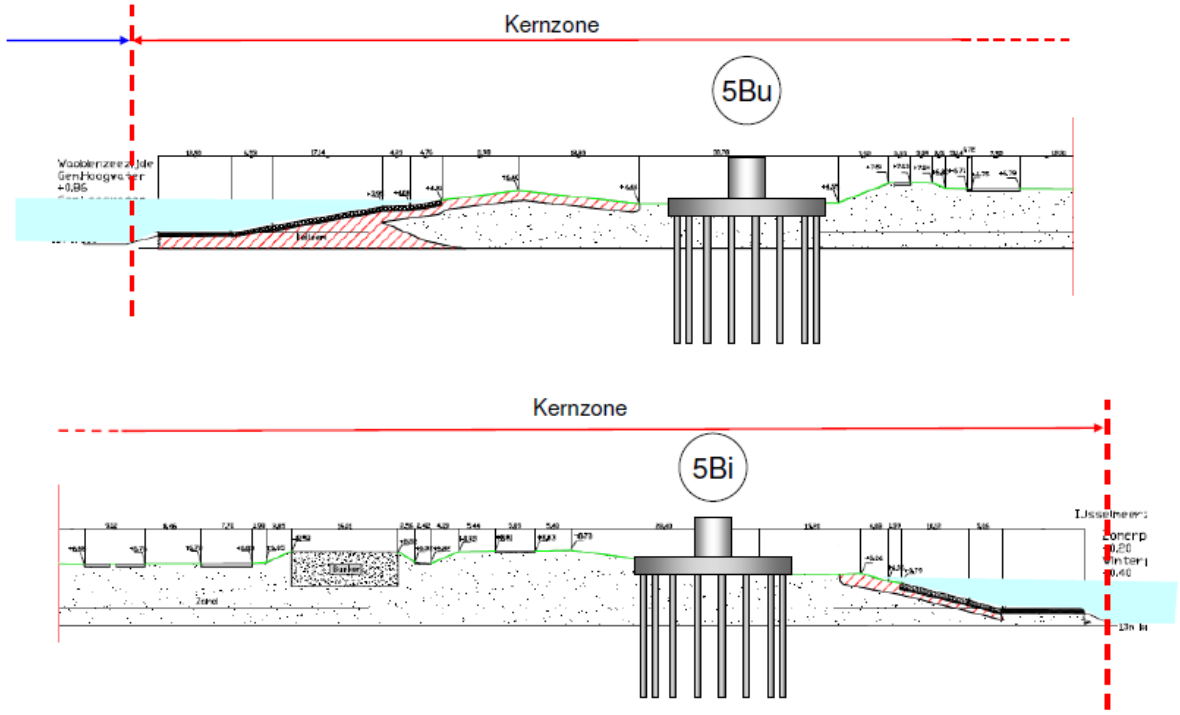
Figuur 3.4: Principe dwarsprofiel Afsluitdijk met onderzoekslocaties windturbines

3.2.2 Locaties DWP Aansluitingen en werkeiland

Ter plaatse van de aansluiting van het de dijk op de kunstwerken (dijkvak 5) en het werkeiland Breezanddijk (onderdeel dijkvak 9) is een zeer breed dijkprofiel aanwezig met hooggelegen binnen- en buitenbermen. In verband met het ontbreken van een representatief dwarsprofiel voor deze dijkvakken is voor deze dijksecties het dwarsprofiel ter plaatse dijkvak 14 (dp 26.62) representatief gesteld, zie figuur 3.2.

De locaties van de windmolens zijn gelegen in de kernzone op de brede binnen- en buitenberm van de waterkering. In het profiel is voldoende ruimte aanwezig om de windmolens te plaatsen zonder grondaanvulling, zie figuur 3.5.

De plaatsingsmogelijkheden voor locaties op of nabij het binnen- en buitentalud en in de beschermingszone zijn vergelijkbaar met het DWP Afsluitdijk.



Figuur 3.5: Principe dwarsprofiel nabij aansluiting met kunstwerken en het werkeiland Breezanddijk met geselecteerde onderzoekslocaties

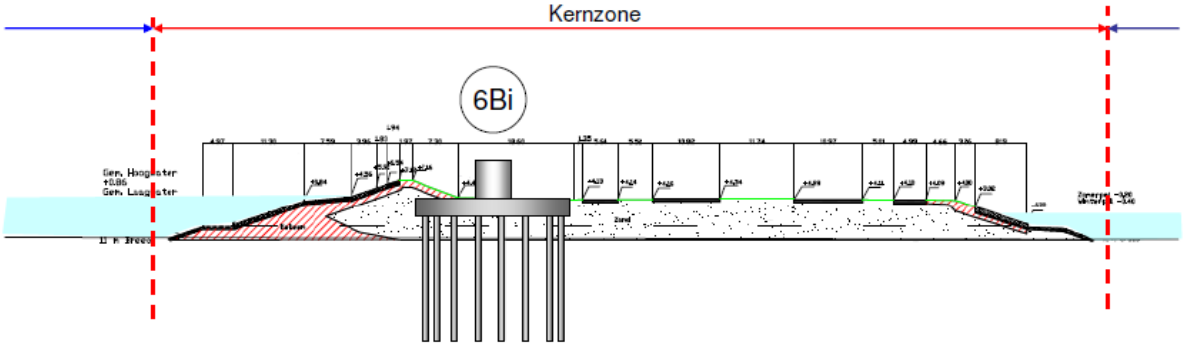
3.2.3 Locaties DWP Kornwerderzand

Van Kornwerderzand (dp 27,9-31,4) tot aan Zürich (kop van de Afsluitdijk) is in 1973 het dijkprofiel aangepast in verband met de aanleg van de B-weg, bestaande uit een verbreding van 47 m aan de IJsselmeerzijde. Tevens is tussen dp 28,1 en 28,6 de kruin opgehoogd tot NAP +10,4 m ten behoeve van de oprit van het viaduct. Vanaf dp 29 is het talud voorzien van een berm van 6 m breed op NAP +4,4 m. In 1976 is de aansluiting van de Afsluitdijk op de dijkring Friesland-Groningen vanaf dp 30,9 verhoogd tot NAP +9,8 m.

Daarbij is de berm op NAP +5 m gelegd en versmald tot 3,5 m breed. De harde bekleding is aangelegd tot NAP +8,7 m, de taludhelling boven de berm bedraagt 1:4,5. Vanaf dp 28,5 wordt tuimeldijk beweid met schapen.

Ter plaatse van de Breezanddijk is op de tracés hm15.05-15.70 en hm16.60-17.20 eveneens sprake van een verbrede binnenberm. De ruimte naast de weg biedt potentiële mogelijkheden om windmolens te plaatsen. Het dwarsprofiel van de Kornwerderzand is representatief gesteld.

De onderzochte windturbinelocatie bevindt zich op de brede binnenberm tussen het binnentalud en de Rijksweg. De plaatsingsmogelijkheden van windmolens in het voorland, het binnen- en buitenbeloop is overeenkomstig de Afsluitdijk. De beschouwde extra locatie is aangegeven in figuur 3.6. Opgemerkt wordt dat voor de gekozen locatie sprake zal zijn van een situatie waarbij de bladen van de turbine tot over de weg reiken.



Figuur 3.6: Principe dwarsprofiel Kornwerderzand met locatie windmolen

4 INVENTARISATIE VAN EFFECTEN

De Afsluitdijk krijgt een overslagbestendige bekleding ter versterking van de dijk. De Afsluitdijk wordt daarmee tevens de eerste primaire waterkering die ontworpen gaat worden voor een grote hoeveelheid overslag, die aanzienlijk hoger is (factor 10 á 20) dan wat tot nu tot gebruikelijk is. Dit vraagt om extra aandacht voor ontwerp en beheer van een – blijvend - gesloten overslagbestendige bekleding inclusief de aansluiting op mogelijke objecten zoals windturbines.

4.1 Effecten op de functionaliteit van de waterkering

Zowel in de bouwfase, beheer- en exploitatiefase en de fase tijdens en na demonteren van windturbines (na afloop van de economische levensduur) kunnen op of nabij waterkeringen geplaatste windturbines en de daaraan gekoppelde activiteiten de functionaliteit (waterstaatkundige staat) van de waterkering beïnvloeden. Hieronder volgt een overzicht van mogelijke effecten, waarbij onderscheid is gemaakt in de genoemde drie fasen. De effecten zijn ten behoeve van de verdere uitwerking genummerd: F1.x voor effecten in de bouwfase, F2.x voor effecten in de beheer- en exploitatiefase en F3.x voor effecten tijdens en na demonteren van turbines.

Bouwfase

- F1.1 - De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot tijdelijke verhoging van wateroverspanningen (zone van circa 10 m) in het dijklichaam en daarmee mogelijk tot bezwijken door verweken (keileemkern of los gepakt dijkzand) of afschuiven van de waterkering.
- F1.2 –De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot verweking van de keileemkern of los gepakte zand in de waterkering en daarmee tot instabiliteit van de waterkering.
- F1.3 – De dynamische belastingen (zone circa 50 m op basis van expert judgement[3]) ten gevolge van het heien kunnen leiden tot afname van de stabiliteit van de waterkering.
- F1.4a/b –De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen aan de Waddenzeezijde/IJsselmeerzijde, bij aanwezigheid van een onderwatertalud en een zettingsvloeiingsgevoelige voorland (aanwezigheid van een los gepakte fijnkorrelige zandlaag met geringe relatieve dichtheid), leiden tot het optreden van zettingsvloeiing in het voorland en daarmee mogelijk tot bezwijken van de waterkering (geldt met name voor het traject tussen km 18.0 en 23.5, waar een geul tot NAP -11 m aanwezig is op korte afstand tot de Afsluitdijk).
- F1.5a/b – Door het aanbrengen van een grondlichaam tegen de waterkering aan de Waddenzeezijde/IJsselmeerzijde neemt de bovenbelasting op het voorland toe waardoor afschuiving van het voorland kan optreden.
- F1.6 - Door de installatie van palen kan kortsluiting ontstaan tussen watervoerende grondlagen met daartussen een afsluitende laag. Door kortsluiting kan kwel toenemen en kan de kans op optreden van piping toenemen.
- F1.7 - De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot zetting door verdichting/inklinking van het dijklichaam en/of dieper gelegen zandlagen. Daarbij kunnen zettingsverschillen optreden. De hoogte van het dijkprofiel kan afnemen met enkele decimeters.

[3] Op korte afstand tot de trillingsbron, tot circa 1,5 à 2 maal de paallengte, is de verticale component dominant, op grotere afstand is de horizontale trillingsrichting dominant.

- F1.8 - De bij de verdichting van de beoogde grondaanvulling (zie hoofdstuk 2) veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot zetting door verdichting/inklinking van het dijklichaam en/of dieper gelegen zandlagen. Hierdoor kan de hoogte van het dijkprofiel afnemen.
- F1.9 - Bij betreding van de waterkering met zwaar bouwverkeer (o.a. de heistelling en kranen) zou schade kunnen ontstaan aan de waterkering en daarop aanwezige infrastructuur.
- F1.10 - Ten behoeve van het plaatsen van de funderingspoer en het aanleggen van kabels en leidingen zullen tijdelijke ontgravingen nodig zijn, welke de waterkering tijdelijk verzwakken met kans op afschuiven, doorsnijding van afsluitende lagen of lokale erosie.

Beheer- en exploitatiefase

- F2.1 – Bij op de waterkering geplaatste windturbines zou er (in geval van belastingoverdracht binnen het kritieke glijvlak) door het gewicht van de windturbine sprake kunnen zijn van een verticale belasting van de waterkering en de directe ondergrond (in geval er sprake is van een ondiepe fundering(op staal en korte palen). Een dergelijke belasting zou de stabiliteit van de waterkering kunnen beïnvloeden.
- F2.2 –Trillingen door cyclische windbelastingen of extreme piekbelastingen kunnen leiden tot verhoogde waterspanningen, verweking van keileem of zand in de dijkkern, verminderde grondeigenschappen en extra belasting op de grond. Hierdoor kan de stabiliteit van de waterkering door afschuiven nadelig worden beïnvloed en/of kan zetting optreden.
- F2.3a/b - De door wind veroorzaakte trillingen van een windturbine kunnen, bij een verwekingsgevoelig voorland (aanwezigheid van een los gepakte fijnkorrelige zandlaag met geringe relatieve dichtheid) aan de Waddenzeezijde/IJsselmeerzijde, leiden tot het optreden van zettingsvloeiing in het voorland en daarmee mogelijk tot bezwijken van de waterkering.
- F2.4 – De freatische lijn kan in de nabijheid van windmolens (door opstuwing) hoger liggen dan normaal, waardoor de stabiliteit nadelig kan worden beïnvloed.
- F2.5 - Door het optreden van verschilvervormingen kunnen kieren ontstaan tussen de constructie en omringende grond. Hierbij wordt gedacht aan het ontstaan van ruimte onder de funderingsplaat door zetting van de ondergrond en het ontstaan van ruimte tussen de funderingspalen en de ondergrond (afsluitende lagen) door horizontale beweging van de palen. Door de holle ruimtes kan kortsluiting ontstaan en/of kan de kwelweglengte worden verkort. Daarnaast is het mogelijk dat er een hogere freatische waterstand ontstaat wat een negatieve invloed heeft op micro- en macrostabiliteit.
- F2.6 – Door het optreden van horizontale en verticale verschilvervormingen, zie F2.5, kan tevens de aansluiting tussen de funderingsconstructie en de bekleding sterkte verliezen. Als gevolg hiervan kan lokale erosie optreden bij golfaanval aan de buitenzijde en stroming aan de binnenzijde.
- F2.7 – Bij kabels die de waterkering kruisen kan (door zetting), afhankelijk van de ligging, de kans op geconcentreerde erosie (kanaalvorming) toenemen;
- F2.8 – Bij kabels parallel aan de waterkering kan de kwel en/of erosie nadelig worden beïnvloed.
- F2.9 - Bij het omvallen van een windturbine op de waterkering, zal deze aanzienlijke schade aan de waterkering kunnen veroorzaken. Er dient in dat geval rekening te worden gehouden met beschadiging van bekleding, deklagen en deformatie van het dwarsprofiel.

- F2.10 - Indien de rotor of gondel losraakt en de waterkering treft, zal deze aanzienlijke schade aan de waterkering kunnen veroorzaken.
- F2.11 - Bij breuk van een rotorblad of deel daarvan (door bijvoorbeeld overbelasting, defecte componenten of blikseminslag) zal het blad(deel), indien dit op de waterkering terecht komt, schade aan de deklaag van de waterkering kunnen veroorzaken.
- F2.12 - Bij betreding van de waterkering met zwaar onderhoudsverkeer (bijvoorbeeld bij vervanging van grote onderdelen zoals rotorbladen) kan schade ontstaan aan de waterkering en daarop aanwezige infrastructuur.
- F2.13 - Aansluitingen van harde constructieonderdelen (funderingspoer) op het dijklichaam kunnen extra gevoelig zijn voor materiaaluitspoeling door geconcentreerde oppervlakteafstroming bij neerslag of golfoverslag. Bij plaatsing van windturbines op het buitentalud van een waterkering vormen de aansluitingen extra gevoelige punten voor erosie/materiaaluitspoeling bij golfaanval. Op het binnentalud kan erosie optreden door stroming.
- F2.14 - Door de aanwezigheid van een funderingsconstructie of grondaanvulling in het water kan de bodemligging veranderen door aanzanding of erosie. Deze morfologische veranderingen kunnen de stabiliteit van de waterkering beïnvloeden.
- F2.15 – Door de toename van kwel langs de (paal)fundering kan de zoutbelasting op het IJsselmeer toenemen met een mogelijk effect op de functie zoetwatervoorraad (drinkwater PWN Andijk).
-

<u>Fase tijdens/na demonteren</u>

- F3.1 - Indien de fundering geheel of deels achterblijft, zullen verschillende effecten die een rol (kunnen) spelen in de beheer- en exploitatiefase ook van toepassing (kunnen) zijn in de periode na demonteren van de turbine. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan kwelwegverkorting bij doorsnijding van slecht waterdoorlatende lagen, door optreden van verschilzetting of door degradatie van het beton.
- F3.2a – Het verwijderen van het funderingsblok, inclusief het bovenste deel van de funderingspalen tot een niveau van 2m onder de bovenkant van de bekleding zou gevolgen kunnen hebben voor de functionaliteit van de waterkering: Bij het verwijderen verandert het dwarsprofiel (lokale verlaging/versmalling inclusief verwijderen van de bekleding) en daarmee mogelijk ook (tijdelijk) de hoogte en stabiliteit van de waterkering.
- F3.2b – Het verwijderen van de fundering inclusief de volledige paalfundering zou gevolgen kunnen hebben voor de functionaliteit van de waterkering: bij het verwijderen van de palen dienen de gaten met geschikt materiaal te worden gevuld. Bij vervanging van palen door opvulmaterialen (bentoniet, cement o.i.d.) kunnen niet alle effecten worden weggenomen.
- F3.3 - De door de sloopwerkzaamheden veroorzaakte belastingen kunnen de functionaliteit van de waterkering tijdelijk beïnvloeden. Hierbij wordt gedacht aan beïnvloeding van de stabiliteit van de waterkering door betreding van zwaar materieel en eventueel veroorzaakte trillingen.

4.2 Effecten op het beheer en onderhoud van de waterkering

Onder beheer en onderhoud van de waterkering worden alle activiteiten verstaan die noodzakelijk zijn om ervoor te zorgen dat de functie van de waterkering (met andere woorden: het waterkerend vermogen) behouden blijft. De aanwezigheid van windturbines en bijbehorende infrastructuur (toegangswegen en bekabeling) kan het beheer en onderhoud van de waterkering bemoeilijken en mede daardoor leiden tot aanvullende inspanningen. Hieronder volgt een overzicht van alle mogelijke effecten. De effecten zijn ten behoeve van de verdere uitwerking genummerd: B1 tot en met B8.

- B1 - De aanwezigheid van windturbines en bijbehorende infrastructuur (toegangswegen en bekabeling) kan het reguliere beheer en onderhoud van de waterkering bemoeilijken vanwege een verminderde toegankelijkheid. Hierdoor kunnen de kosten voor het uitvoeren van beheer en onderhoud toenemen.
- B2 - Het treffen van noodmaatregelen bij calamiteiten kan bemoeilijkt worden door de aanwezigheid van windturbines.
- B3 - Er zullen ter plaatse van de turbines en bijbehorende infrastructuur extra inspecties en onderhoudsmaatregelen nodig zijn wegens mogelijke schade aan de waterkering ten gevolge van de bouw, het gebruik, het onderhoud en de sloop van windturbines. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan beschadiging door betreding van toegangswegen door (zwaar) materieel (in het stormseizoen).
- B4 - Door de aanwezigheid van kabels en overige infrastructuur bestaat het risico op ongecontroleerde graafwerkzaamheden ten tijde van onderhoudswerken aan deze infrastructuur.
- B5 - Tijdens (zware) storm moet de waterkering wellicht plaatselijk worden afgesloten wegens een verhoogde kans op breuk/val van turbineonderdelen.
- B6 - De aanwezigheid van windturbines op of nabij waterkeringen vergroot de benodigde inspanning (en complexiteit) bij de toetsing van de veiligheid van de betreffende waterkeringen.
- B7 - Het organiseren van beheer en onderhoud kan complexer zijn doordat de waterkering meerdere gebruikers kent.
- B8 - Ten gevolge van bijvoorbeeld olielekkende tandwielkasten kunnen bodemsaneringen (en daarmee ontgravingen in de waterkering) nodig zijn.

4.3 Effecten op toekomstige versterking van de waterkering

De aanwezigheid van windturbines (of achtergebleven onderdelen na demonteren) kan van invloed zijn op eventueel benodigde toekomstige dijkversterkingen. Hieronder volgt een overzicht van de mogelijke effecten. De effecten zijn ten behoeve van de verdere uitwerking genummerd: D1 en D2.

- D1 - Door de aanwezigheid van windturbines en bijbehorende infrastructuur (toegangswegen, leidingen en kabels) kunnen toekomstige dijkversterkingen bemoeilijkt worden. Hierdoor kunnen verbeteringswerken duurder worden en in sommige situaties misschien zelfs onmogelijk zijn.
- D2 - Achtergebleven funderingselementen (na demonteren van windturbines) kunnen toekomstige dijkversterkingen duurder maken, doordat betreffende elementen verwijderd moeten worden of extra voorzieningen getroffen moeten worden.

4.4 Cumulatieve effecten

In de vorige paragrafen zijn de effecten afzonderlijk beschreven. Er zijn echter ook cumulatieve effecten denkbaar, die invloed kunnen hebben op de functionaliteit, het beheer en onderhoud, of de toekomstige versterking. De belangrijkste cumulatieve effecten zijn:

- C1 – Als gevolg van verschilvervormingen (F2.5 en F2.6) en/of lokale erosie (F2.7 en F2.8) kunnen ondergrondse ruimten ontstaan die niet direct tijdens een inspectie waarneembaar zijn. Tijdens onderhoudswerkzaamheden met zwaar verkeer kan hierdoor eerder schade optreden aan de waterkering (bekleding) of de daarop aanwezige infrastructuur (F2.12).
- C2 - Bij aanwezigheid van grondaanvullingen of constructies in het voorland kan door morfologische processen de stabiliteit van de waterkering worden beïnvloed. Door erosie of sedimentatie kan een situatie ontstaan die eerder leidt tot falen door zettingsvloeiing door trillingen (F2.3) of door afschuiven van het voorland (F1.4);
- C3 - Omvangrijkere afstemming nodig t.g.v. meerdere effecten voor beheer en onderhoud.

5 UITWERKING VAN EFFECTEN & MAATREGELEN

5.1 Algemene opzet van de effectbeoordeling

In het voorgaande hoofdstuk is een overzicht opgenomen van de mogelijke effecten van op de waterkering geplaatste windturbines op de functionaliteit en het beheer en onderhoud van betreffende waterkeringen en eventuele toekomstige dijkversterkingen. Om de mogelijkheden voor de realisatie van windturbines in de kernzone en beschermingszone van de waterkering Afsluitdijk te verkennen is op basis van de geïnventariseerde effecten een indicatieve effectbeoordeling uitgevoerd. Hierbij zijn de effecten (voornamelijk kwalitatief) beoordeeld voor de in hoofdstuk 3 beschreven tien representatieve onderzoekslocaties. Voor deze beoordeling zijn de volgende vier kwalitatieve beoordelingsklassen gehanteerd:

- Effect **'klein'**: zeer beperkte invloed.
- Effect **'middel'**: significante invloed (aanvullende maatregelen noodzakelijk).
- Effect **'groot'**: ingrijpende invloed (omvangrijke aanvullende maatregelen noodzakelijk).
- Effect **'niet van toepassing (nvt)'**: geen invloed.

Daar waar nadelige effecten verwacht worden, zijn maatregelen benoemd die de effecten kunnen wegnemen of tot acceptabel niveau kunnen beperken. Per effect is vervolgens beoordeeld wat de resterende invloed is na het treffen van de maatregel(en). In de beoordeling zijn dezelfde klassen gehanteerd als hierboven beschreven.

De omvang/complexiteit van de maatregelen is eveneens beoordeeld, waarbij de volgende klasse-indeling is gehanteerd:

- Maatregel 'klein': eenvoudige maatregel met relatief lage kosten.
- Maatregel 'middel': eenvoudige of lokale maatregel met relatief hoge kosten.
- Maatregel 'groot': complexe of zeer omvangrijke maatregel met relatief hoge kosten.
- Maatregel **'niet van toepassing (n.v.t.)'**: geen maatregel noodzakelijk.

5.2 Overzicht resultaten effectbeoordeling

De volledige effectbeoordeling, per effect bestaande uit een beoordeling en een motivatie van het toegekende oordeel, is in tabelvorm opgenomen in bijlage 2. De beoordelingsresultaten zijn samengevat in tabel 5.1 (effecten functionaliteit), tabel 5.2 (effecten beheer en onderhoud), tabel 5.3 (effecten toekomstige dijkversterkingen) en tabel 5.4 (effectbeoordeling voor cumulatieve effecten).

Uit de tabellen 5.1 tot en met 5.4 en bijlage 2 volgt dat de meeste effecten als 'klein' of 'middel' kunnen worden bestempeld. De betreffende effecten hebben een beperkte invloed of significante nadelige gevolgen voor de functionaliteit, het beheer en onderhoud en eventuele toekomstige versterking van beschouwde waterkeringen.

Een aantal effecten op de functionaliteit is beoordeeld als 'groot'. De betreffende effecten zullen de functionaliteit van de waterkering ingrijpend (kunnen) beïnvloeden. Om de nadelige gevolgen weg te nemen of tot acceptabel niveau te beperken zijn veelal fysieke maatregelen nodig. Deze worden toegelicht in paragraaf 5.3.

Er zijn geen grote effecten te verwachten op het beheer & onderhoud en op de toekomstige dijkversterkingen.

Tabel 5.1: Resultaten effectbeoordeling voor effecten op de functionaliteit (voor locaties zie fig 3.4 t/m 3.6)

	Effectbeoordeling									
Bouwfase	**1Kr**	**2Bi**	**2Bu**	**3Bi**	**3Bu**	**4Bi**	**4Bu**	**5Bi**	**5Bu**	**6Bi**
F1.1	groot	groot	groot	middel	middel	nvt	nvt	klein	klein	middel
F1.2	groot	middel	groot	middel	groot	klein	middel	klein	middel	groot
F1.3	groot	groot	groot	middel	middel	klein	klein	klein	klein	middel
F1.4a	groot	middel	groot	middel	groot	klein	groot	klein	groot	middel
F1.4b	nvt	nvt	klein	nvt	klein	middel	nvt	klein	nvt	nvt
F1.5a	klein	nvt	middel	nvt	middel	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
F1.5b	nvt	klein	nvt	klein	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
F1.6	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
F1.7	middel	middel	middel	klein	klein	nvt	nvt	klein	klein	middel
F1.8	klein	klein	klein	klein	klein	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
F1.9	middel	klein	middel	klein	middel	nvt	nvt	klein	klein	middel
F1.10	middel	middel	middel	middel	middel	nvt	nvt	klein	klein	middel
Beheer- en exploitatiefase										
F2.1	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt
F2.2	middel	middel	middel	middel	middel	nvt	nvt	klein	klein	middel
F2.3a	middel	nvt	middel	nvt	middel	nvt	middel	nvt	klein	nvt
F2.3b	nvt	nvt	klein	nvt	klein	klein	nvt	klein	nvt	nvt
F2.4	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	nvt	klein
F2.5	middel	middel	middel	middel	middel	klein	klein	middel	middel	middel
F2.6	middel	middel	middel	middel	middel	nvt	nvt	middel	middel	middel
F2.7	klein	klein	klein	klein	klein	nvt	nvt	klein	klein	klein
F2.8	klein	nvt	klein	nvt	klein	nvt	nvt	nvt	nvt	klein
F2.9	groot	groot	groot	groot	groot	groot	groot	groot	groot	groot
F2.10	groot	groot	groot	groot	groot	klein	klein	groot	groot	groot
F2.11	middel	middel	middel	middel	middel	middel	middel	middel	middel	middel
F2.12	klein	klein	klein	klein	klein	nvt	nvt	klein	klein	klein
F2.13	middel	middel	middel	middel	middel	klein	klein	middel	middel	middel
F2.14	klein	klein	middel	klein	middel	klein	middel	nvt	nvt	nvt
F2.15	klein	klein	klein	nvt	nvt	nvt	nvt	klein	klein	klein
Fase tijdens/na demonteren										
F3.1	middel	middel	middel	middel	middel	klein	klein	middel	middel	middel
F3.2a	klein	klein	klein	klein	klein	nvt	nvt	klein	klein	klein
F3.2b	middel	middel	middel	middel	middel	klein	klein	klein	klein	middel
F3.3	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein

Tabel 5.2: Resultaten effectbeoordeling voor effecten op beheer en onderhoud. (voor locaties zie fig. 3.4 t/m 3.6)

	Effectbeoordeling									
	1Kr	2Bi	2Bu	3Bi	3Bu	4Bi	4Bu	5Bi	5Bu	6Bi
B1	middel	klein	klein	klein	klein	nvt	nvt	klein	klein	middel
B2	klein	klein	klein	klein	klein	nvt	nvt	klein	klein	klein
B3	middel	middel	middel	middel	middel	nvt	nvt	middel	middel	middel
B4	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein
B5	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein	klein
B6	klein	klein	klein	klein	klein	nvt	nvt	klein	klein	klein
B7	klein	klein	klein	klein	klein	nvt	nvt	klein	klein	klein
B8	klein	klein	klein	klein	klein	nvt	nvt	klein	klein	klein

Tabel 5.3: Resultaten effectbeoordeling voor effecten op toekomstige dijkversterking. (voor locaties zie fig. 3.4 t/m 3.6)

	Effectbeoordeling									
	1Kr	2Bi	2Bu	3Bi	3Bu	4Bi	4Bu	5Bi	5Bu	6Bi
D1	middel	middel	middel	klein	klein	klein	klein	middel	middel	middel
D2	middel	middel	middel	middel	middel	klein	klein	middel	middel	middel

Tabel 5.4: Resultaten effectbeoordeling voor cumulatieve effecten. (voor locaties zie fig. 3.4 t/m 3.6)

	Effectbeoordeling									
	1Kr	2Bi	2Bu	3Bi	3Bu	4Bi	4Bu	5Bi	5Bu	6Bi
C1	middel	middel	middel	middel	middel	nvt	nvt	middel	middel	middel
C2	middel	klein	middel	klein	middel	klein	middel	nvt	nvt	nvt
C3	middel	middel	middel	klein	klein	klein	klein	middel	middel	middel

5.3 Overzicht mogelijke maatregelen

Zoals blijkt uit de resultaten van de uitgevoerde effectbeoordeling kunnen windturbines en daaraan gerelateerde activiteiten (in de bouw- en gebruiksfase, maar ook tijdens en na de sloopfase) de functionaliteit, het beheer- en onderhoud en toekomstige dijkversterkingen nadelig beïnvloeden. Om de nadelige effecten weg te nemen of tot acceptabel niveau te beperken kunnen maatregelen worden getroffen, variërend van relatief eenvoudige maatregelen (bijvoorbeeld in de vorm van in vergunningsvoorschriften vast te leggen afspraken) tot omvangrijke fysieke maatregelen (zoals het aanbrengen van bestorting op het voorland). Naarmate de omvang en of complexiteit van de maatregelen groter is zullen ook de kosten ervan toenemen. Daarmee zal de belangstelling van initiatiefnemers voor windturbines voor de betreffende locatie afnemen en mogelijk verdwijnen.

Daar waar effecten verwacht worden (oordeel ‘klein’, ‘middel’ of ‘groot’) zijn in bijlage 2 mogelijke maatregelen beschreven. Zoals blijkt uit de tabellen in bijlage 2 kunnen vrijwel alle effecten, met uitzondering van de effecten door falen van de windturbines (F2.9, F2.10 en 2.11) worden terug gebracht tot geringe effecten. Om na te gaan of aanscherping van de effectbeoordeling voor de effecten door falen van de windturbine of turbineonderdelen mogelijk is, is een uitgebreide risicoanalyse vereist. Een dergelijk gedetailleerde analyse is geen onderdeel van de huidige verkenning.

Tabel 5.5 geeft een samenvattend overzicht van de mogelijke maatregelen voor de als 'middel' en 'groot' bestempelde effecten, welke in de tabellen 5.1 tot en met 5.4 respectievelijk oranje en rood gearceerd zijn. Daar waar verschillende maatregelen mogelijk zijn, zijn de verschillende mogelijkheden in de tabel opgenomen. Net als de effecten kunnen ook de maatregelen geclassificeerd worden.
Dit is door middel van vergelijkbare kleuren gedaan in tabel 5.5:

- **Gele arcering**: eenvoudige maatregel met relatief lage kosten.
- **Oranje arcering**: eenvoudige of lokale maatregel met relatief hoge kosten.
- **Rode arcering**: complexe en/of zeer omvangrijke maatregel met relatief hoge kosten.

Tabel 5.5: Overzicht van mogelijke maatregelen voor 'middel' en 'grote' effecten

Effectbeoordeling											
	1Kr	2Bi	2Bu	3Bi	3Bu	4Bi	4Bu	5Bi	5Bu	6Bi	
F1.1	1	1	1	1	1					1	Trillingsvrij paalsysteem
F1.2	1	1	1	1	1		1		1	1	Trillingsvrij paalsysteem
F1.3	1	1	1	1	1					1	Trillingsvrij paalsysteem
F1.4a	1	1	1	1	1		1		1	1	Trillingsvrij paalsysteem
F1.4b						1					Trillingsvrij paalsysteem
F1.5a	1		2		2						Locaal verflauwen talud voorland
F1.5b											
F1.6											
F1.7	1	1	1							1	Trillingsvrij paalsysteem
F1.8											
F1.9	1		1		1					1	Ontwerp&afspraken beheerder
F1.10	1	1	1	1	1					1	Grondkeringen
F2.1											
F2.2	2	1	2	1	2					2	Grondkering/grondaanvulling
F2.3a	3		3		3		3				Diepteverdichting/bestorting
F2.3b											
F2.4											
F2.5	1	1	1	1	1			1	1	1	Verdiepte rand romom fundering/ grondverdringend paalsyteem
F2.6	1	1	1	1	1			1	1	1	Ontwerp aansluiting bekleding/inspectie
F2.7											
F2.8											
F2.9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Risico(faalkans)-analyse
F2.10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Risico(faalkans)-analyse
F2.11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Risico(faalkans)-analyse
F2.12											
F2.13	1	1	1	1	1			1	1	1	Ontwerp aansluiting bekleding/inspectie
F2.14			3		3		3				Bestorten voorland
F2.15											

F3.1	1	1	1	1	1			1	1	1	Zie F2.5, F2.6 en F2.13.
F3.2a											
F3.2b	2	2	2	2	2					2	Verwijderen paalfundering
F3.3											
Effectbeoordeling											
	1Kr	2Bi	2Bu	3Bi	3Bu	4Bi	4Bu	5Bi	5Bu	6Bi	
B1	1									1	Afstemming beheerder en initiatiefnemer
B3	1	1	1	1	1			1	1	1	Afstemming beheerder en initiatiefnemer
Effectbeoordeling											
	1Kr	2Bi	2Bu	3Bi	3Bu	4Bi	4Bu	5Bi	5Bu	6Bi	
D1	1	1	1					1	1	1	Ontwerp turbinefundering
D2	2	2	2	2	2			2	2	2	Verwijderen poer en (deel) fundering
Effectbeoordeling											
	1Kr	2Bi	2Bu	3Bi	3Bu	4Bi	4Bu	5Bi	5Bu	6Bi	
C1	1	1	1	1	1			1	1	1	Ontwerp overgangsconstructies
C2	3		3		3		3				Bestorten voorland
C3	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	Geen maatregelen mogelijk

(1) Alleen nodig indien de aanwezigheid van zettingsvloeiing gevoelige lagen blijkt uit nader grondonderzoek.

(2) Alleen nodig indien gevaar op instabiliteit blijkt uit vooraf uit te voeren berekeningen.

(3) Voor het tegengaan van effecten als gevolg van het falen van windturbines of turbineonderdelen (F2.9 tot en met F2.11) zijn thans geen realistische maatregelen mogelijk. Verwacht wordt echter dat de resultaten van lopend onderzoek naar de faalkansen van moderne windturbines zullen leiden tot een veel gunstigere effectbeoordeling en daarmee mogelijk tot acceptabele risico's voor de functionaliteit van de waterkering.

(4) Voor een palen met een grote diameter (3 à 6,5m) geldt dat er geen trillingsvrije installatiemethode beschikbaar is. Een alternatief kan zijn om een gesloten boorpalenwand te vormen. Dimensionering hiervan vereist geavanceerde rekenmethodieken (bijvoorbeeld een eindige elementenmethode).

5.4 Nadere toelichting belangrijkste effecten en maatregelen

In de voorgaande twee paragrafen zijn de uitkomsten van de effectbeoordeling en de maatregelen weergegeven in samenvattende overzichten. De voorliggende paragraaf geeft per locatie een nadere toelichting van de belangrijkste effecten en maatregelen. Voor een uitgebreidere toelichting wordt verwezen naar bijlage 2.

5.4.1 Toelichting locaties 1Kr en 6Bi

Voor de plaatsing van de windmolen op de kruin (1Kr) van de waterkering is voor zes effecten het oordeel ‘groot’ toegekend. Deze effecten hebben allemaal betrekking op de functionaliteit van de waterkering tijdens de bouwfase en tijdens exploitatie. Voor zestien effecten is het oordeel ‘middel’ toegekend.
Voor de plaatsing nabij de kruin op het brede dijkprofiel vak de Breezanddijk en Kornwerderzand (6Bi) is de effectbeoordeling vergelijkbaar, met uitzondering van de effecten F1.1, F1.3 en F1.4 (effecten door heitrillingen), waar het oordeel ‘middel’ is toegekend in plaats van ‘groot’.

Hieronder volgt een korte toelichting van de betreffende effecten en mogelijke maatregelen:

Effecten door heiwerkzaamheden
De effecten F1.1, F1.2, F1.3, F1.4a (middel/groot) en F1.7 (middel) worden veroorzaakt door trillingen tijdens het heien van de funderingspalen.

Als gevolg van de trillingen kan instabiliteit optreden van de waterkering of van het voorland (F1.1 t/m F1.4a). Er is onvoldoende onderzoek om zettingsvloeiing van het voorland uit te kunnen sluiten. Ook is in de praktijk door de beheerder verweking van de keileembekleding waargenomen waarvan de gevoeligheid voor de Afsluitdijk nog niet nader is onderzocht en dus niet kan worden uitgesloten. Op basis van het beschikbare grondonderzoek wordt verwacht dat zand in de dijk en ondergrond los gepakt is, waardoor enige zetting is te verwachten door verdichting ten gevolge van heiwerkzaamheden. Als gevolg zal profielverlaging (kruinverlaging) optreden. Ook kan de combinatie van trillingen en een losse pakking in het zand leiden tot stabiliteitsverlies.

De meest voor de hand liggende maatregel is het toepassen van een trillingsvrij paalsysteem, zoals grondverdringende schroefpalen. In dat geval wordt het effect terug gebracht van ‘groot’ of ‘middel’ tot ‘niet van toepassing’. Ten behoeve van de noodzaak voor de te treffen maatregel kan vooraf onderzoek worden gedaan naar de zettings- en verwekingsgevoeligheid van de ondergrond en dijkmaterialen.

Verzwakken van de waterkering door zwaar bouwverkeer (F1.9) of tijdelijke ontgraving (F1.10)
Tijdens de bouw zijn grote belastingen te verwachten door zwaar bouwverkeer, opslag van materialen. Anderzijds kan de weerstand van de waterkering tegen afschuiven worden verlaagd door tijdelijke ontgraving ten behoeve van de aanleg van de funderingspoer. In beide gevallen zal de stabiliteit van het dijklichaam (tijdelijk) verminderen. In de ontwerpfase dient te worden nagegaan of het dijklichaam ook met bovenbelasting of na ontgraving voldoende stabiel is.

Indien dit niet het geval blijkt, kunnen voorzieningen worden getroffen om de stabiliteit gedurende de uitvoeringswerkzaamheden te garanderen (bijvoorbeeld: plaatsing van damwanden). Opgemerkt wordt dat de eventuele risico's beperkt zullen zijn wanneer de bouwwerkzaamheden buiten het stormseizoen (dus onder relatief gunstige belastingomstandigheden) worden uitgevoerd.

Verzwakken van de waterkering door trillingen van de windturbine (F2.2 en F2.3)
Trillingen door cyclische windbelastingen of extreme piekbelastingen kunnen leiden tot verhoogde waterspanningen, verweking (keileem of voorland), verminderde grondeigenschappen en extra belasting op de grond. Hierdoor kan de stabiliteit van de waterkering door afschuiven of verweking nadelig worden beïnvloed en/of kan zetting optreden. Er is nog relatief weinig bekend van de lange termijn effecten van cyclische belastingen op de sterkte en stijfheid van de ondergrond. Vanwege deze onzekerheid dient voorafgaand aan het plaatsen van de windturbines nader onderzoek te worden gedaan naar de sterkte van de ondergrond en de gevoeligheid van de grond voor verweking. Verwacht wordt dat de Afsluitdijk in de huidige situatie weinig veiligheidsmarge heeft in ten aanzien van stabiliteit en kruinhoogte, waardoor belastingen en zettingen al snel tot een ingrijpende invloed leiden.

Door in het ontwerp rekening te houden met een verhoogde norm voor de stabiliteit kan een verhoogde veiligheid worden bereikt. Stabiliteitsverhogende maatregelen, zoals een stabiliteitsberm of grondkerende constructies kunnen nodig zijn om de stabiliteit te garanderen.

Verzwakken van de waterkering door lokale erosie rondom de fundering (F2.5, F2.6, F2.13)

De Afsluitdijk is een overslagbestendige dijk, waarvoor de sterkte van de bekleding van groot belang is. Het verlies van de sterkte van de bekleding door erosie (materiaaluitspoeling) ter plaatse van aansluitingen of door scheurvorming als gevolg van verschilvervormingen (een op palen gefundeerde windmolen zal niet met de waterkering meezakken) zal leiden tot verzwakking van de waterkering. Het gevaar bestaat dat door kiervorming langs palen of onder de fundering ruimten ontstaan die niet vanaf maaiveld waarneembaar zijn. In het ontwerp dient de kans op kiervorming en erosie te worden geminimaliseerd door ruime aandacht te besteden aan de overgangsconstructie tussen de fundering en de bekleding. Materiaaluitspoeling kan op deze manier worden voorkomen. Tevens zal extra inspectie nodig zijn om de erosie tijdig waar te kunnen nemen en tijdig te kunnen herstellen.

Beschadigen van waterkering door omvallen turbinemast, val rotor/ gondel of afbreken rotorblad (F2.9 t/m 2.11)
Indien één of meer windturbines in zijn geheel omvallen, is er op alle beschouwde locaties een kans dat de gondel (zijnde het zwaartepunt van de massa) de kernzone van de waterkering treft. Dan kan niet worden uitgesloten dat er aanzienlijke schade optreedt en de waterkering als gevolg hiervan bezwijkt. De kans op dit effect wordt vrijwel geheel bepaald door de windrichting en windkracht, en kan niet worden beperkt met maatregelen. De standaard inspecties van fundering en bevestigingsflens worden geacht de faalkans klein te houden (grootteorde 10-4 - 10-5); er zijn geen maatregelen aan de kernzone te ontwerpen om de schade te beperken.

De mogelijke maatregel om alleen kleinere windturbines toe te staan (bijvoorbeeld 3 MW) is in deze studie niet onderzocht, maar niet op voorhand is duidelijk dat de geringere massa van een 3MW-gondel tot een veel geringer mogelijk effect zal leiden.

Indien van één of meer turbines de gondel en/of de gehele rotor afbreekt, is er bij alle locaties behalve 4Bi en 4Bu een kans dat deze neerstort op de kernzone van de waterkering. Dit incident kan hetzelfde ernstige gevolg hebben als het volledige falen van de turbine (zie hiervoor) en is evenmin met maatregelen te beperken, afgezien van klein houden van de faalkans – ook hier 10-5 - met behulp van normale inspecties.

Indien van één of meer turbines rotorbladen of delen daarvan zouden afbreken en deze de kernzone van de waterkering zouden treffen, zal een bepaalde mate van beschadiging optreden, maar is de kans dat de waterkering als gevolg hiervan zal bezwijken kleiner. Ook hier kunnen geen specifieke maatregelen worden toegepast die het effect beperken.

Uit deze verkenning van mogelijke maatregelen komen drie thema's naar voren die aandacht vragen:

- faalkansen van windturbines,
- effectscenarioanalyse, en
- de beoordeling van de faalkans van de waterkering.

De hier gehanteerde faalkansen zijn ontleend aan het Handboek risicozonering windturbines (SenterNovem 2005). Dit handboek wordt momenteel herzien. Bij vervolgonderzoek is toepassing van het herziene handboek gewenst, zodra dit beschikbaar is.

Over de effectscenario's kan worden opgemerkt dat de kans dat een falende windturbine of een deel daarvan sterk wordt bepaald door de locatie, de windrichting bij storm en het daarbij behorende hoogwater. De verhouding tussen faalkans van de windturbine of een onderdeel ervan tot de kans dat de kernzone wordt getroffen verhoudt zich in de grootteorde van 10:1 of 100:1. Deze kansberekening via faalscenario's is in deze verkenning niet uitgevoerd omdat dit te verfijnd is in relatie tot de toegepaste methode van het inschalen van effecten. Het is van groot belang dat bij eventuele vervolgstudie aan concrete bouwplannen voor windturbines wel een verfijnde faalscenarioanalyse wordt uitgevoerd.

Tot slot wordt opgemerkt dat er geen duidelijke richtlijnen zijn voor de beoordeling van de door windturbines aan een waterkering toegevoegde kans op falen. Evenmin zijn er richtlijnen voor de kwantificering van de invloed van een incident op de faalmechanismen van de waterkering.

Daarbij wordt nog opgemerkt dat bij een volledig uitgekiend ontwerp er theoretisch geen ruimte is voor een toename van de bezwijkkans van de waterkering. Dit betekent dat een faalkansanalyse alleen nut heeft als er enige reserve in het dijkontwerp aanwezig is.

Verzwakken van de waterkering door het verwijderen van funderingselementen (F3.1 en F3.2)
Het verwijderen van de funderingsplaat en palen kan gevolgen hebben voor de stabiliteit. Vanwege de grote benodigde paallengte (tot circa 30 m), ligt het echter niet voor de hand om de palen volledig te verwijderen.

De constructieve staat van de achterblijvende funderingselementen op lange termijn is onzeker (o.a. degradatie van beton). Bij achterblijven van de fundering zijn de effecten (F2.4 t/m F2.8 en F2.13) vergelijkbaar met de aanwezigheid van de windmolen tijdens exploitatie.

Indien de funderingsplaat en de palen volledig worden verwijderd, zullen de gaten van de palen opgevuld moeten worden met bentoniet of een vergelijkbaar ander materiaal. Het verwijderen van de palen is complex. Er is een techniek beschikbaar die trillingen en grondroering tot gevolg kan hebben. Door de trillingen, grondroering en onzekerheid van het gedrag van het opvulmateriaal op lange termijn blijft een negatief effect op de functionaliteit te verwachten.

Bemoeilijken onderhoud en beheer door verminderde toegankelijkheid (B1)
Gezien de geringe kruinbreedte ten opzichte van de afmetingen van het funderingsblok wordt de toegankelijkheid vooral beperkt door een windmolen op de kruin. Er is in de huidige situatie en in het versterkingsplan geen onderhoudsweg aanwezig/voorzien. Bij het ontwerp van de turbine en de kraanopstelplaats dient aandacht te worden besteed aan ruimte voor onderhoud.

Extra inspectie en onderhoud door mogelijke schade aan de waterkering tijdens bouw, exploitatie en slopen van windmolens (B3)
Om de overslagbestendigheid van de dijk te kunnen garanderen zullen in geval van op of tegen de dijk geplaatste turbines extra inspecties nodig zijn, waardoor de totale beheer- en onderhoudsinspanning enigszins zal toenemen. De beheerder zou afspraken met de initiatiefnemer(s) kunnen maken over compensatie voor toenemende onderhoudskosten.

Windmolens en funderingselementen (ook na demonteren van windturbines) kunnen toekomstige dijkversterkingen bemoeilijken en duurder maken (D1 en D2)
Bij aanwezigheid van de windturbine, of indien de volledige fundering (dus incl. de betonnen poer) in het dijklichaam achterblijft na amoveren, zal deze een belemmering kunnen vormen voor toekomstige dijkversterkingen. Indien alleen de palen achterblijven is deze belemmering van veel kleinere orde. Tevens vormen de aanwezigheid van turbines extra risico's bij het demonteren met behulp van groot materieel.

De beheerder kan afspraken met de initiatiefnemer(s) maken over de mate waarin funderingselementen verwijderd dan wel achtergelaten worden. De extra kosten/maatregelen bij toekomstige dijkversterkingen kunnen beperkt worden door bij ontmanteling van een turbine de funderingspoer en een deel van de palen te verwijderen.

5.4.2 Toelichting locatie 2Bi

Voor de plaatsing van de windmolen op het binnentalud van de waterkering is voor vijf effecten het oordeel ‘groot’ toegekend. De effecten met het oordeel ‘groot’ (F1.1, F1.3, F2.9 t/m F2.11) komen overeen met de plaatsing van de windmolen op de kruin.

Voor elf effecten is het oordeel ‘middel’ toegekend. Afgezien van de effecten F1.2, F1.4a (effect door heitrillingen), F2.3a en B1 is de effectbeoordeling voor de locatie 2Bi gelijk aan die van locatie 1Kr. Het verschil betreft een kleinere invloed van heitrillingen op de verweking van de keileem (F1.2) en het voorland (F1.4), vanwege de grotere afstand tot het buitentalud en het voorland.

Daarnaast is door de ligging aan de binnenzijde de invloed van trillingen door cyclische windbelastingen op de verweking van het voorland (F2.3a) gering.

Ten aanzien van beheer en onderhoud is de plaatsing aan de binnenzijde gunstiger dan op de kruin, doordat de windmolen aan de binnenzijde beter bereikbaar is.

5.4.3 Toelichting locatie 2Bu

Bij plaatsing van windmolens op het buitentalud van de Afsluitdijk komen de effecten met het oordeel ‘groot’ overeen met die van locatie 1Kr. Door de ligging nabij de keileembekleding en het voorland kunnen heitrillingen een ongunstig effect hebben op zettingsvloeiing/instabiliteit door verweking. Een trillingsvrij paalsysteem is de meest voor de hand liggende maatregel.

Voor locatie 2Bu zijn in totaal vijftien effecten beoordeeld als ‘middel’. Ten opzichte van locatie 1Kr heeft de plaatsing op het buitentalud nog de volgende aanvullende effecten:

Verzwakken van de waterkering door afschuiven voorland (F1.5a)
Door de grondaanvulling treedt een bovenbelasting op nabij het voorland, waardoor afschuiven van het voorland kan optreden (in geval van aanwezigheid van een stroomgeul, zie bijlage 1). Op basis van inmeting van het onderwaterprofiel en uitvoering van grondonderzoek kan de kans op afschuiven worden bepaald middels stabiliteitsberekeningen. Indien nodig kan het voorland worden gestabiliseerd door het talud te verflauwen.

Verzwakken van de waterkering door verandering morfologie (F2.14)
Door de aanwezigheid van de een funderingsconstructie of grondaanvullingen kan, door morfologische processen, de geometrie van het voorland veranderen door aanzanden of erosie. Deze morfologische veranderingen kunnen de stabiliteit van de waterkering negatief beïnvloeden. Als maatregel kan het nodig zijn een bestorting aan te brengen in het voorland langs het volledige dijktracé. Deze maatregel is ingrijpend.

5.4.4 Toelichting locatie 3Bi

Bij plaatsing van windmolens op het binnenbeloop aan de IJsselmeerzijde is in de effectbeoordeling drie keer het oordeel ‘groot’ gegeven. Net als voor de overige locaties heeft dit betrekking op het beschadigen van de waterkering door omvallen van de turbinemast, val van de rotor/ gondel of afbreken van een rotorblad (F2.9 t/m 2.11). Voor een nadere toelichting, wordt verwezen naar de toelichting bij locatie 1Kr.

Voor dertien effecten is het oordeel ‘middel’ toegekend. De beoordeling van negen van deze effecten (F1.10, F2.2, F2.5, F2.6, F2.13, F3.1, F3.2b, B3 en D2) zijn overeenkomstig de locatie 1Kr. De overige vier effecten hebben betrekking op beïnvloeding van de waterkering door heiwerkzaamheden (F1.1, F1.2, F1.3 en F1.4a).

De effecten zijn vanwege de ligging in de beschermingszone van een lagere orde dan voor de locaties in de kernzone (zie 1Kr, 2Bi en 2Bu). Het toepassen van een trillingsvrij paalsysteem is een effectieve maatregel, waarna de effecten als verwaarloosbaar klein kunnen worden beschouwd.

5.4.5 Toelichting locatie 3Bu

De effectbeoordeling voor locatie 3Bu is grotendeels vergelijkbaar met locatie 2Bu, zie paragraaf 5.4.3.
Bij plaatsing van windmolens in de beschermingszone aan de Waddenzeezijde zal een grotere grondaanvulling nodig zijn dan voor locatie 2Bu. Door de grondaanvulling is een nadelig effect te verwachten ten aanzien van de veiligheid tegen afschuiven van het voorland door toename van de bovenbelasting (F1.5a), zie locatie 2Bu. Tevens zal bij heien de trillingsbron dichter bij een eventuele stroomgeul (zie bijlage 1) zijn gelegen, waardoor de invloed ten aanzien van zettingsvloeiing groot is (F1.2 en F1.4).

Het effect van heitrillingen op de stabiliteit van de waterkering is vanwege de grotere afstand (ten opzichte van locatie 2Bu) kleiner: de belastingen zijn kleiner. Het oordeel ‘middel’ is toegekend in plaats van ‘groot’. Ook zal door de grotere afstand (geringere trillingen) het effect op zettingen door verdichting (F1.7) kleiner zijn dan bij locatie 2Bu.

5.4.6 Toelichting locaties 4Bi en 4Bu

Het merendeel van de mogelijke effecten is niet van toepassing voor de plaatsing van windmolens op een monopaal in de beschermingzone. Voor beide locaties is, ondanks de grotere afstand tot de waterkering, het oordeel ‘groot’ gegeven voor de effecten die betrekking hebben op het beschadigen van de waterkering door omvallen turbinemast, val rotor/ gondel of afbreken rotorblad (F2.9 t/m 2.11). Voor een nadere toelichting, wordt verwezen naar locatie 1Kr.

Heitrillingen hebben alleen een nadelig effect indien het voorland of de keileemkern zettingsvloeiingsgevoelig is. Het effect van heitrillingen op de stabiliteit van de waterkering is klein. Ook trillingen door cyclische windbelastingen zullen alleen een effect kunnen hebben aan de Waddenzeezijde in geval van een verwekingsgevoelig voorland.
Voor de buitenzijde (4Bu) geldt dat een nadelig effect is te verwachten door verandering van de morfologie door waterstroming langs de fundering. Indien als maatregel het voorland bestort dient te worden, dan zal dit zeer omvangrijk zijn.
Ten aanzien van beheer- en onderhoud en de toekomstige dijkversterking wordt geconcludeerd dat alleen kleine effecten zijn te verwachten.

5.4.7 Toelichting locaties 5Bi en 5Bu

Bij plaatsing van de windmolens op de brede binnen- en buitenberm in het dwarsprofiel voor de aansluiting op de kunstwerken en het werkeiland Breezanddijk zijn vier grote effecten te verwachten en acht effecten met het oordeel ‘middel’. De grote effecten hebben betrekking op mogelijke zettingsvloeiing aan de Waddenzeezijde door heitrillingen (F1.4a) en de schade aan de waterkering door falen van de windturbine of een deel hiervan (F2.9 t/m F2.11). De beoordeling is overeenkomstig locatie 4Bu.

De effecten met het oordeel ‘middel‘ hebben betrekking op de volgende mechanismen:

- Het verzwakken van de waterkering door erosie als gevolg van horizontale en verticale verschilvervormingen (F2.5 en F2.6) en door erosie nabij aansluitingen van de constructie op de bekleding (F2.13), zie locatie 1Kr voor een nadere beschrijving van de effecten.

Door het brede profiel zal plaatselijke erosie niet direct leiden tot bezwijken van de waterkering, in vergelijking met erosie op het buiten- of binnentalud waar de golfaanval en waterstroming groter is.

- Verzwakken van de waterkering door aanwezigheid van funderingselementen na demonteren van de windmolen (F3.1): de resterende funderingselementen kunnen op lange termijn effecten hebben door optreden van verschilvervormingen, kwelweglengteverkorting of door lokale erosie. De effecten zijn vergelijkbaar met de aanwezigheid van de windmolen tijdens exploitatie (F2.4 t/m F2.8 en F2.13).In het ontwerp van de fundering en de aansluiting op de bekleding kunnen de effecten voldoende worden beperkt.
- Extra inspectie en onderhoud door mogelijke schade aan de waterkering tijdens bouw, exploitatie en slopen van windmolens (B3). Door de ligging op de brede bermen is meer ruimte beschikbaar voor bouw en onderhoud. Schade aan de waterkering zal een minder groot effect hebben dan bij locaties nabij de kruin of het talud. Vanwege de overslagbestendigheid is echter elke schade ongewenst en is het oordeel ‘middel’ toegekend. De beheerder zou afspraken met de initiatiefnemer(s) kunnen maken over compensatie voor toenemende onderhoudskosten.
- Windmolens en funderingselementen (ook na demonteren van windturbines) kunnen toekomstige dijkversterkingen bemoeilijken en duurder maken (D1 en D2). Ondanks dat voor het brede dijkprofiel meer ruimte beschikbaar is voor het plaatsen van de windmolens, zal deze een belemmering kunnen vormen voor toekomstige dijkversterkingen. De onderbouwing is gelijk die voor de overige locaties, zie locatie 1Kr.

Naast de in deze studie beschouwde technische en beheersmatige haalbaarheid dienen voorafgaand aan de plaatsing ook overige technische aspecten te worden beschouwd, zoals de ruimtelijke inpassing. Een ander belangrijk aspect waarmee rekening moet worden gehouden bij het plaatsen van windturbines is het garanderen van voldoende veiligheid voor verkeer en passanten op nabijgelegen infrastructuur. Voor een aantal potentiële locaties geldt dat de veiligheid voor verkeer en passanten op de Afsluitdijk beïnvloed kan worden. Daarbij gaat het met name om veiligheidsrisico’s die samen hangen met:

- rotorbladbreuk;
- ijsafwerping;
- het omvallen van de gehele constructie; en
- de verkeersveiligheid.

Bij de laatste valt te denken aan het afgeleid raken van automobilisten door windturbineopstellingen langs de weg. Het verdient aanbeveling om hiervoor nader onderzoek uit te voeren, met name voor potentiële locaties in de kernzone.

5.5 Ruimtelijke vertaling van resultaten naar het onderzoeksgebied

De effectbeoordeling is uitgevoerd voor tien locaties in drie representatieve dwarsprofielen. Om een beeld te krijgen van de mogelijkheden voor plaatsing van windturbines op of nabij de gehele Afsluitdijk, zijn de resultaten van de beoordeling van de effecten en maatregelen in de voorliggende paragraaf ruimtelijk vertaald naar het gehele gebied. Voor deze vertaling zijn vier verschillende zones gedefinieerd. Voor drie zones geldt dat plaatsing van windturbines op basis van de onderzoeksresultaten technisch goed mogelijk lijkt.

Onderscheidend in de onderverdeling zijn de omvang, complexiteit en kosten van de maatregelen. Na het treffen van de maatregelen zijn de effecten voor alle locaties ‘gering’ of hebben ‘geen effect’, met uitzondering van de effecten met betrekking tot het falen van de windturbine of een deel hiervan (F2.9 t/m F2.11).

De vier onderscheiden zones zijn:

Zone 1: Binnenbeschermingszone van de waterkering, waarin plaatsing van windmolens middels een monopaal mogelijk is, mits eenvoudige maatregelen worden getroffen om de verwachte of eventueel mogelijke effecten te mitigeren. Deze zone is in figuur 5.6 groen gearceerd.

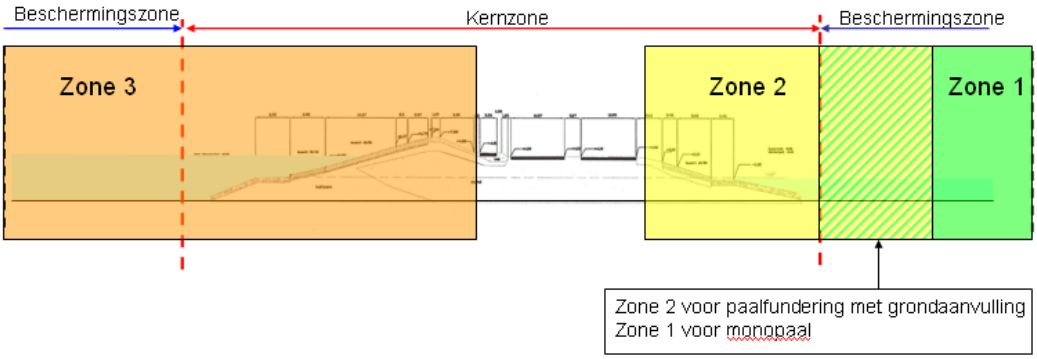
Zone 2: Zone waarbinnen plaatsing van windturbines op basis van de onderzoeksresultaten technisch goed mogelijk lijkt, mits eenvoudige of lokaal vrij omvangrijke maatregelen worden getroffen om de verwachte of eventueel mogelijke effecten weg te nemen of in voldoende mate te beperken. Deze zones zijn in figuur 5.6 geel gearceerd;

Zone 3: Zones waarbinnen plaatsing van windturbines op basis van de onderzoeksresultaten technisch goed mogelijk lijkt, mits complexe of zeer ingrijpende maatregelen getroffen worden om de verwachte of eventueel mogelijke effecten weg te nemen of in voldoende mate te beperken. Deze zones zijn in figuur 5.6 oranje gearceerd.

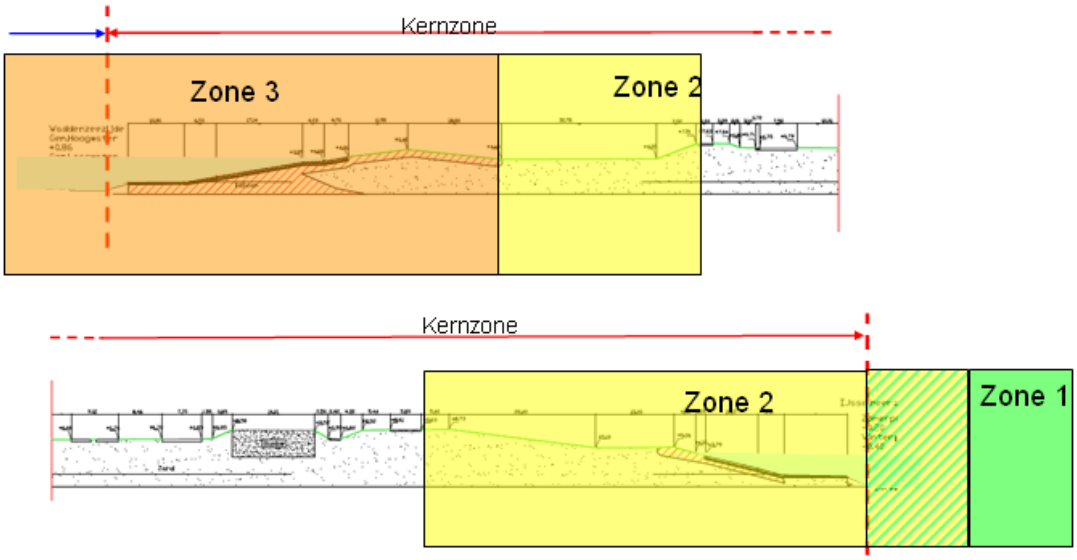
Zone 4: Zone waarin plaatsing van de windturbine uitgesloten is. Het betreft de (al bij aanvang van de verkenning) uitgesloten zones rondom kunstwerken (200 meter). Deze zones zijn in figuur 5.6 rood gearceerd.

In figuur 5.6 is de zonering weergegeven voor de beschouwde dwarsprofielen. De ruimtelijke vertaling is opgenomen in de figuren in bijlage 3.

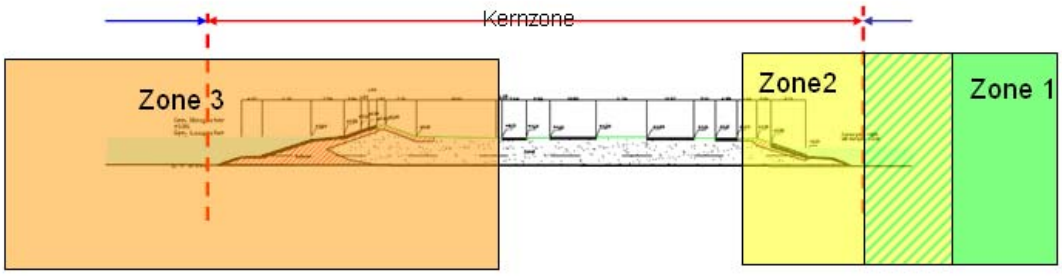
DWP Afsluitdijk



DWP Aansluiting en werkeiland



DWP Kornwerderzand



Figuur 5.6: Zonering in representatieve dwarsprofielen

Hieronder volgt voor de in figuur 5.6 onderscheiden zones een nadere toelichting:

Zone 1 (groen)
Zone 1 betreft de binnenbeschermingszone van de primaire waterkering (IJsselmeerzijde). Op basis van de bevindingen voor locatie 4Bi wordt de plaatsing van windturbines in deze zone technisch haalbaar geacht, mits op basis van (nog) te certificeren aangepaste faalfrequenties voor beoogde turbines kan worden aangetoond dat de faalkansen voor een windmolen (of onderdelen) voldoende klein zijn en tot een acceptabele additionele faalkans voor de waterkering leiden. De fundering van de windturbine in het water bestaat uit een monopaal. Doordat installatie en aanvoer van materialen via water kunnen plaatsvinden zijn de effecten op de waterkering veelal gering. Extra aandacht dient te worden besteed aan de invloed van trillingen op de stabiliteit van de waterkering en voorland tijdens het inbrengen van de palen.

Zone 2 (geel)
Zone 2 betreft het binnentalud en de binnenbermen van de primaire waterkering. De zone is representatief voor de locaties 2Bi, 6Bi (kernzone) en 3Bi (binnenbeschermingszone). De plaatsing van windturbines voor deze zone wordt technisch haalbaar geacht, mits op basis van (nog) te certificeren aangepaste faalfrequenties voor turbines kan worden aangetoond dat de risico's voor de primaire waterkering aanvaardbaar zijn. Lokaal zijn naar verwachting bovendien complexe of dure maatregelen nodig voor het verwijderen van de funderingselementen, aangezien deze de toekomstige dijkversterkingen kunnen belemmeren.

Zone 3 (oranje)
Zone 3 betreft de beschermingszone aan de Waddenzeezijde, het buitentalud en de kruin van de kering Het plaatsen van windmolens ter plaatse van de kruin (1Kr), het buitentalud (2Bu) en de beschermingszone aan de Waddenzeezijde (3Bu, 4Bu) is ongewenst. Door de beperkt beschikbare ruimte en begaanbaarheid zijn grote grondaanvullingen noodzakelijk voor de locaties 1Kr, 2Bu, 3Bu. Tevens dienen een op- en afrit te worden aangelegd voor bouw- en onderhoudsverkeer. De aanwezigheid van de windmolens kan als gevolg hiervan het plegen van onderhoud aan de dijk bemoeilijken of het uitvoeren van toekomstige dijkversterkingen belemmeren. Daarnaast geldt dat vanwege de ligging in of nabij het voorland, trillingen van de windturbine een nadelig effect kunnen hebben op de stabiliteit van het voorland en de waterkering (effect F2.3a).

Net als voor zone 1 en 2 geldt bovendien als voorwaarde dat op basis van (nog) te certificeren aangepaste faalfrequenties voor de beoogde turbines kan worden aangetoond dat de risico's voor de waterkering aanvaardbaar zijn. Daarnaast geldt voor deze zone dat zeer omvangrijke of complexe en dure maatregelen nodig zijn om effecten te kunnen mitigeren of beheersen. Ingrijpend is bijvoorbeeld de maatregel die nodig kan zijn om erosie van het voorland te voorkomen (effect F2.14).

Zone 4 (rood)
Deze zone betreft het directe gebied rondom kunstwerken. In de huidige verkenning is ervan uitgegaan dat turbines niet binnen een afstand van 200 meter van kunstwerken geplaatst mogen worden. Opgemerkt wordt dat indien windmolens met een lagere tiphoogte worden toegepast, de genoemde afstand mogelijk gereduceerd kan worden. Zodoende zou wellicht ruimte kunnen ontstaan voor plaatsing van turbinesop de voorhavendijken, die nu vrijwel geheel binnen 200 m afstand van een kunstwerk zijn gelegen.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

6.1 Inleiding en vraagstelling

Om de technische haalbaarheid van plaatsing van windmolens op en nabij de Afsluitdijk in beeld te brengen is een (voornamelijk kwalitatieve) effectbeoordeling uitgevoerd. Voor deze verkenning is uitgegaan van een nieuw type windturbine met een te leveren vermogen van minimaal 6 MW, welke gefundeerd is op een onderheide betonpoer of een monopaal (in het water).

De vraagstelling voor het onderzoek is geformuleerd door middel van een hoofdvraag en drie deelvragen. De hoofdvraag luidt als volgt:

Op welke locaties en onder welke condities is het mogelijk om windturbines op of nabij de Afsluitdijk te plaatsen, zonder de functionaliteit van de waterkering nadelig te beïnvloeden, het beheer en onderhoud van deze waterkering in onaanvaardbare mate te beïnvloeden en de geplande renovatie van de Afsluitdijk te belemmeren?

De aan deze hoofdvraag gerelateerde deelvragen luiden:

- *Beïnvloedt de realisatie van windturbines in de kern- of beschermingszone van de Afsluitdijk de functionaliteit van de waterkering?*
- *Beïnvloedt de realisatie van windturbines in de kern- of beschermingszone van de Afsluitdijk het beheer en onderhoud van de waterkering?*
- *Kunnen in de kern- of beschermingszone van de gerenoveerde Afsluitdijk windturbines geplaatst worden en vormen deze een belemmering voor eventueel in de verdere toekomst benodigde versterking van de Afsluitdijk, en zo ja, op welke wijze?*

Voor de beantwoording van deze vragen zijn allereerst voor een aantal representatieve onderzoekslocaties de mogelijke effecten in beeld gebracht die de plaatsing, de aanwezigheid en de sloop van windturbines, maar ook de eventueel na sloop achtergebleven funderingen (kunnen) hebben op de waterkering. Hierbij is onderscheid gemaakt in effecten op de functionaliteit, het beheer- en onderhoud en eventuele toekomstige versterkingen van de waterkering. Daar waar mogelijke effecten verwacht worden, zijn vervolgens maatregelen benoemd die deze effecten kunnen wegnemen of in voldoende mate kunnen beperken. Voor verwachte effecten is onderscheid gemaakt in kleine, middel en grote effecten. Op een soortgelijke wijze is tevens de omvang/complexiteit van de maatregelen geclassificeerd. De resultaten voor de onderzochte locaties zijn tot slot ruimtelijk vertaald naar het gehele onderzoeksgebied.

Voor de verkenning van effecten is uitgegaan van het op dit moment beschikbaar referentieontwerp van een overslagbestendige dijk.

Deze verkenning focust op de technische haalbaarheid in relatie tot de waterstaatkundige functie van de waterkering.

De uiteindelijke (totale) haalbaarheid van plaatsing van windturbines op en nabij de Afsluitdijk is mede afhankelijk van de effecten op andere functies, zoals verkeersveiligheid, scheepvaart, ecologie de ruimtelijke inpassing en uiteraard ook de kosten/baten verhouding van de locatie ten opzichte van andere locaties.

6.2 Effecten en maatregelen

Algemeen
Uit de beoordeling van alle mogelijk optredende effecten is gebleken dat er in het algemeen sprake is van een kleine tot middelgrote invloed op de waterkering. Een beperkt aantal mogelijk optredende effecten leidt tot een grote en ingrijpende invloed op de waterkering. Deze invloed kan op één uitzondering na in alle gevallen worden voorkomen of tot een aanvaardbaar niveau worden beperkt door het treffen van aanvullende maatregelen. De zwaarte van de effecten varieert afhankelijk van de locatie van de windturbine in het dwarsprofiel van de waterkering; in het algemeen treedt het grootste effect op bij een locatie op de dijk met afnemend effect richting open water.

De uitzondering geldt voor het falen van de windturbine. Door omvallen van de windturbine (of vallende onderdelen) kan aanzienlijke, onacceptabele schade aan de waterkering ontstaan. Voor de beoordeling van dit effect is de kans van optreden in relatie tot de faalkans van de waterkering van belang. De op dit moment gehanteerde faalkans voor windturbines volgens het vigerende handboek van SenterNovem (2005) is gebaseerd op sterk verouderde typen windturbines en ligt in dezelfde orde grootte als de faalkans van de waterkering. Op basis van deze conservatieve waarden en vanuit een worst case benadering aannemende dat het falen van een windturbine leidt tot falen van de waterkering zijn de risico's onacceptabel.

Belangrijkste effecten & maatregelen

Bouwfase:
Naast bovengenoemd effect met betrekking tot het falen van de turbine of turbineonderdelen zijn er diverse middel tot grote effecten waar serieus rekening mee moet worden gehouden. Een aantal van dergelijke effecten kunnen in de bouwfase optreden. De belangrijkste houden verband met trillingen door het heien van de paalfundering. Hierdoor kan instabiliteit van de waterkering of het voorland optreden. Door toepassing van trillingsvrije paalsystemen kunnen deze nadelige effecten worden voorkomen. Daarnaast kunnen middelgrote effecten ontstaan door zwaar bouwverkeer. Hierover kunnen afspraken met de aannemer worden gemaakt en kan worden overwogen om zware onderdelen over water aan te voeren.

Beheer- en exploitatiefase:
Tijdens de beheer- en exploitatiefase van de windturbines worden de grootste effecten veroorzaakt door het hiervoor reeds benoemde falen van de windturbine. De overige mogelijke effecten leiden tot kleine of middelgrote effecten die alle goed kunnen worden voorkomen of beperkt door aanvullende maatregelen. Het betreft bijvoorbeeld optreden van trillingen door cyclische windbelastingen of extreme piekbelastingen op de windturbines, die afhankelijk van de grondeigenschappen ter plaatse, instabiliteit van de waterkering kunnen veroorzaken. Indien dit wordt verwacht zijn aanvullende maatregelen mogelijk in de vorm van damwanden, verdichtingen of stabiliteitsbermen.

Opgemerkt wordt dat het (lange termijn) effect van cyclische windbelastingen een onzeker risico is. Naast monitoring zullen hierover afspraken gemaakt moeten worden met de beheerder van de waterkering.

Niet duidelijk of je hier de renovatie van 2020 bedoelt of ingaat op latere versterkingen (ik denk het laatste)Mogelijke effecten voor beheer en onderhoud zijn in het algemeen klein. De windturbines en bijbehorende infrastructuur zullen leiden tot extra inspecties om mogelijke schade aan de overslagbestendige dijk tijdig te kunnen constateren. Daarnaast zal de aanwezigheid het onderhoud en beheer enigszins kunnen bemoeilijken vanwege een verminderde toegankelijkheid bij sommige plaatsingsalternatieven.

Toekomstige versterking van de waterkering kan in sommige situaties een middelgrote invloed hebben. Aanwezigheid kan leiden tot complicaties voor toekomstige dijkversterking en achtergebleven funderingselementen kunnen leiden tot hogere kosten. Nadelige effecten kunnen worden beperkt door hier in de ontwerpfase van de windturbines rekening mee te houden.

Naast mogelijk afzonderlijk optredende effecten tijdens de verschillende fasen zijn ook enkele cumulatieve effecten onderscheiden. Als gevolg van verschilvervormingen en /of lokale erosie kunnen ondergrondse ruimten onder de bekleding van de overslagbestendige dijk ontstaan, waarbij tijdens onderhoudswerkzaamheden door zwaar verkeer eerder schade kan optreden. Hier dient in het ontwerp goed rekening mee te worden gehouden.
Bij grondaanvullingen of constructies in het voorland aan de Waddenzeezijde kan door erosie en sedimentatie eerder een kritische situatie voor de waterkering ontstaan. Dit kan worden voorkomen met een ingrijpende en kostbare maatregelen, in het uiterste geval door het voorland langs de gehele waterkering te bestorten. Ten slotte zal er als gevolg van meerdere mogelijke effecten een intensievere afstemming nodig zijn voor beheer en onderhoud van de waterkering tussen de beheerders van de waterkering, de windturbines, de weg en de kabels en leidingen.

6.3 Conclusies

Op basis van de resultaten en bevindingen van de uitgevoerde verkenning naar de gevolgen van de plaatsing van turbines voor de waterveiligheid worden de volgende twee hoofdconclusies getrokken voor de beantwoording van de onderzoeksvragen:

Plaatsing van windturbines op of nabij de Afsluitdijk is technisch mogelijk op delen van de dijk over een totale lengte van circa 27,6 km, mits op basis van (nog) te actualiseren algemene faalfrequenties van windturbines, dan wel in een afzonderlijke veiligheidsstudie voor de beoogde windturbines kan worden aangetoond dat de risico's van falen van de windturbines voor de waterkering aanvaardbaar zijn. Dit is momenteel nog niet mogelijk op basis van de in het vigerende Handboek risicozonering windturbines [SenterNovem, 2005] opgenomen faalkansen voor windturbines, aangezien deze zijn gebaseerd op sterk verouderde typen windturbines en niet representatief (en zeer conservatief) zijn voor moderne turbines.

Over een totale lengte van 4,0 km, de trajecten in de directe omgeving van kunstwerken (binnen een zone van 200 meter vanaf de kunstwerken), wordt plaatsing van windmolen uitgesloten. Voor een overzicht van de betreffende dijkvakken wordt hier verwezen naar paragraaf 3.1. De afstand van 200 meter is als uitgangspunt gesteld op basis van de maximale tiphoogte van de in deze studie genomen windmolen. Bij omvallen van een windmolen dient het functioneren van het kunstwerk te worden gegarandeerd. Bij kleinere windmolens kan de afstand dus kleiner zijn.

Aan de hand van de drie onderzochte deelvragen wordt een nadere toelichting gegeven.

- *Beïnvloedt de realisatie van windturbines in de kern- of beschermingszone van de Afsluitdijk de functionaliteit van de waterkering?*

Afhankelijk van de locatie voor het plaatsen van de windturbine in het dwarsprofiel van de dijk dienen er diverse maatregelen getroffen te worden om de functionaliteit te waarborgen. Voor alle locaties geldt dat de te treffen maatregelen voor een deel bestaan uit het stellen van technische eisen voor het ontwerp van de windturbines of het vooraf maken en vastleggen van heldere afspraken tussen de waterkeringbeheerder en de initiatiefnemer. Afhankelijk van de uitkomsten van benodigd aanvullend grondonderzoek en hierop gebaseerde stabiliteitsberekeningen zijn er mogelijk ook fysieke risico-beperkende maatregelen nodig. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan het aanpassen van de uitvoeringsmethode (zoals aanpassing van de hei-intensiteit of keuze voor boorpalen) of het aanbrengen van voorzieningen om de stabiliteit van de waterkering in de bouw- en sloopfase van windturbines te kunnen garanderen.

Plaatsing van windmolens op het buitentalud of in de beschermingszone aan de Waddenzeezijde is technisch mogelijk, echter, er zullen complexe en zeer omvangrijke maatregelen nodig zijn om de stabiliteit van het voorland en van de waterkering te kunnen blijven garanderen.

Plaatsing van windmolens op een monopaal in de binnenbeschermingszone is mogelijk, mits extra zorg wordt besteed aan voorkomen van morfologische veranderingen (gebruiksfase) en de invloed van trillingen op de stabiliteit van de waterkering en voorland tijdens het inbrengen van de palen (bouwfase).

- *Beïnvloedt de realisatie van windturbines in de kern- of beschermingszone van de Afsluitdijk het beheer en onderhoud van de waterkering?*

Om de overslagbestendigheid van de dijk te kunnen garanderen zullen in geval van op of tegen de dijk geplaatste turbines extra inspecties nodig zijn, waardoor de totale beheer- en onderhoudsinspanning enigszins zal toenemen.

De funderingsblokken van de windmolens verminderen, afhankelijk van het plaatsingsalternatief, de toegankelijkheid van de dijk voor beheer en onderhoud. Dit is gelet op de geringe breedte van de kruin van de dijk vooral het geval bij windmolens op de kruin en het buitentalud.

– *Kunnen in de kern- of beschermingszone van de gerenoveerde Afsluitdijk windturbines geplaatst worden en vormen deze een belemmering voor eventueel in de verdere toekomst benodigde versterking van de Afsluitdijk, en zo ja, op welke wijze?*

In deze studie is uitgegaan van een op dit moment beschikbaar ontwerp van een overslagbestendige dijk. Plaatsing van windmolens op de kruin, het binnentalud of de binnenbermen van de primaire waterkering is technisch mogelijk, mits lokaal complexe en/of dure maatregelen getroffen worden voor het (deels) verwijderen van de funderingselementen, aangezien deze verder in de toekomst noodzakelijke dijkversterkingen kunnen belemmeren.

6.4 Aanbevelingen

Er zijn veel gegevens beschikbaar ter plaatse van de waterkering. In het voorland is het grondonderzoek tot nu toe echter beperkt gebleven. Ook is nog weinig bekend over de geotechnische eigenschappen van het keileem in de dijk. In deze verkenning zijn conservatieve aannamen gedaan voor wat betreft de verwekingsgevoeligheid van deze keileem. Ondanks dat het hier aannemelijke aannamen betreft, wordt sterk aanbevolen om deze in het (eventuele) vervolgtraject te verifiëren op basis van aanvullend grondonderzoek.

Bij vervolgonderzoek ten behoeve van de planvorming wordt aanbevolen om ten aanzien van faalkansen gebruik te maken van het nieuwe Handboek risicozonering windturbines (zodra dat beschikbaar is). Daarbij is flexibiliteit gewenst om innovaties op dit punt ruimte te bieden.
Naast de faalkansen zelf dient ook de relatie tussen het falen van de turbines en de effecten op de waterkering nader beschouwd te worden.

Momenteel bestaan er geen richtlijnen voor de beoordeling van een toegevoegde kans op falen van de waterkering als gevolg van mogelijke schade door andere aan de waterkering toegekende functies zoals bijvoorbeeld verkeer en windenergie. Aanbevolen wordt hiervoor richtlijnen te ontwikkelen.

Voor een aantal locaties, zoals de kruin, het buitentalud en het binnentalud, zal de aanleg van een op- en afrit nodig zijn om de locatie bereikbaar te maken. Dit vormt een aandachtspunt voor de verkeersveiligheid, waarvoor nadere studie wordt aanbevolen.

Naast de in deze studie beschouwde technische en beheersmatige haalbaarheid dienen voorafgaand aan de plaatsing ook overige technische aspecten te worden beschouwd, zoals de ruimtelijke inpassing. Een ander belangrijk aspect waarmee rekening moet worden gehouden bij het plaatsen van windturbines is het garanderen van voldoende veiligheid voor passanten op nabijgelegen infrastructuur. Daarbij valt te denken aan veiligheidsrisico's die samen hangen met:

– rotorbladbreuk;
– ijsafwerping;
– het omvallen van de gehele constructie; en
– de verkeersveiligheid.

Bij de laatste valt te denken aan het afgeleid raken van automobilisten door windturbineopstellingen langs de weg.

Tot slot wordt opgemerkt dat in deze verkenning is gefocust op de technische haalbaarheid in relatie tot de waterstaatkundige functie van de waterkering. De uiteindelijke (totale) haalbaarheid zal mede afhankelijk zijn van de effecten op verkeersveiligheid, scheepvaart, ecologie, ruimtelijke inpassing en kosten.

7 LITERATUUR

[DWW, 2000]
Windmolens en Waterkeringen
Dienst Weg- en Waterbouwkunde, november 2000

[Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2012]
Voornemen Rijksstructuurvisie Windenergie op Land
Achtergrondinformatie
Ministerie van Infrastructuur en Milieu, september 2012

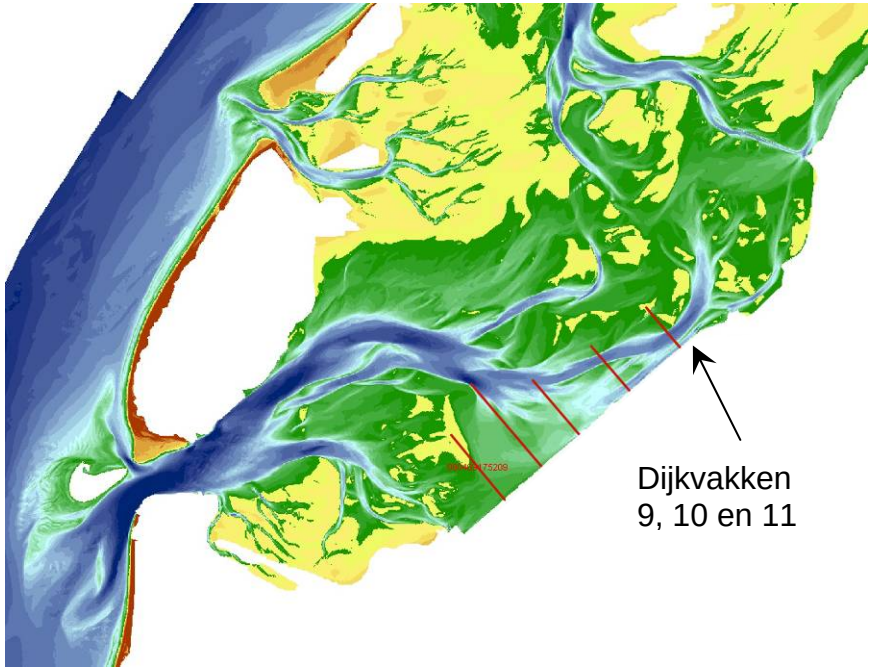
[Royal Haskoning, 2011]
Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbines Krammersluizencomplex, Verkenning van de technische haalbaarheid, augustus 2011

[SenterNovem, 2005]
Handboek Risicozonering Windturbines, 2005
SenterNovem, januari 2005

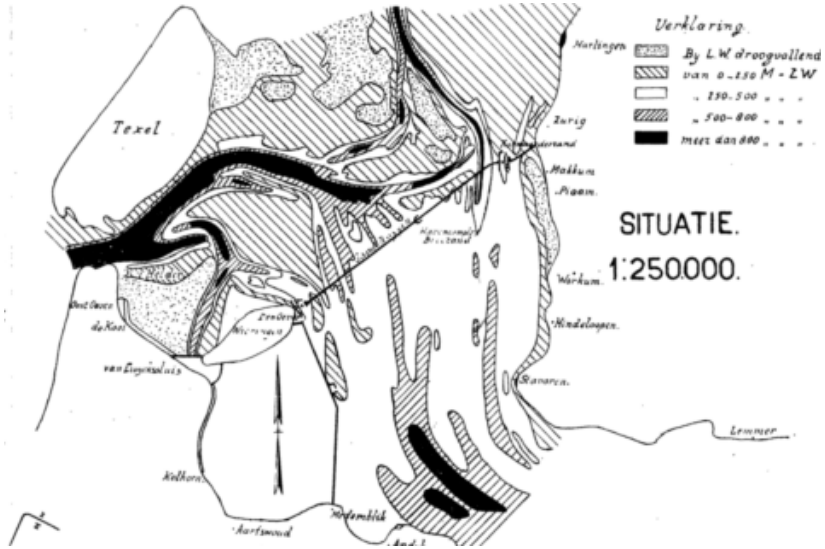
[V&W, 2007]
Voorschrift Toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen
Ministerie van Verkeer & Waterstaat, september 2007

[V&W, 2002]
Beleidsregel voor het plaatsen van windturbines op, in of over rijkswaterstaatswerken.
Ministerie van Verkeer & Waterstaat, mei 2002

Bijlage 1
Ligging stroomgeulen



Bron: Deltares, Geotechnisch risico-evaluatie versterking Afsluitdijk. December 2008



Bron: detail uit Rijkswaterstaat, Overzicht Afsluitdijk Wieringen- Friesland, 1938

Bijlage 2
Effectbeoordeling & maatregelen

Legenda voor de effectbeoordeling

	klein: zeer beperkte invloed
	middel: significante invloed (aanvullende maatregelen noodzakelijk)
	groot: ingrijpende invloed (omvangrijke aanvullende maatregelen noodzakelijk)
	niet van toepassing: geen invloed

Legenda voor de maatregel

	klein: eenvoudige maatregel met relatief lage kosten
	middel: eenvoudige of lokale maatregel met relatief hoge kosten
	groot: complexe of zeer omvangrijke maatregel met relatief hoge kosten
	niet van toepassing: geen maatregel noodzakelijk

1 = klein
2 = middel
3 = groot
0 = effect of nvt

1 = klein
2 = middel
3 = groot
0 = nvt

Effecten op de functionaliteit van de waterkering		**Effectbeoordeling**										**Toelichting**	**Mogelijke maatregelen**	**Effectbeoordeling na treffen van maatregelen**									
Bouwfase		**1Kr**	**2Bi**	**2Bu**	**3Bi**	**3Bu**	**4Bi**	**4Bu**	**5Bi**	**5Bu**	**6Bi**			**1Kr**	**2Bi**	**2Bu**	**3Bi**	**3Bu**	**4Bi**	**4Bu**	**5Bi**	**5Bu**	**6Bi**
F1.1	De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot tijdelijke verhoging van wateroverspanningen (zone van circa 10 m) in het dijklichaam en daarmee mogelijk tot bezwijken door verweken (keileemkern of los gepakt dijkzand) of afschuiven van de waterkering.	3	3	3	2	2	0	0	1	1	2	De ondergrond bestaat hoofdzakelijk uit sterk siltige fijne zanden en zandige leemlagen, waarin wateroverspanningen kunnen optreden. Met name de kleileem in de taluds is in het verleden gevoelig gebleken voor verweking. De kern van de dijk is opgebouwd uit zand met een matige tot goede doorlatendheid, waarin wateroverspanningen snel zullen afnemen. Op de locaties waar de windmolen is voorzien in het talud kunnen wateroverspanningen door heitrillingen grondmechanische instabiliteit veroorzaken. Naarmate de afstand tot het talud toeneemt neemt de invloed af. Bij meer dan circa 10 m afstand wordt de invloed van wateroverspaningen verwaarloosbaar klein geacht.	- Vooraf bepalen wat toelaatbare waterspanningen zijn voor stabiliteit met verhoogde norm voor de stabiliteitsfactor, meten waterspanningen tijdens heiwerkzaamheden en heiwerkzaamheden hierop afstemmen. Interpretatie is echter lastig vanwege wisselende (grond)waterstanden. Procedure vastleggen in een heiplan. Naar verwachting is de stabiliteit in de huidige situatie maar net voldoende (zie tweede en derde toetsronde) en is onvoldoende marge aanwezig voor een verhoogde norm. - Versterken van afschuivingsgevoelige taluds door aanbrengen (tijdelijke) stabiliteitsverhogende maatregelen, zoals grondaanvullingen of damwanden. - **Toepassen trillingsvrij paalsysteem** (bij voorkeur een grondverdringende schroefpaal). Dit is de meest zekere en voor de hand liggende maatregel. - Bemalen tijdens heien van de palen om waterstanden te verlagen (weinig praktisch gezien de grote aanvoer vanuit het open water en de ondergrond)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1.2	De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot verweking van de keileemkern of los gepakte zand in de waterkering, en daarmee tot instabiliteit van de waterkering	3	2	3	2	3	1	2	1	2	3	In het verleden is gebleken dat keileem in de waterkering kan verweken (vloeien) onder invloed van trillingen. Er is weinig bekend van de samenstelling en eigenschappen van het keileem in de Afsluitdijk. De weerstand tegen verweking is daarom onzeker. Voor locaties nabij het buitentalud is de invloed groot. Het effect neemt af, naarmate de afstand tot het keileem toeneemt.	Voorafgaand aan het heien kunnen de eigenschappen (o.a. samenstelling, Atterbergse grenzen) van het keileem door middel van laboratoriumonderzoek worden bepaald. Op basis van de eigenschappen kan de weerstand tegen verweking worden ingeschat. De meest betrouwbare maatregel is het toepassen van een **trillingsvrij paalsysteem**. Er is dan geen bron (trigger) voor de verweking.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1.3	De dynamische belastingen (zone circa 50 m op basis van expert judgement) ten gevolge van het heien kunnen leiden tot afname van de stabiliteit van de waterkering	3	3	3	2	2	1	1	1	1	2	De belastingen (versnellingen) zijn het grootst nabij de heipalen en nemen af met de afstand. De locaties op het talud hebben daarom een significante invloed op de stabiliteit. Naarmate de windmolens verder van het talud worden geplaatst of op een vlak terrein is de invloed middel of klein.	- Voorafgaand aan heien beoordelen stabiliteit met verhoogde norm (conform RWS document *Windmolens en Waterkeringen* , November 2000) voor de stabiliteitsfactor en rekening houdend met extra belasting door versnelling. Tijdens de uitvoering meten van versnellingen. Naar verwachting is de stabiliteit in de huidige situatie maar net voldoende (zie tweede en derde toetsronde) en is onvoldoende marge aanwezig voor een verhoogde norm. - **Toepassen trilllingsvrij paalsysteem**. Een grondverdringende schroefpaal heeft de voorkeur boven grondverwijderende boor- of avegaarpalen.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1.4a	De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen aan de Waddenzeezijde, bij aanwezigheid van een onderwatertalud en een zettingsvloeiingsgevoelige voorland (aanwezigheid van een los gepakte fijnkorrelige zandlaag met geringe relatieve dichtheid), leiden tot het optreden van zettingsvloeiing in het voorland en daarmee mogelijk tot bezwijken van de waterkering	3	2	3	2	3	1	3	1	3	2	In de derde toetsronde is vastgesteld dat zich aan de Waddenzeezijde vanaf de Breezanddijk in noordelijke richting over een lengte van ca. 4 km een geul tot een diepte van ca. N.A.P. -11 m op een afstand van 50 à 60m voor de kering heeft ontwikkeld. Daarnaast zijn zandlagen aangetroffen, waarvan niet is uit te sluiten dat deze zettingsvloeiinggevoelig zijn. Geconcludeerd is dat zettingsvloeiing niet is uit te sluiten voor de dijkvakken 4, 9 t/m 11 en 13. De dijkvakken 4 en 13 betreffen de spuikommen van Den Oever en Kornwerderzand. Deze zijn geheel bestort en leveren derhalve geen gevaar op zettingsvloeiing op. De dijkvakken 9, 10 en 11 zijn gelegen tussen de Breezandijk en 'de Knik'. Onzeker is tot welke afstand de trillingen een potentiële bron vormen voor verweking. De invloed van heien op de locaties nabij het voorland is het grootst, die nabij het IJsselmeer zal vanwege de grotere afstand kleiner zijn.	Voorafgaand aan de plaatsing dient op de locaties van de windmolen nader onderzoek te worden verricht naar het voorkomen van zettingsvloeiingsgevoelige grondlagen en de aanwezigheid van geulen in het voorland. Het onderzoek dient minimaal te bestaan uit sonderingen en bepaling van de korrelgrootteverdeling en korrelvorm. Indien het risico op zettingsvloeiing niet kan worden uitgesloten zijn maatregelen nodig.De meest zekere maatregel is toepassen van een **trillingsvrij paalsysteem** (bij voorkeur een grondverdringende schroefpaal). Andere maatregelen, zoals het volledig stabiliseren of bestorten van het voorland, zijn zeer ingrijpend.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1.4b	De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen aan de IJsselmeerzijde, bij een zettingsvloeiingsgevoelige binnenvoorland (aanwezigheid van een los gepakte fijnkorrelige zandlaag met geringe relatieve dichtheid), leiden tot het optreden van zettingsvloeiing in het voorland en daarmee mogelijk tot bezwijken van de waterkering	0	0	1	0	1	2	0	1	0	0	Aan de IJsselmeerzijde zijn, voor zover bekend, geen stroomgeulen aanwezig, die evenwijdig lopen aan de dijk. Er is echter nooit eerder een toetsing verricht van de stabiliteit van de binnenvooroever. Verwacht wordt dat door het ontbreken van stroomgeulen de kans op optreden van zettingsvloeiing klein is.	Zie F1.4a. Voor de monopaal geldt dat deze niet eenvoudig trillingsvrij kan worden aangebracht. Een boorpalenwand zou een alternatief kunnen zijn, waarbij extra aandacht nodig is aan dimensionering van de paal (bijvoorbeeld middels een eindige elementen methode)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1.5a	Door het aanbrengen van een grondlichaam tegen de waterkering aan de Waddenzeezijde neemt de bovenbelasting op het voorland toe waardoor afschuiving van het voorland kan optreden.	1	0	2	0	2	0	0	0	0	0	In de derde toetsronde is vastgesteld dat zich aan de Waddenzeezijde vanaf de Breezanddijk in noordelijke richting over een lengte van ca. 4 km een geul tot een diepte van ca. N.A.P. -11 m op een afstand van 50 à 60m voor de kering heeft ontwikkeld (dijkvakken 9, 10 en 11). Op basis van de geometrische toets is echter vastgesteld dat het talud nergens zo steil is dat afschuiving kan optreden. De geometrie van de geul kan echter in de toekomst veranderen door erosie en sedimentatie, waardoor er toch een kleine kans bestaat dat de grondaanvulling bij toekomstige aanleg tot afschuiving kan leiden. De omvang van de schade bij afschuiving beperkts zich veelal tot het voorland en de schade aan de waterkering is daardoor kleiner dan bij zettingsvloeiing van het voorland.	Voorafgaand aan de plaatsing van de windmolens kan de onderwatergeometrie van het voorland, inclusief een eventuele stroomgeul worden ingemeten. Op basis van de geometrie kan inzicht worden gekregen in de kans op optreden van afschuiven van het voorland. Om afschuiven te voorkomen kan het voorland worden gestabilseerd door het talud te verflauwen. Bestorten heeft geen invloed op dit faalmechansime. Wel kan het noodzakelijk zijn om een deel van het voorland te bestorten zodat de taludverflauwing in stand blijft (afhankelijk van het erosie-sedimentatieproces).	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
F1.5b	Door het aanbrengen van een grondlichaam tegen de waterkering aan de IJsselmeerzijde neemt de bovenbelasting op het voorland toe waardoor afschuiving van het voorland kan optreden.	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	Aan de IJsselmeerzijde, zijn voorzover bekend geen stroomgeulen aanwezig, die als gevolg van het aanbrengen van een bovenbelasting instabiel kunnen worden. Aangezien er onvoldoende gegevens zijn om beïnvloeding uit te sluiten is de invloed gering voor de locaties met een grondaanvulling tegen het binnenbeloop.	Voorafgaand aan de plaatsing kan de onderwatergeometrie van het voorland, inclusief een eventuele stroomgeul worden ingemeten. Op basis van de geometrie kan inzicht worden gekregen in de kans op optreden van afschuiven van het voorland. Om afschuiven te voorkomen kan het voorland worden gestabilseerd door het talud te verflauwen. Bestorten heeft geen invloed op dit faalmechansime. Wel kan het noodzakelijk zijn om een deel van het voorland te bestorten zodat de taludverflauwing in stand blijft (afhankelijk van het erosie-sedimentatieproces)	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0

F1.6	Door de installatie van palen kan kortsluiting ontstaan tussen watervoerende grondlagen met daartussen een afsluitende laag. Door kortsluiting kan de kans op kwel en/of piping optreden toenemen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Door de insnijding van geulen in het voorland, een overwegend zandige ondergrond (wadzandafzettingen) en een heterogene bodemopbouw zonder doorgaande waterremmende grondlagen worden geen verschillen in stijghoogte verwacht. Dit effect kan worden uitgesloten.	Geen maatregelen nodig.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1.7	De door heiwerkzaamheden veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot zetting door verdichting/inklinking van het dijklichaam en/of dieper gelegen zandlagen. Hierdoor kan de hoogte van het dijkprofiel afnemen.	2	2	2	1	1	0	0	1	1	2	Door aanwezigheid van losgepakt zandlagen in de ondergrond en in het dijklichaam kunnen trillingen leiden tot verdere verdichting van het grondlichaam (waterkering en ondergrond) en daarmee zettingen veroorzaken. De zetting zal beperkt zijn tot circa 10 m rondom de windmolen en kan enkele decimeters bedragen. Voor de bekleding kan dit resulteren in scheurvorming. Voor de overslagbestendige Afsluitdijk is dit zeer ongewenst. Plaatsing van de windmolen op meer dan circa 10 m van de kruin zal de functionaliteit van de waterkeringen niet beïnvloeden. Zettingen ter plaatse van locaties 1Kr en 6Bi zullen leiden tot kruinverlaging en de waterkering direct nadelig beïnvloeden (toename overslag).	Ongewenste profielverlagingen kunnen achteraf hersteld worden.Scheuren van een bekledingslaag is onwenselijk en niet snel te herstellen. Een mogelijkheid is om de uitvoeringstechnieken zodanig aan te passen dat trillingen (en daarmee zettingen) geminimaliseerd worden. Door bijvoorbeeld de ontwikkelingen tijdens de heiwerkzaamheden te monitoren, kan adequaat gereageerd worden op ongewenste ontwikkelingen (denk aan: aanpassing van de hei-intensiteit). Een andere mogelijke maatregel is het toepassen van een **trillingsvrij paalsysteem**. Ten behoeve van het bepalen van de te treffen maatregelen zou de zettinggevoeligheid van de ondergrond vooraf in beeld gebracht kunnen worden op basis van nader grondonderzoek.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1.8	De bij de verdichting van de beoogde grondaanvulling veroorzaakte trillingen kunnen leiden tot zetting door verdichting/inklinking van het dijklichaam en/of dieper gelegen zandlagen. Hierdoor kan de hoogte van het dijkprofiel afnemen.	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	Bij de locaties 4Bi, 4Bu, 5Bi, 5Bu en 6Bi vindt geen aanvulling plaats, waardoor dit effect niet van toepassing is. Voor de locaties overige locaties kan een beperkte zetting door verdichting optreden, aangezien het dieptebereik van de oppervlakteverdichting beperkt is tot enkele meters, waardoor ook de inklinking gering is. De trillingen zijn bovendien van veel kleinere orde dan het onder F1.6 beschreven effect.De invloed op de functionaliteit is hierdoor klein.	Er zijn geen mitigerende maatregelen mogelijk. De herstelmaatregelen (bijvoorbeeld herstel bekleding en aansluiting) maken deel uit van de reguliere aanleg- en onderhoudswerkzaamheden.	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
F1.9	Bij betreding van de waterkering met zwaar bouwverkeer (o.a. de heistelling en kranen) en opslag van materialen zou schade kunnen ontstaan aan de waterkering en daarop aanwezige infrastructuur.	2	1	2	1	2	0	0	1	1	2	Bij plaatsing van de windmolen op de kruin of nabij het buitentalud (locaties 1Kr, 2Bu, 3Bu en 6Bi) zal de kraaopstelplaats nabij het talud worden geplaatst, waardoor de bovenbelasting toeneemt. Bij een toename van de bovenbelasting nabij het binnentalud (locaties 2Bi en 3Bi zal afschuiven niet direct leiden tot onvoldoende veiligheid, vanwege het ruime restprofiel. Voor de overige locaties heeft een bovenbelasting geen invloed op de stabiliteit. De eventuele schades door spoorvorming zijn naar verwachting relatief klein en kunnen bovendien eenvoudig hersteld worden. Wel is de kans op schade naar verwachting groter voor locaties op de kruin of buitentalud die lastig bereikbaar zijn. In de huidige situatie zijn deze locaties niet bereikbaar voor bouwverkeer. Ook is in de versterkingsplan geen onderhoudspad voorzien. Indien voor de locaties 4Bi en 4Bu de materialen vanaf water worden aangevoerd is er geen schade aan de waterkering te verwachten.	Voorafgaande aan de bouwwerkzaamheden kunnen afspraken met de aannemer worden gemaakt over het herstel van eventueel veroorzaakte schades. Daarnaast kan overwogen worden om zware turbineonderdelen via het water aan te voeren, zodat de lokale infrastructuur op de waterkering ontzien wordt. De stabiliteit van de waterkering dient in het ontwerp getoetst te worden, waarbij de bovenbelasting in beschouwing wordt genomen. Met de aannemer kunnen afspraken worden gemaakt over de locatie voor het plaatsing van materialen. Voor de zware kranen kan een paalfundering worden toegepast om de belasting over te dragen naar de dipe gelegen draagkrachtige grondlagen.	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
F1.10	Ten behoeve van het storten van de funderingspoer en het aanleggen van kabels en leidingen zullen tijdelijke ontgravingen nodig zijn, welke de waterkering tijdelijk verzwakken.	2	2	2	2	2	0	0	1	1	2	Tijdelijke ontgravingen ter plaatse van de horizontale terreinen (locaties 4Bu en 4Bi) zijn niet van invloed op de functionaliteit van de waterkering. Daar waar ontgravingen in of nabij de kruin zijn voorzien (locaties 1Kr en 6Bi) is de invloed op de kruinhoogte significant. Op locaties waar ontgravingen nabij of in het talud van de primaire waterkering plaatsvinden (overige locaties) is een geringe tot significante invloed te verwachten op het waterkerend vermogen van de kering. Zo zouden ontgravingen kunnen leiden tot afname van de macrostabiliteit of afname van de erosiebestendigheid van taluds ten gevolge van het tijdelijk verwijderen van de bekleding.	In de ontwerpfase dient te worden nagegaan of het grondlichaam waarin de tijdelijke ontgraving plaatsvindt ook na ontgraving voldoende stabiel is. Indien dit niet het geval blijkt, kunnen voorzieningen worden getroffen om de stabiliteit te garanderen (bijvoorbeeld: plaatsing van damwanden). Opgemerkt wordt dat de eventuele risico's ook al deels beperkt zullen zijn doordat de bouwwerkzaamheden buiten het stormseizoen (dus onder relatief gunstige belastingomstandigheden) worden uitgevoerd. Effecten van eventueel te nemen maatregelen, zoals het inbrengen van damwanden, dienen in het ontwerp nader te worden beschouwd.	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Beheer- en exploitatiefase																							
F2.1	Bij op de waterkering geplaatste windturbines zou er (in geval van belastingoverdracht binnen het kritieke glijvlak) door het gewicht van de windturbine sprake kunnen zijn van een verticale belasting van de waterkering en de directe ondergrond. Een dergelijke belasting zou de stabiliteit van de waterkering kunnen beïnvloeden.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Het gewicht van de turbine wordt via de paalfundering op de diepere ondergrond afgedragen (buiten het kritsiche vlak voor afschuiven) en is niet van invloed op de stabiliteit van de waterkering.	Geen maatregelen nodig (uitgaande van een goed funderingsontwerp)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2.2	Trillingen door cyclische windbelastingen of extreme piekbelastingen kunnen leiden tot verhoogde waterspanningen, verweking van keileem of zand in de dijkkern, verminderde grondeigenschappen en extra belasting op de grond. Hierdoor kan de stabiliteit door afschuiven van de waterkering nadelig worden beïnvloed en/of kan zetting optreden.	2	2	2	2	2	0	0	1	1	2	Voor windturbines gelden strenge eisen ten aanzien van de horizontale stijfheid van de fundering. De horizontale verplaatsing is hierdoor veelal beperkt tot enkele millimeters. Het effect van deze grondverplaatsing op de stabiliteit zal daarom zeer gering zijn. Van vermindering van grondeigenschappen door cyclische belastingen is nog maar weinig bekend en is dus een onzekerheid in het ontwerp.Daarnaast is het gedrag van keileem onder invloed van trillingen onzeker (kans op verweking). Iin vergelijking tot trillingen bij heien treden lagere versnellingen op en deze hebben daarom een kleinere invloed op de macrostabiliteit. Vanwege de onzekerheid van de invloed van trillingen op de ondergrond is het effect als 'matig' beoordeeld indien de windmolen is voorzien nabij een talud. Indien de windmolen is voorzien op een vlak terrein is dit effect gering of niet van toepassing.	Door de stabiliteit te beoordelen met een verhoogde norm voor de stabiliteitsfactor kan vooraf worden nagegaan of stabiliteitsproblemen kunnen worden verwacht. Naar verwachting is de stabiliteit in de huidige situatie maar net voldoende (zie tweede en derde toetsronde) en is onvoldoende marge aanwezig voor een verhoogde norm. Indien instabiliteit wordt verwacht dienen maatregelen te worden genomen zoals het plaatsen van damwanden, diepteverdichting van het zand of het aanbrengen van stabiliteitsbermen.	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1

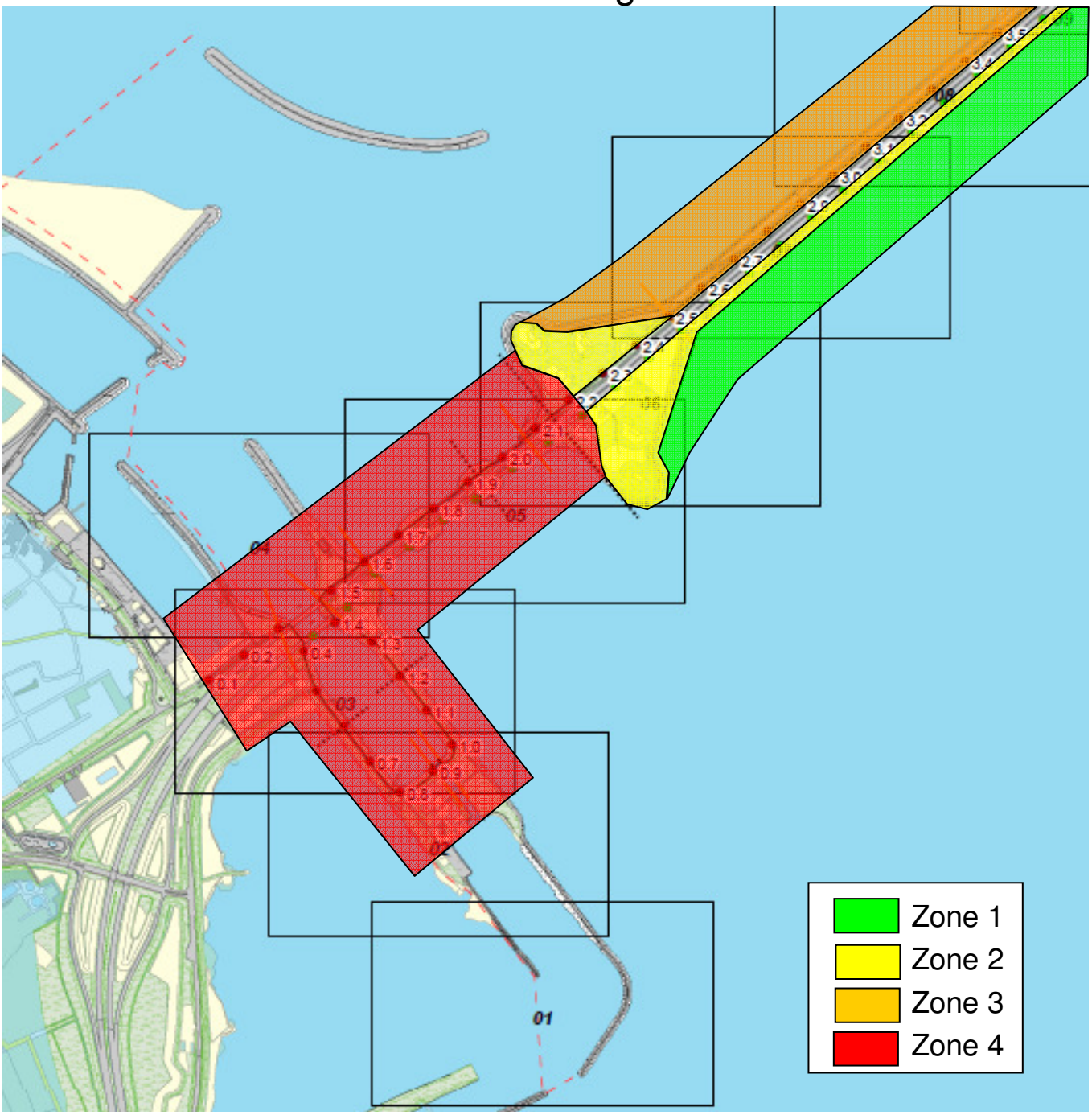
F2.3a	De door wind veroorzaakte trillingen van een windturbine kunnen, bij een verwekingsgevoelige voorland (aanwezigheid van een los gepakte fijnkorrelige zandlaag met geringe relatieve dichtheid) aan de Waddenzeezijde, leiden tot het optreden van zettingsvloeiing in het voorland en daarmee mogelijk tot bezwijken van de waterkering.	2	0	2	0	2	0	2	0	1	2	In vergelijking tot de trillingen ten gevolge van heien treden lagere versnellingen op en deze hebben daarom voor de zettingsvloeiing een kleinere invloed. echter. hoe de trillingen doorwerken in de ondergrond en wat de invloed daarvan is op de relatieve dichtheid van het zand is niet bekend. Daarom moet vooralsnog terughoudendheid worden betracht bij het plaatsen van windturbines in gebieden met verwekingsgevoelige ondergrond (Zie artikel in Geotechniek, oktober 2012). Aangezien de kans op aanwezigheid van een verwekingsgevloeige ondergrond klein is (zie derde toetsronde) is het effect beoordeeld als gering indien de windmolen is voorzien in het voorland nabij een mogelijke geul. Dit geldt overigens alleen voor de dijkvakken 9, 10 en 11.	Voorafgaand aan de plaatsing dient nader onderzoek te worden verricht naar de gevoeligheid van grondlagen voor zettingsvloeiing, zie F1.5. Door een hogere eis te hanteren voor de horizontale stijfheid (stijvere paalfundering) kunnen vervormingen en belastingen in de ondergrond worden geminimaliseerd. Om zettingsvloeiing (bij aanwezigheid van verwekingsgevoelige grond en nabij een geulrand) te voorkomen kan zand worden verdicht (diepteverdichting) of kan het voorland worden bestort.	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
F2.3b	De door wind veroorzaakte trillingen van een windturbine kunnen, bij een verwekingsgevoelige binnenvoorland (aanwezigheid van een los gepakte fijnkorrelige zandlaag met geringe relatieve dichtheid) aan de IJsselmeerzijde, leiden tot het optreden van zettingsvloeiing in het voorland en daarmee mogelijk tot bezwijken van de waterkering.	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	Zie F2.3a	Zie F2.3a	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0
F2.4	De freatische lijn kan in de nabijheid van windmolens hoger liggen dan normaal, waardoor de stabiliteit nadelig kan worden beïnvloed.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Aangezien er geen afdichtende grondlagen worden doorsneden en het zand in de dijk naar verwachting matig tot goed waterdoorlatend is, zal dit effect naar verwachting niet van toepassing zijn. Alleen bij locatie 6Bi zou water kunnen worden opgesloten tussen de fundering en de bekledingslaag.	Door in het ontwerp te voorkomen dat er een ruimte ontstaat waar water kan worden opgesloten (zandinsluitingen) en/of drainage aan te brengen kan nadelige beïnvloeding van de freatische lijn worden voorkomen.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2.5	Door het optreden van verschilvervormingen kunnen kieren ontstaan tussen de constructie en omringende grond. Hierbij wordt gedacht aan het ontstaan van ruimte onder de funderingsplaat door zetting van de ondergrond en het ontstaan van ruimte tussen de funderingspalen en de ondergrond (afsluitende lagen) door horizontale beweging van de palen. Door de holle ruimtes kan kortsluiting ontstaan en/of kan de kwelweglengte worden verkort en eventueel geconcentreerde erosie ontstaan.	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	De palen van de turbinefundering worden op trek en druk belast (momentwerking). Zoals aangegeven in F2.2 zijn horizontale bewegingen beperkt tot enkele milimeters en bovendien treden deze veelal op in het bovenste deel van de palen. Aangezien er geen stijghoogteverschillen worden verwacht (zandige en heterogene ondergrond) verwacht wordt geen grondwaterstroming langs de palen verwacht. Onder de betonpoer wordt na verloop van tijd wel enige kiervorming verwacht door (autonome) zetting/zakking van de ondergrond ten opzichte van de funderingspoer. Deze kieren hoeven niet waarneembaar te zijn, waardoor ze in combinatie met andere effecten (bijvoorbeeld zwaar verkeer) tot schade aan de waterkering kunnen leiden.	Verdiepte rand toepassen rondom de funderingsplaat (een zogeheten: skirt), zodat de gevormde kleine holle ruimtes onder de funderingsplaat afgesloten blijven. Door een grondverdringend paalsysteem toe te passen wordt de grond om de paal 'opgespannen' en zal minder snel kieren dan bij een grondverwijderend paalsysteem, waarbij 'ontspanning' van de grond om de paal optreedt.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2.6	Door het optreden van horizontale en verticale verschilvervormingen, zie F2.5, kan tevens de aansluiting tussen de funderingsconstructie en de bekleding sterkte verliezen. Als gevolg hiervan kan lokale erosie optreden bij golfaanval aan de buitenzijde en stroming aan de binnenzijde.	2	2	2	2	2	0	0	2	2	2	De overgang van een betonnenvloer naar een dijkbekleding is een zwak punt in de bekleding. Voor de overslagbestendige dijk is de erosiebestendigheid essentieel. De mate waarin de bekleding wordt aangetast is sterk afhankelijk van het type bekleding. Door een overgangsconstructie te maken kunnen zettingverschillen opgenomen worden en scheurvorming van de bekleding voorkomen worden. Het risico is zeer beperkt aangezien schade visueel zichtbaar is in een vroeg stadium en herstelbaar is.	In ontwerp rekening mee houden door detail ontwerp voor de aansluiting te maken. Vanwege onzekerheid van het gedrag van de grond op lange termijn onder invloed van trillingen is een gering restrisico aangehouden.	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
F2.7	Bij kabels die de waterkering kruisen kan (door zetting), afhankelijk van de ligging, de kans op geconcentreerde erosie (kanaalvorming) toenemen	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	Dit effect is hier (vanwege de zandopbouw) niet relevant voor bekabeling (losse kabels met kleine diameters). Eventuele ontstane holle ruimtes vullen zich immers meteen met zand, waardoor geen doorgaande 'pipe' kan ontstaan. Bij toepassing van grotere mantelbuizen zouden wel (blijvende) holle ruimtes kunnen ontstaan, echter de risico's op piping zijn voldoende afgedekt als deze worden ontworpen conform de vigerende voorschriften met betrekking tot leidingkruisingen door waterkeringen.	Leidingkruisingen door de waterkering dienen te worden ontworpen conform de vigerende voorschriften. Indien blijkt dat de kabels en leidingen de veiligheid nadelig beïnvloeden dienen in het ontwerp correctieve maatregelen te worden voorzien, zoals het aanbrengen van een kwelscherm.Conform de technische eisen van RWS (RWS, 2000) is geen kwelscherm benodigd als de kabels over meer dan 3 m boven het ontwerppeil liggen.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2.8	De kans op geconcentreerde erosie kan toenemen door aanwezigheid van kabels en leidingen parallel aan de waterkering.	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	Voor kabels en leidingen die zijn voorzien nabij het buitentalud en de kruin zal de invloedszone binnen het beoordelingsprofiel (zie bijlage 3 van het derde toetsrapport) liggen. Voor locaties op de binnenberm en binnenvoorland zal bekalbeling veelal buiten het beoordelingsprofiel worden geplaatst.	Indien de invloedszone van de leidingen zijn gelegen binnen het beoordelingsprofiel dienen in het ontwerp correctieve maatregelen te worden voorzien. Conform de technische eisen van RWS (RWS, 2000) dienen kabels (inclusief sleuf bij aanleg) meer dan 3 meter van de buitenkruinlijn zijn gelegen. Bovendien moeten kabels nie worden aangelegd op het buitentalud. Als hieraan niet kan worden voldaan dan dienen de kabels te worden beschouwd als kruisende kabels en diene aspecten zoals erosie en kwel te worden beschouwd.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2.9	Bij het omvallen van een windturbine zal, wanneer de gondel op de waterkering terecht komt, deze aanzienlijke schade aan de waterkering kunnen veroorzaken. Er dient in dat geval rekening te worden gehouden met beschadiging van bekleding, deklagen en deformatie van het dwarsprofiel	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	Alle locaties zijn voorzien op of in de nabijheid van de primaire waterkering. Indien een hierop aanwezige turbine op de waterkering valt, zal dit naar verwachting aanzienlijke schade aan het dijklichaam tot gevolg hebben. Aangenomen wordt dat de turbines op voldoende afstand (circa 200 m) van de kunstwerken worden geplaatst, zodat beschadiging van de nabijgelegen kunstwerken kan worden uitgesloten. Afhankelijk van de locatie (binnen of buiten de kernzone) zal de trefkans per locatie verschillen, echter zal de schade in alle gevallen groot zijn.	Om dit effect verder te verkennen dient een nadere faalkansanalyse uitgevoerd te worden. De kans op falen moet per incident worden bepaald en vervolgens worden doorvertaald naar een additionele kans op falen van de waterkering. Er zijn echter geen duidelijke richtlijnen voor het kwantificeren van de invloed van een incident op de faalmechanismen van de waterkering. Ook ontbreken duidelijke criteria voor de toelaatbare faalkans, waaraan getoetst moet worden. Gedacht kan worden aan een eis in de orde van grootte van 0,1% van de veiligheidsnorm van het dijkringgebied. Op basis van een eerdere analyse (Royal Haskoning, Windturbines Krammersluizen) is gebleken dat faalkansen volgens het vigerende handboek van SenterNovem (2005) gebaseerd zijn op sterk verouderde typen windturbines. Op basis van deze conservatieve waarden zijn de risico's naar verwachting onacceptabel. De verwachting is echter dat op basis van (nog) te certificeren aangepaste faalkansfrequenties voor de moderne windturbines kan worden aangetoond dat de risico's voor de waterkering aanvaardbaar zijn. De faalkansen van de moderne type zullen van veel kleinere orde zijn.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

F2.10	Indien de rotor of gondel losraakt en de waterkering treft, zal deze aanzienlijke schade aan de waterkering kunnen veroorzaken	3	3	3	3	3	1	1	3	3	3	Bij dit falen zal de gondel of de rotor direct naast de mast neerstorten, waardoor bij de locaties op de waterkering (1Kr, 2Bi/Bu, 5Bi/Bu en 6Bi de score 'groot' is toegekend. Aan de locaties 4Bi en 4Bu is d ekans klein dat de waterkering wordt getroffen. De locaties 3Bi en 3Bu zijn net naast de kernzone voorzien, waardoor het effect als 'matig'is beoordeeld.	Zie F2.9: een risico-analyse dient voorafgaand aan de plaatsing uitgevoerd te worden. Er zijn geen realistische maatregelen denkbaar die de schade ten gevolge van een op de waterkering vallende rotor/gondel kunnen beperken. Wel kan de inspectiefrequentie voor windturbines worden verhoogd om eventuele materiaalveroudering/beschadiging van turbineonderdelen zo snel mogelijk te kunnen detecteren en te verhelpen. Een goed turbineontwerp en een goede staat van onderhoud is van belang om de kans op calamiteiten te minimaliseren	3	3	3	3	3	1	1	3	3	3
F2.11	Bij breuk van een rotorblad of deel daarvan (door bijvoorbeeld overbelasting, defecte componenten of blikseminslag) zal het blad(deel), indien dit op de waterkering terecht komt, schade aan de deklaag van de waterkering kunnen veroorzaken	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Zie ook F2.9. Ten opzichte van F2.9 zal de schade naar verwachting beperkt blijven tot de deklaag. De schade aan de overslagbestendige dijk kan echter ook voor dit scenario van zodanige omvang zijn, dat deze de functionaliteit van de waterkering aanzienlijk aantast.	Zie F2.9 en F2.10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
F2.12	Bij betreding van de waterkering met zwaar onderhoudsverkeer (bijvoorbeeld bij vervanging van grote onderdelen zoals rotorbladen) kan schade ontstaan aan de waterkering en daarop aanwezige infrastructuur.	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	De eventuele schades zijn naar verwachting relatief klein en kunnen bovendien eenvoudig hersteld worden. Wel dient men bedacht te zijn op	Bij vergunningverlening kunnen afspraken met de initiatiefnemer worden gemaakt over het herstel van eventueel veroorzaakte schades. Daarnaast zou overwogen kunnen worden om zware turbineonderdelen via het water aan te voeren, zodat de lokale infrastructuur op de waterkering ontzien wordt.	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
F2.13	Aansluitingen van harde constructieonderdelen (funderingspoer) op het dijklichaam kunnen extra gevoelig zijn voor materiaaluitspoeling (door geconcentreerde oppervlakteafstroming bij neerslag of golfoverslag). Bij plaatsing van windturbines op het buitentalud van een waterkering vormen de aansluitingen extra gevoelige punten voor erosie/materiaaluitspoeling bij golfaanval.Op het binnentalud kan erosie optreden door stroming.	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	Voor de overslagbestendige dijk is de aanlsuiting van bekledingen essentieel. Door te zorgen voor een goede aansluiting van bekledingen op de turbinefundering (en regelmatige inspectie) wordt materiaaluitspoeling voorkomen. De golfaanval op het buitentalud is groter dan aan de binnenzijde van de dijk.	Ervan uitgaande dat er in het ontwerp voldoende aandacht wordt besteed aan de erosiebestendige aansluitingen en er tevens regelmatig visuele inspectie van de aansluitingen plaatsvindt, zijn geen aanvullende maatregelen nodig.	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
F2.14	Door de aanwezigheid van de een funderingsconstructie of grondaanvullingen kan de morfologie veranderen door aanzanding of erosie. Deze morfologische veranderingen kunnen de stabiliteit van de waterkering beïnvloeden.	1	1	2	1	2	1	2	0	0	0	Door de waterstroming langs het grondlichaam kan het onderwaterprofiel worden aangetast. Aanzanding zal over het algemeen de stabiliteit verhogen, terwijl erosie de stabiliteit vermindert.	Rondom de funderingsconstructie en op de taluds van de grondaanvullingen moet een beschermingsconstructie worden aangebracht, bijvoorbeeld bekleding) om te voorkomen dat erosie kan optreden. Aan de Waddenzeezijde kan een ingrijpende maatregel nodig zijn, indien langs de volledige dijkstrekking het voorland bestort dient te worden.	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
F2.15	Door de toename van kwel langs de (paal)fundering kan kwel van zout water optreden/toenemen, waardoor het zoutgehalte in het IJsselmeer toeneemt.	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	Gezien de zandige opbouw van de dijk en de ondergrond zal de paalfundering slechts in een berpkte mate tot een toename van kwel ten opzichte van dehuidge situatie. Het effect is als gering beoordeeld voor de locaties waar de fundering is voorzien binnen de kernzone. Voor locaties buiten het dijkprofiel zal het effect naar verwachting verwaarlossbaar klein zijn.	Als onderdeel van het funderingsontwerp dienen de stijghoogten en zoutgehalten in het grond water te worden bepaald middels grondonderzoek en laboratoriumonderzoek. De kans op kortsluiting tussen twee watervoerende lagen met verschillen in zoutgehalte dient te worden onderzocht. Door toepassing van een grondverdringend paalsysteem kan kwel langs de palen worden geminimaliseerd.	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
Fase tijdens/na demonteren																							
F3.1	Indien de fundering geheel of deels achterblijft, zullen verschillende effecten die een rol (kunnen) spelen in de beheer- en exploitatiefase ook van toepassing (kunnen) zijn in de periode na demonteren van de turbine. Hierbij wordt bijvoorbeeld gedacht aan kwelwegverkorting bij doorsnijding van slecht waterdoorlatende lagen, door optreden van verschilzetting of door degradatie van het beton en lokale erosie.	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	De effecten die (indien de poer, palen en bekabeling permanent achterblijven) een rol zouden kunnen blijven spelen zijn de effecten F2.4 t/m F2.8 en F2.13. Op de lange termijn (langer dan de technische levensduur van 20 jaar) bestaat onzekerheid over de constructieve staat van de constructie en het effect hiervan op de waterkering. Voor de onderbouwing van de hier toegekende score wordt verwezen naar betreffende effecten.	Zie maatregelen bij effecten F2.4 t/m F2.8 en F2.13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F3.2a	Het verwijderen van het funderingsblok, inclusief het bovenste deel van de funderingspalen tot een niveau van 2m onder de bovenkant van de bekleding, kan gevolgen kunnen hebben voor de functionaliteit van de waterkering: Bij het verwijderen verandert het dwarsprofiel (lokale verlaging/versmalling inclusief verwijderen van de bekleding) en daarmee mogelijk ook de hoogte en sterkte van de waterkering.	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	Aangezien voor de windmolens op de Afsluitdijk palen zullen moeten worden aangebracht tot grote diepte (circa 30m) wordt aanbevolen om alleen het bovenste gedeelte van de palen te verwijderen (RWS, 2000). Bij amoveren blijven de palen als permanent obstakel aanwezig in de ondergrond met het risico van kwelwegen en het ontstaan van holle ruimten door bijvoorbeeld degradatie van beton en zettingsverschillen. De effecten op kwel zijn gering. Ook zullen er restrisico's / effecten voor beheer en onderhoud, en bij toekomstige dijkversterkingen zijn. De invloed voor het verwijderen van het funderingsblok zijn vergelijkbaar met de effecten bij de bouw van de fundering, zie toelichting bij F1.9.	Vanwege de grote paallengte ligt het voor de hand om de paalfundering te laten staan en tot onder de oorspronkelijke deklaag in te korten. Voor palen dienen de juiste betondekking en milieuklasse te worden toegepast om degradatie en betonrot te beperken. De maatregelen met betrekking tot het verwijderen van de poer zijn vergelijkbaar met de maatregelen bij aanleg, zie F1.9. Vooraf dient te worden nagegaan of de stabiliteit van het grondlichaam bij verwijdering van de poer in gevaar komt. Indien dit het geval blijkt, kunnen tijdelijke voorzieningen worden getroffen. Na verwijderen van de poer dient het profiel (inclusief de afdekkende bekleding en onderlagen) te worden hersteld opdat de waterveiligheid gegarandeerd wordt.	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
F3.2b	Het verwijderen van de fundering inclusief de volledige paalfundering zou gevolgen kunnen hebben voor de functionaliteit van de waterkering: bij het verwijderen van de palen dienen de gaten met geschikt materiaal te worden gevuld. Bij vervanging van palen door opvulmaterialen (bentoniet, cement o.i.d.) kunnen niet alle effecten worden weggenomen.	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	Verwacht wordt dat de palen reiken tot in de laagliggende draagkrachtige zandlaag onder de keileemlaag (circa 30 m diepte). het verwijderen hiervan in de nabijheid van de kruin of het talud is darom als significant beoordeeld. Bij het trekken van dergelijke palen zal grondroering plaatsvinden. De palen kunnen ook worden verwijderd door een stalen buis om de paal aan te brengen, de grond binnen de buis te verpompen, en na het verwijderen van de paal het gat op te vullen (bijvoorbeeld met bentoniet) en de stalen buis te trekken. De opvulling blijft als element in de grond aanwezig, waarvan onzeker is hoe het zich op lange termijn gedraagt.	Het ligt voor de hand om de paalfundering te laten staan en tot onder maaiveld in te korten. Door het eventueel trekken van palen vindt grondroering plaats. Dit geldt zeker voor de monopile (4Bi en 4Bu). Palen kunnen worden verwijderd door een stalen buis om de paal te slaan, de grond binnen de buis te verpompen en na het verwijderen van de paal het gat op te vullen en de stalen buis gelijktijdig te trekken. Het inbrengen van de stalen buispalen kan leiden tot negatieve invloed door trillingen. Na verwijderen van de palen en poer dient het profiel (inclusief de afdekkende bekleding en onderlagen) te worden hersteld opdat de waterveiligheid gegarandeerd wordt.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F3.3	De door de sloopwerkzaamheden veroorzaakte belastingen kunnen de functionaliteit van de waterkering tijdelijk beïnvloeden. Hierbij wordt gedacht aan beïnvloeding van de stabiliteit van de waterkering door betreding van zwaar materieel en eventueel veroorzaakte trillingen.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Verwacht wordt dat de veroorzaakte trillingen en overige belastingen van veel kleinere orde zijn dan de in de bouwfase veroorzaakte belastingen door betreding van bouwverkeer en heiwerkzaamheden	Voorafgaande aan de bouwwerkzaamheden kunnen afspraken met de aannemer worden gemaakt over het herstel van eventueel veroorzaakte schades. Daarnaast kan overwogen worden om zware turbineonderdelen via het water af te voeren, zodat de lokale infrastructuur op de waterkering ontzien wordt.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Bijlage 3
Zonering technische haalbaarheid windturbines op en nabij de Afsluitdijk

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

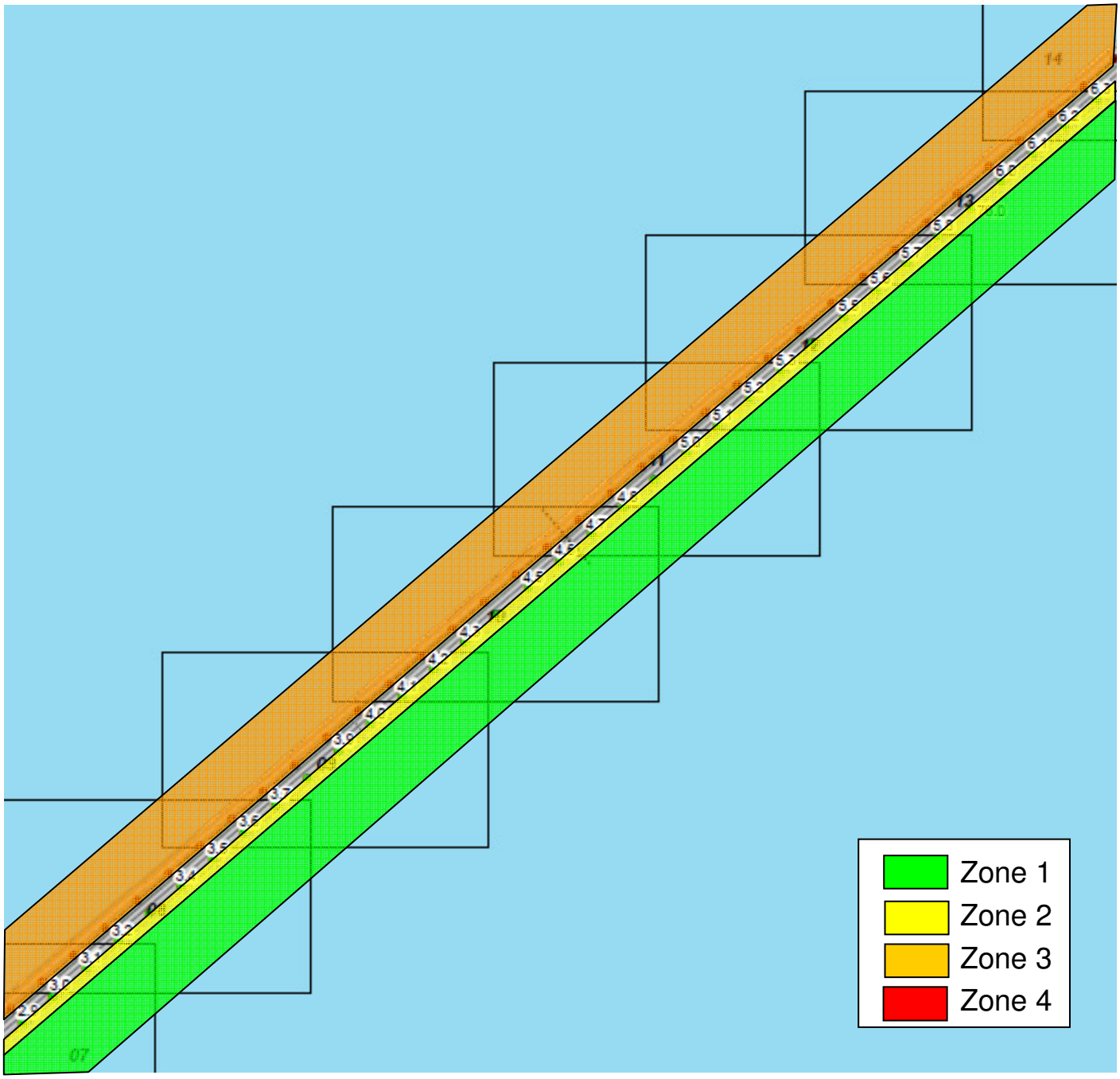
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

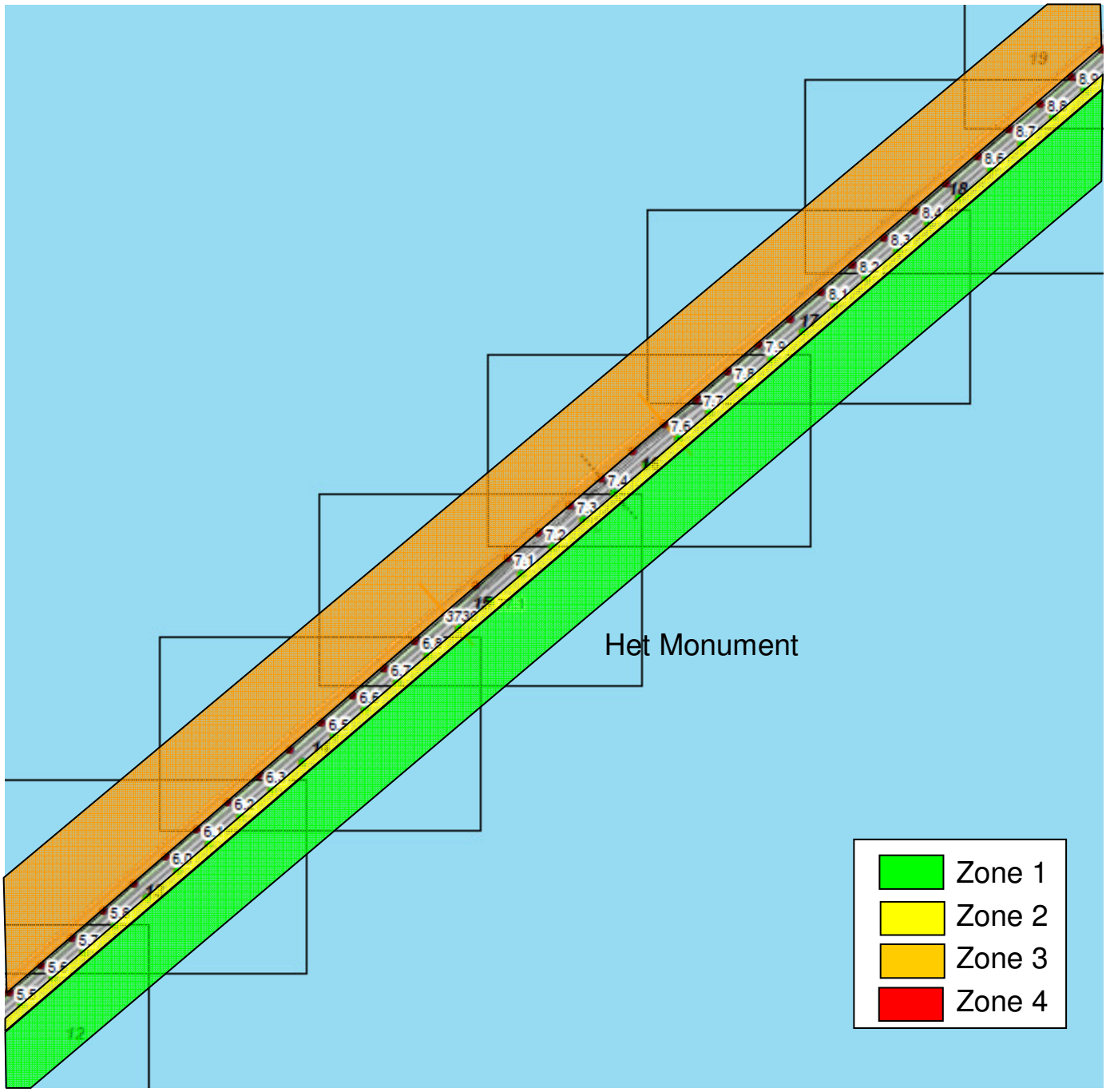
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

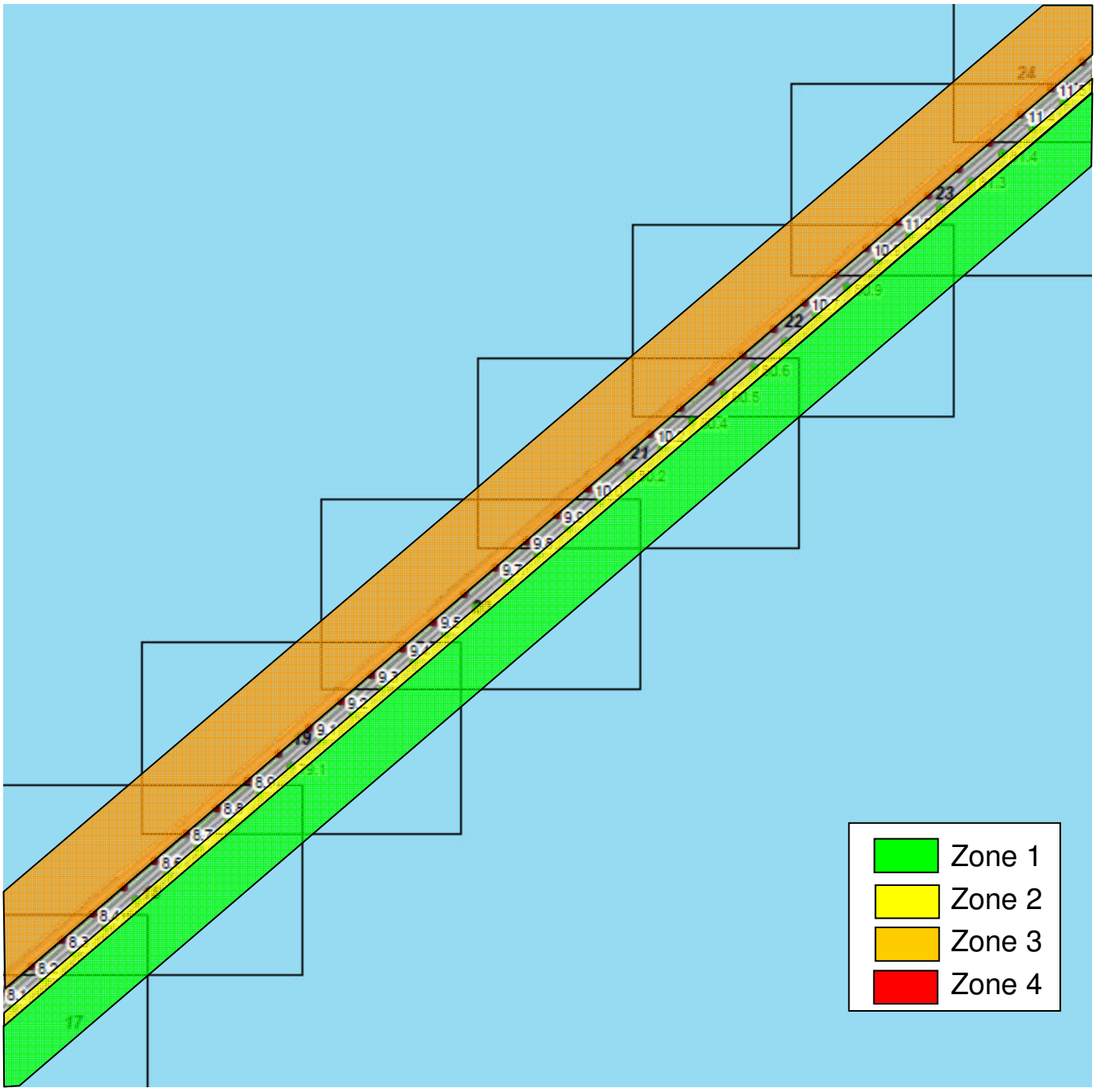
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

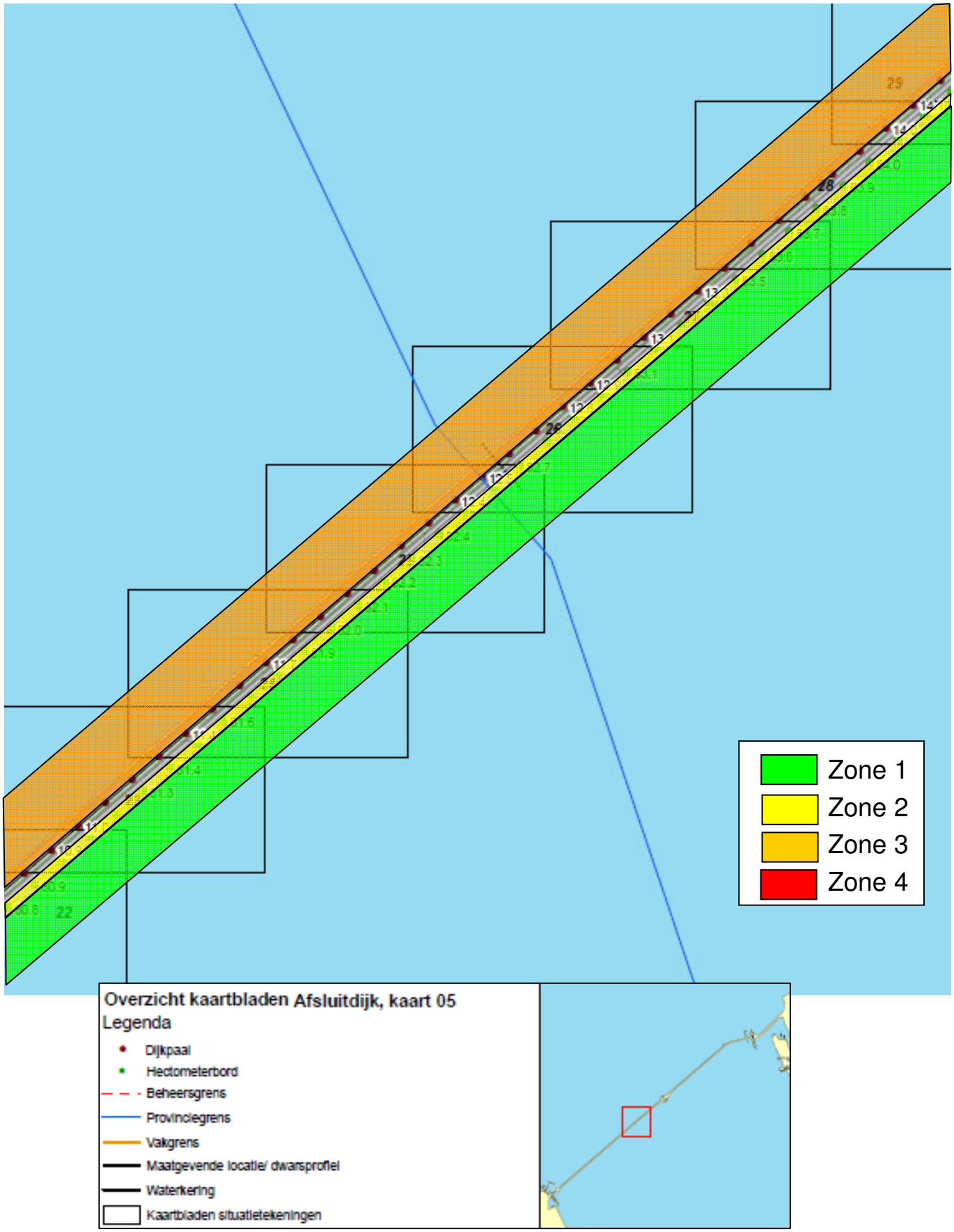
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

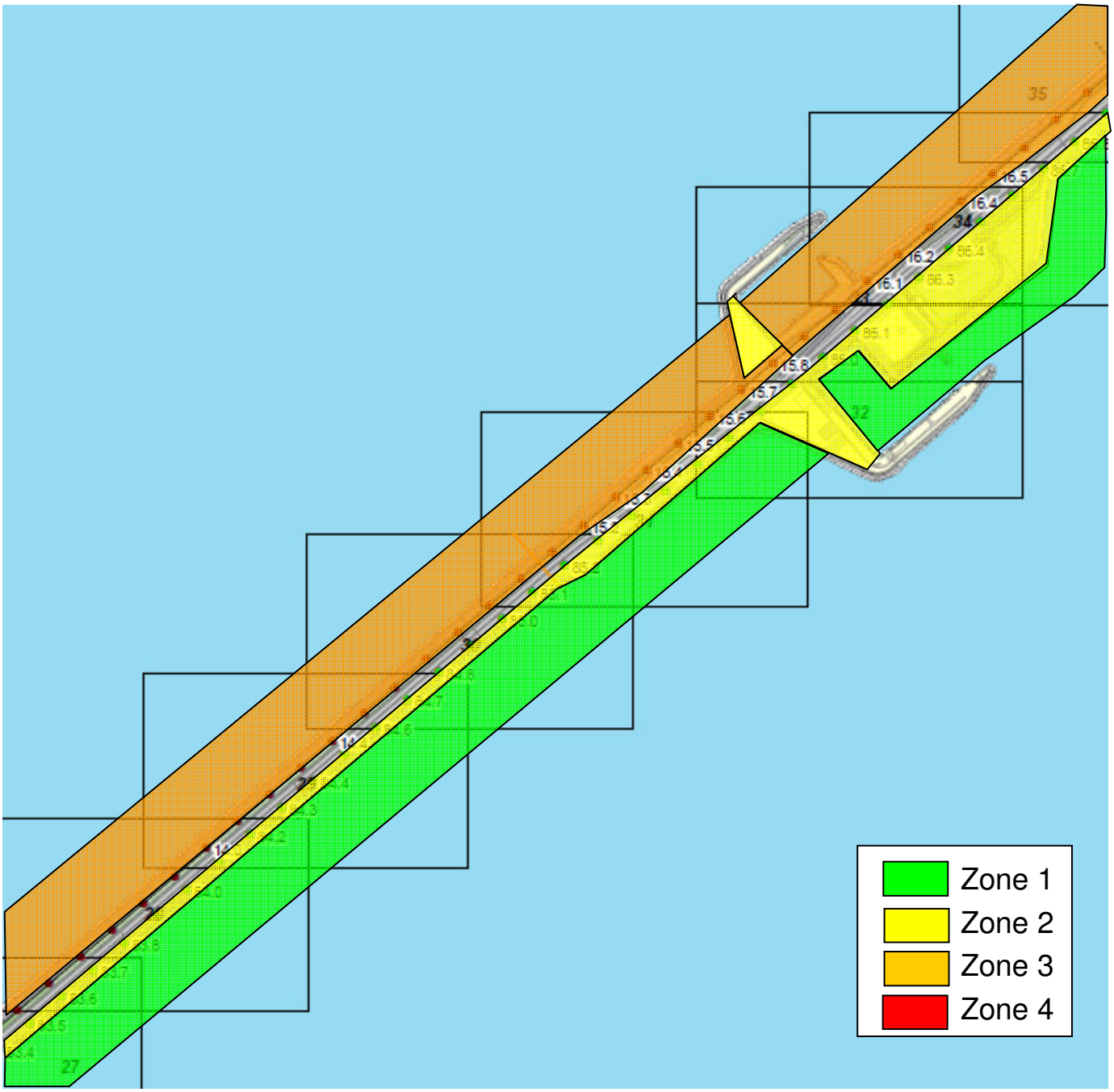
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

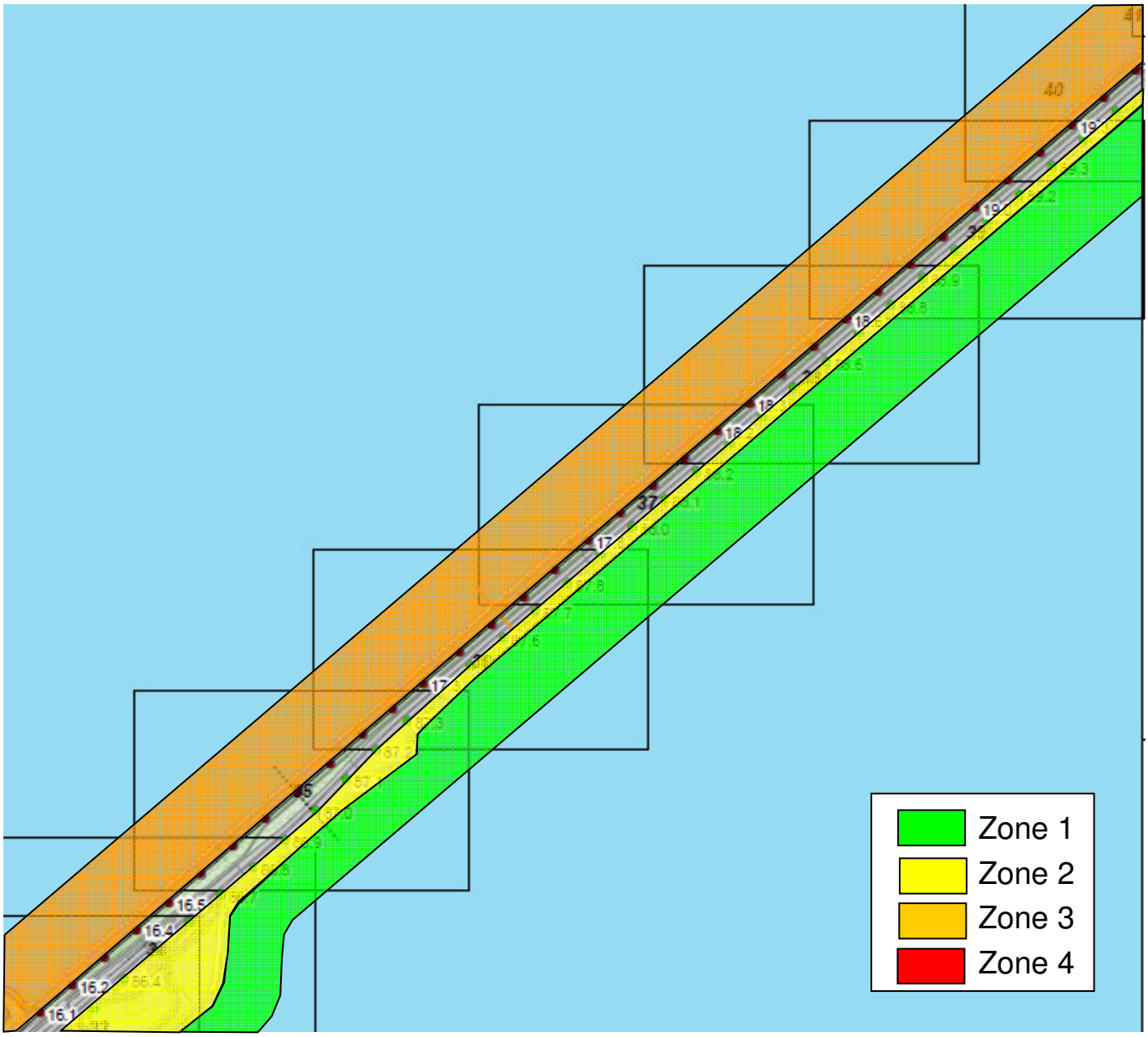
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

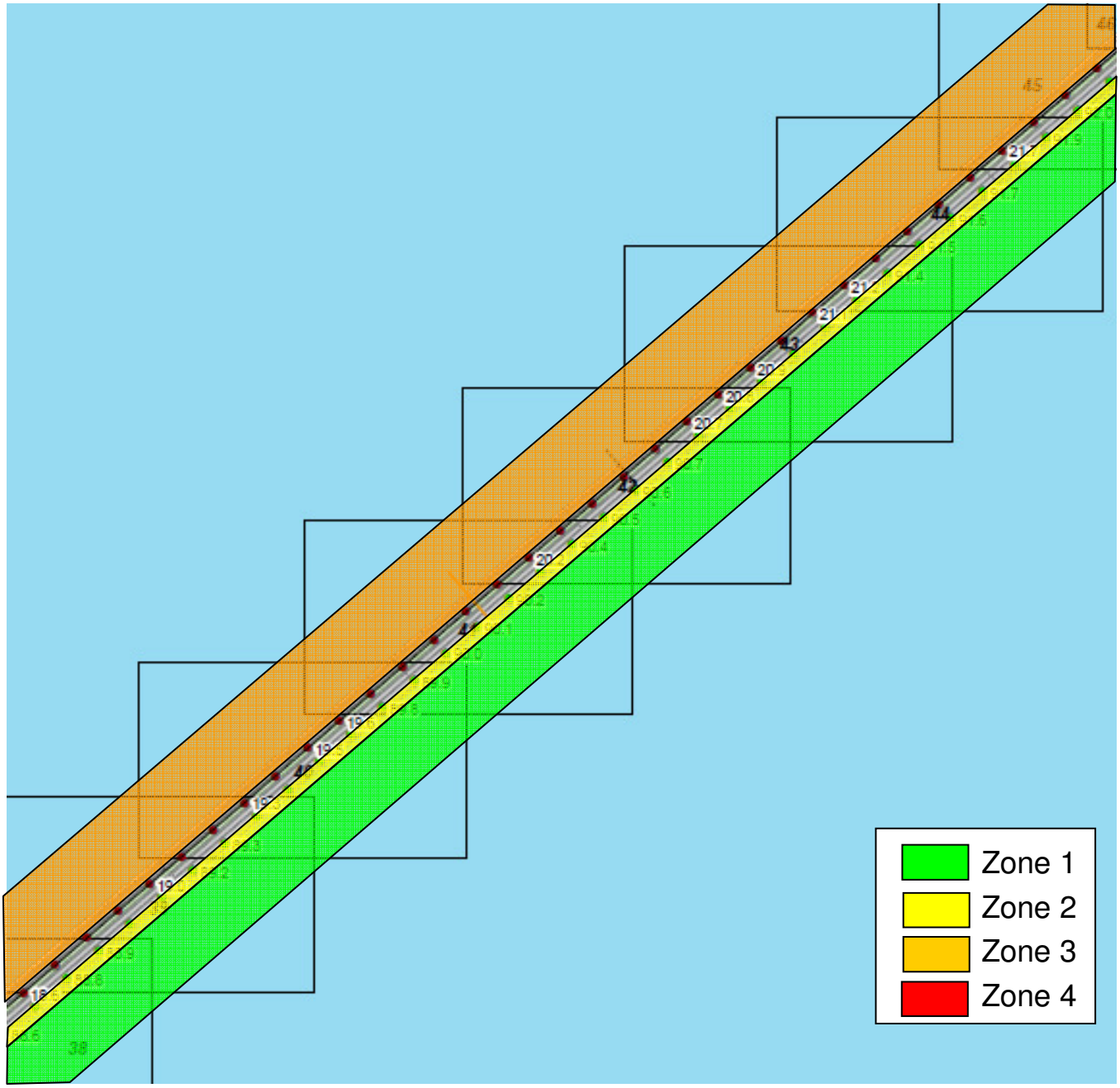
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

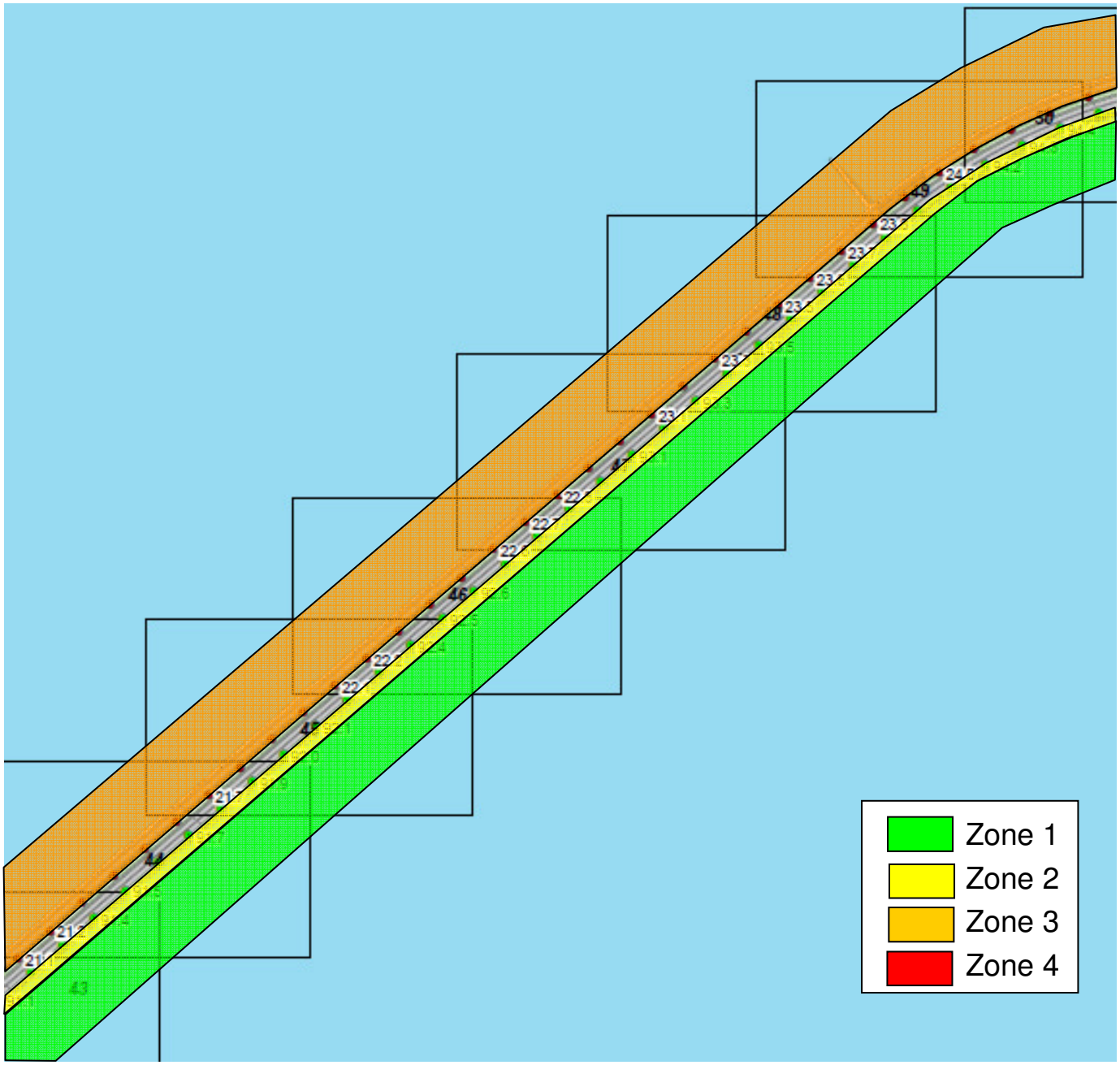
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

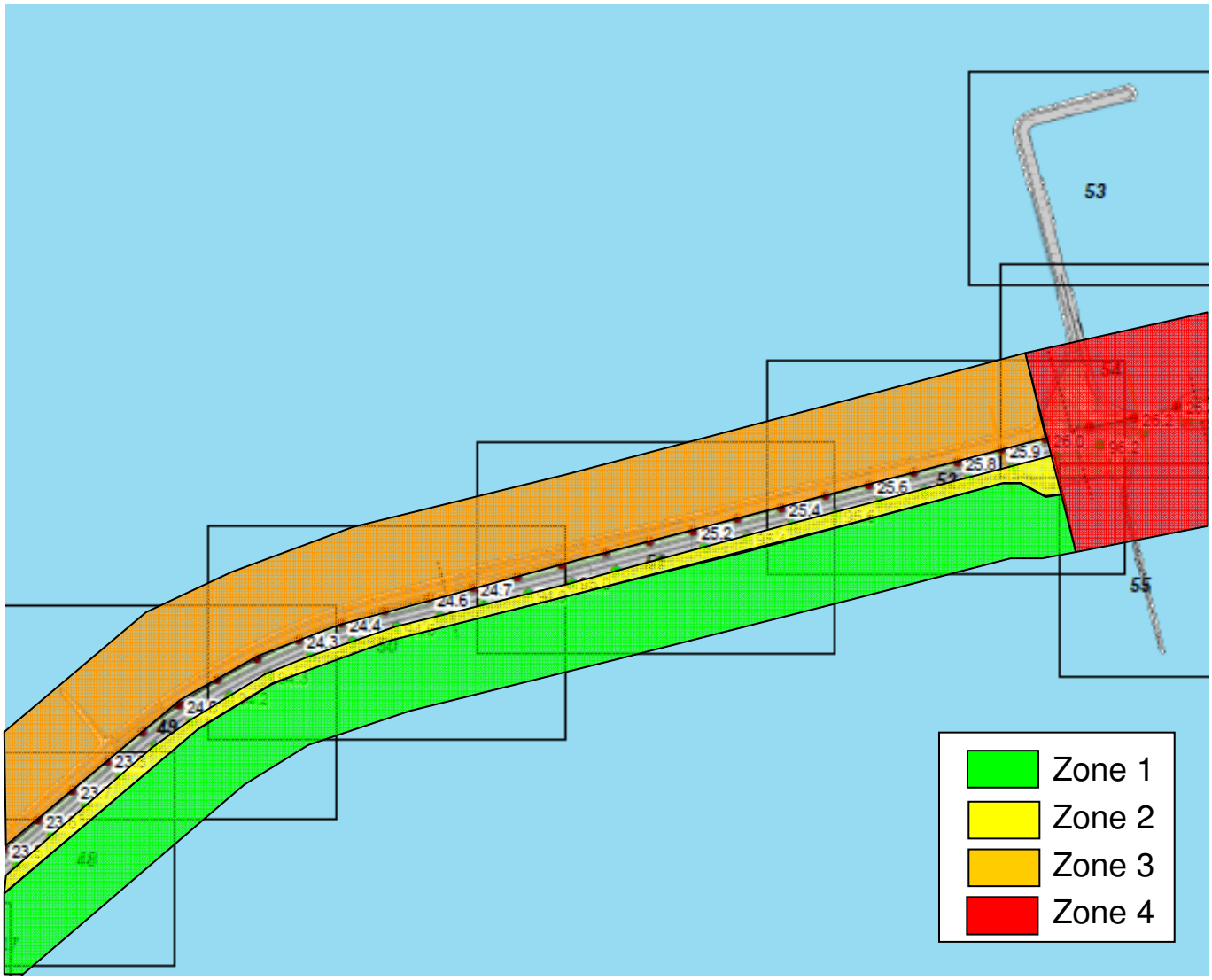
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

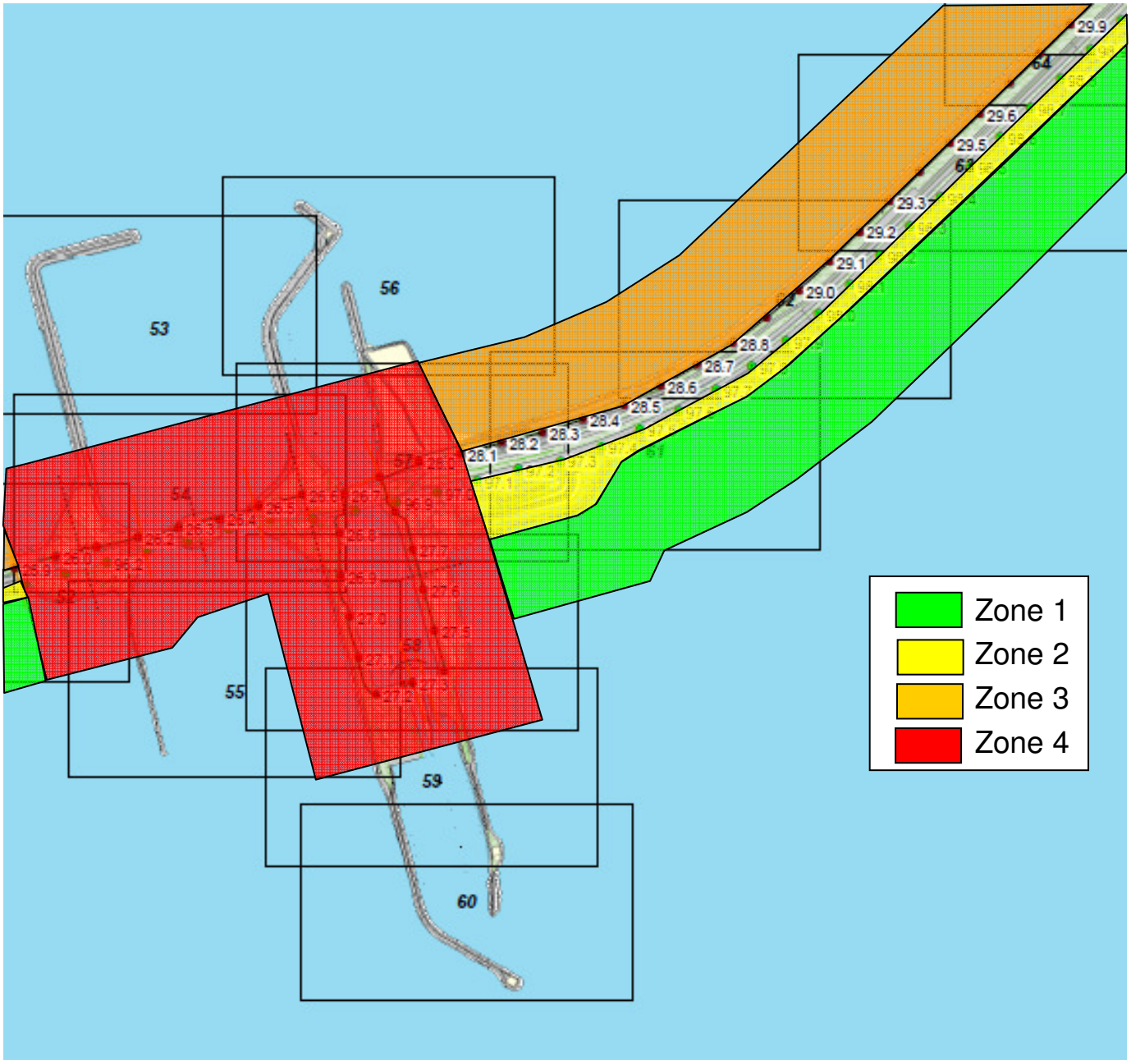
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

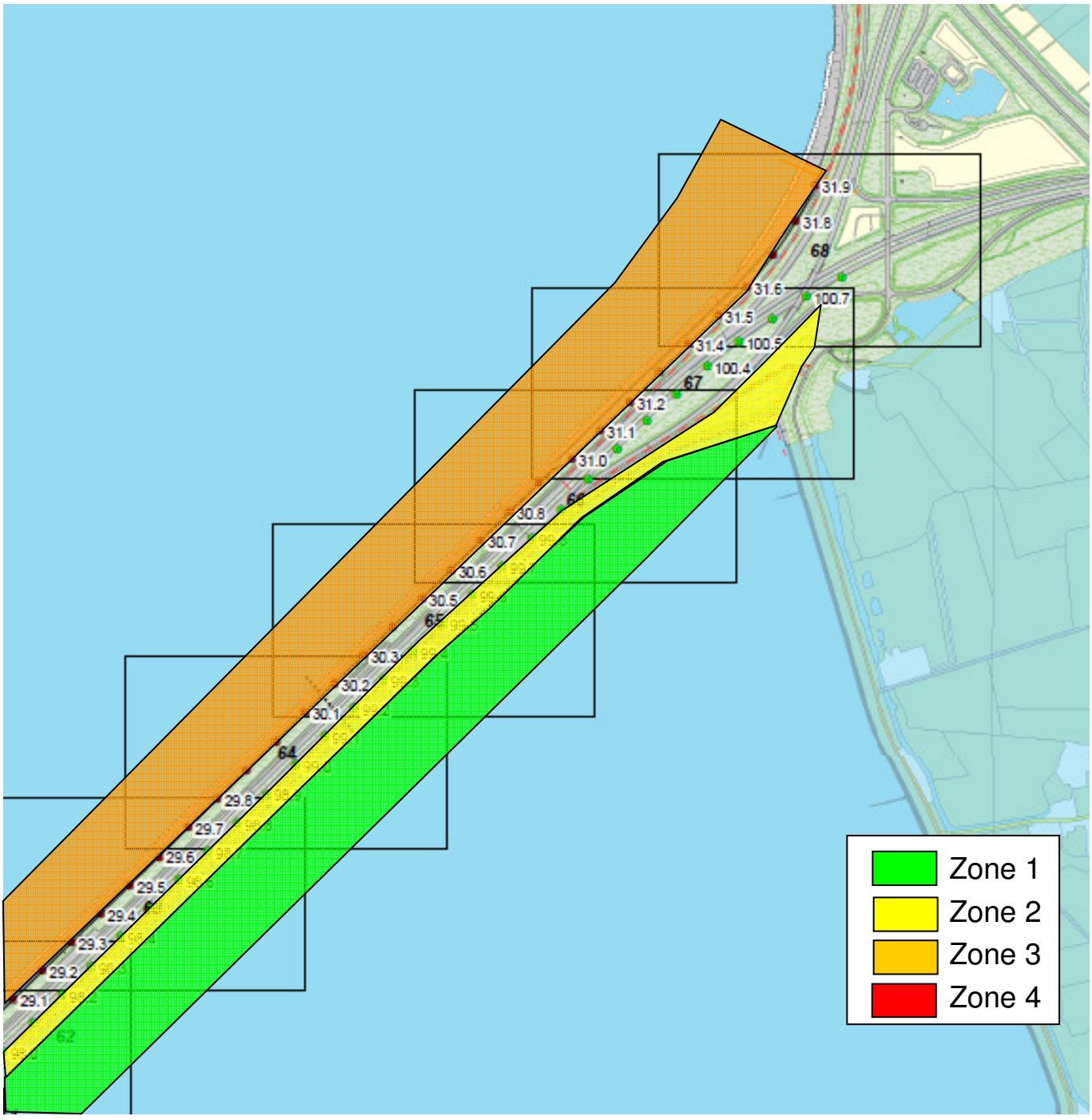
Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]

Onderzoek plaatsingsmogelijkheden windturbinesop de Afsluitdijk

Zonering technische haalbaarheid



Kaart en legenda uit Legger [RWS, 2 november 2009]