

## **BIJLAGE G**

### **VERSPREIDING ZOETWATERNEVEL LANGS DE IJSELMEERDIJK**

## VERSPREIDING ZOETWATERNEVEL LANGS DE IJSSELMEERDIJK

### *Inleiding*

Deze tekst bevat een beoordeling van de effecten van de plaatsing van windturbines op de verspreiding van zoetwaternevel langs de IJsselmeerdijk van de Noordoost polder. Primair wordt de verspreiding van zoetwaternevel veroorzaakt door het breken van golven op ondiep water door de afnemende waterdiepte dichtbij de dijk en het breken van golven op diepwater door de maximale steilheid van de golven. Vervolgens wordt de zoetwaternevel verspreid door de atmosfeer ten gevolge van de wind. De zoetwaternevel is van belang omdat deze nevel een omgevingsfactor is voor vochtminnende vegetatie langs de dijk. Om te komen tot een beoordeling wordt in deze notitie eerst een beschrijving gegeven van de huidige situatie. Vervolgens komt aan bod welke impact de windturbines hebben op de zoetwaternevel.

### *Huidige situatie*

In het IJsselmeer wordt de omvang van de zoetwaternevel bepaald door zowel golfbreking op diep water als op ondiep water. Op diep water treedt er golfbreking op wanneer de steilheid van de golven (golfhoogte/golf lengte verhouding) te groot wordt. Hierbij kan gedacht worden aan de schuimkoppen die te zien zijn bij forse windkracht. Daarnaast treedt golfbreking op wanneer de waterdiepte klein wordt. Dit is typisch de situatie vlak voor de dijk waarbij de invallende golven stuk slaan op het talud van de dijk. Bij zowel de situatie op diep water als de situatie op ondiep water komt er zoet water in de atmosfeer. Deze zoetwater nevel kan door de wind verspreid worden.

Uit het bovenstaande blijkt dat de zoetwaternevel bepaald wordt door de karakteristieken van de invallende golven en de lokale waterdiepte voor de IJsselmeerdijk. De golfkarakteristieken hangen af van de windsnelheid en de windrichting. De lokale waterdiepte wordt feitelijk ook bepaald door de windsnelheid en windrichting via opwaaiing of afwaaiing. Deze op- en afwaaiing komt doordat de wind een kracht uitoefent op het wateroppervlak en daarmee een scheefstand veroorzaakt in het meerpeil. De lokale waterdiepte heeft op zijn beurt weer invloed op de locatie waar breking optreedt. Zowel de variaties van de invallende golfkarakteristieken als variaties in de lokale waterdiepte zijn hieronder gekwantificeerd:

### *Invallende golfkarakteristieken*

Met de methode van de Shore Protection Manual (US Army CERC, 1977) zijn de maximale golfhoogten te berekenen evenals de golfperioden en golflengten. Deze zijn weergegeven in de onderstaande tabel. Daarbij is uitgegaan van een strijklengte van maximaal 45 kilometer. Uit de resultaten blijkt dat de significante golfhoogte varieert van circa 0,5 meter bij lage windsnelheden (Beaufort 4) tot circa 1,2 meter bij hoge windsnelheden (Beaufort 8). De bijbehorende periode varieert van tussen 3 en 5 seconde en de golflengte van 10 – 30 meter.

Tabel J.1: Maximale golflengten

Windkracht (Bft)	4	5	6	7	8
Kenmerkende windsnelheid (m/s)	6	10	12	15	20
Significante golfhoogte (m)	0.48	0.76	0.87	1.02	1.22
Significante golfperiode (s)	2.68	3.45	3.74	4.12	4.63
Significante golflengte (m)	11.1	17.5	20	23	27.4

*Opwaaiing*

De hoeveelheid opwaaiing, oftewel het verschil in waterstand met en zonder wind, kan als volgt berekend worden:

$$\Delta h = 4 \cdot 10^{-6} \frac{U^2}{gh} \Delta x$$

$\Delta h$  : het verschil in waterstand bij geen wind en bij wind (m)

$U$  : de windsnelheid op 10 meter boven het wateroppervlak (m/s)

$g$  : graviteitscoëfficiënt (= 9,81 m/s<sup>2</sup>)

$h$  : de waterdiepte (m)

$\Delta x$  : de strijklengte (m)

Voor de Noordoostpolder is een strijklengte aangenomen van (maximaal) 45 kilometer over het IJsselmeer en een gemiddelde waterdiepte van 5 meter. In de onderstaande tabel is voor verschillende windsnelheden de berekende windopzet weergegeven, evenals het windverhang. De resultaten in de tabel laten zien dat de windopzet voor de dijk bij hogere windsnelheden wel kan oplopen tot circa 1,5 meter.

Tabel J.2 Windopzet en windverhang

Windkracht (Bft)	4	5	6	7	8
Kenmerkende windsnelheid (m/s)	6	10	12	15	20
Verhang (mm/km)	2.94	8.15	11.74	18.35	32.62
Windopzet (m)	0.13	0.37	0.53	0.83	1.47

*Golfbreking*

Voor de golfbreking op diep water geldt dat dit optreedt zodra de golven volgroeid zijn. Dat wil zeggen dat de wind voldoende tijd uit een bepaalde richting en met een bepaalde snelheid heeft gewaaid zodat de maximale golfhoogte is bereikt. Met name bij hogere windsnelheden is dit voor het IJsselmeer dat relatief ondiep is al snel het geval. Er kan dus vanuit gegaan worden dat in de meeste gevallen sprake is een "volgroeide" situatie, en zeker in die situaties waarbij juist veel golfbreking en dus zoetwaternevel optreedt (met name hogere windsnelheden).

Bij golfbreking op ondiep water is met name de locatie van belang. Deze kan als volgt ingeschat worden. De maximale verhouding tussen golfhoogte en waterdiepte is circa 0,5 – 0,7. Hier wordt uitgegaan van een vaste waarde van 0,6. Uit de golfkarakteristieken volgt dat bij windkracht 4 de maximale golfhoogte ongeveer 0,5 meter is en de windopzet 0,1 meter. Dit betekent dat de waterdiepte waarbij breking optreedt, dus gelijk is aan 0,5 / 0,6 = 0,8 meter en de bijbehorende bodemligging NAP -0,7 meter (= -0,8 + 0,1). Voor een windkracht 8 kan hetzelfde gedaan worden en dit resulteert in een bodemniveau van NAP -0,5 m. Omdat het talud van de dijk relatief steil is (bijvoorbeeld 1:4) betekent dit dat golfbreking (en dus de vorming van zoutnevel) heel dicht bij de dijk zal plaatsvinden (maximale orde 10 m).

*Effect van windturbines*

Voor de effectbepaling van de windturbines is gebruik gemaakt van onderstaande gegevens. Een windturbine met een vermogen van 3MW heeft een mastdiameter van 4,15 meter. Een windturbine met een vermogen van 5 MW heeft een diameter van 5,25 meter. Voor de afstand vanaf de dijk en de onderlinge afstand is de onderstaande tabel gehanteerd. De minimale afstand tot de dijk is 200 meter en de minimale onderlinge afstand is 360 meter.

**Tabel J.3 Uitgangspunten effectbepaling Noordermeerdijk buitendijks**

Alternatief	Aantal en vorm van plaatsing	Vermogen	Diameter	Afstand tot dijk	Onderlinge afstand
Noordermeerdijk buiten	18, naast elkaar	3	4.15	250	369
Noordermeerdijk buiten	14, naast elkaar	5	5.25	250	479
Noordermeerdijk buiten	14, naast elkaar	3	4.15	250	477
Noordermeerdijk buiten	13, naast elkaar	3	4.15	200	477
Noordermeerdijk buiten	12, naast elkaar	5	5.25	300	559
Noordermeerdijk buiten	11, naast elkaar	5	5.25	250	559

**Tabel J.4 Uitgangspunten effectbepaling Westerveerdijk buitendijks**

Westerveerdijk	46, twee rijen achter elkaar, loodrecht op kust, afstand 400 meter	3	4.15	400	360
Westerveerdijk	38, twee rijen achter elkaar, loodrecht op kust, afstand 400 meter	5	5.25	400	456
Westerveerdijk,	38, twee rijen achter elkaar, loodrecht op kust, afstand 400 meter	3	4.15	400	450
Westerveerdijk,	37, twee rijen schuin achter elkaar, loodrecht op kust, afstand 200 meter	3	4.15	200	450
Westerveerdijk,	30, twee rijen achter elkaar, loodrecht op kust, afstand 400 meter	5	5.25	400	570
Westerveerdijk,	29, twee rijen schuin achter elkaar, loodrecht op kust, afstand 300 meter	5	5.25	300	570

Uit de locatie van de windturbines volgt dat de waterdiepte ter plaatse van de windturbines 3 tot 5 meter is aan de zijde van Noordermeerdijk en 5 meter aan de zijde van de Westerveerdijk. Zoals gezegd treedt dat op in een zone dichtbij de dijk met een waterdiepte van ongeveer 1 – 2 meter. Dit betekent dat de windturbines dus buiten de zone van de golfbreking op ondiep water staan. Het brekingsproces op ondiep water wordt dus niet verstoord door de aanwezigheid van de windturbines.

Naast de locatie van golfbreking is ook de intensiteit van breking op ondiep water van belang voor de zoetwaternevel. Deze intensiteit wordt bepaald door de hoeveelheid golfenergie die voor de dijk dissipeert. Vanwege de aanwezigheid van windturbines zal de hoeveelheid golfenergie veranderen. Indien verondersteld wordt dat de doorgelaten golfenergie evenredig is

met de grootte van de openingen tussen de windturbines, geldt aangezien de golfhoogte evenredig is met de wortel uit de golfenergie de volgende formule:

$$H_d = \sqrt{\frac{b}{b + b_t}} \cdot H$$

$H_d$  : de hoogte van de doorgelaten golf [m]

$b$  : de breedte van de openingen [m]

$b_t$  : de breedte van de windturbines [m]

$H$  : de golfhoogte aan de IJsselmeerzijde van de windturbines [m]

De minimale breedte tussen de windmolens is 360 meter voor windmolens met een vermogen van 3 MW, Voor windmolens met een vermogen van 5 MW is deze 456 meter. De mastdiameter van de windmolens is respectievelijk 4,15 meter en 5,25 meter. Indien de verhouding tussen de golfhoogte voor en achter de windturbines wordt bepaald is deze 0,99 voor beide soorten windmolens. Dit effect is dus te verwaarlozen en er kan verondersteld worden dat er geen sprake is van een reductie van de golfhoogte als gevolg van de windturbines. De lokale diffractie- en terugkaatsingsverschijnselen rond de windturbines zijn hierin niet meegenomen. Deze kunnen echter als verwaarloosbaar beschouwd worden gezien de verhouding tussen de openingen en de diameter van de windturbines.

Voor de zoetwaternevel die op diep water vrijkomt door golfbreking geldt feitelijk dezelfde argumentatie. De breedte van de windturbines is heel klein ten opzichte van de onderlinge afstand. Dat betekent dat maar een heel klein deel door de windturbines wordt opgevangen en het overgrote deel ongestoord richting de dijk getransporteerd zal worden. Ook hiervoor geldt dus dat de invloed van de windturbines verwaarloosbaar is op de totale hoeveelheid zoetwaternevel richting de dijk ten gevolge van golfbreking op diep water.

#### *Conclusie*

Het effect van het plaatsen van windturbines in het IJsselmeer langs de Noordermeerdijk en de Westermeerdijk van de Noordoostpolder op de intensiteit van de zoetwaternevel is verwaarloosbaar.