

## Windwerking in meren: effecten en maatregelen

Ruurd Noordhuis & Ellis Penning (Deltares)

Deze factsheet gaat over de werking van wind in meren en maatregelen om deze te mitigeren. Wind veroorzaakt stroming in meren, maar ook golven. Beide hebben effect op de bodem en op de oevers, en daarmee op de ecologie van het meer. Hoe groot die invloed is hangt sterk af van de grootte en het diepteprofiel van het meer, maar ook van de peilfluctuaties en oevertype en -bescherming. Windgedreven stroming en golven samen kunnen leiden tot erosie en verplaatsing van sediment van de bodem, en vooral bij gedempt of gefixeerd peil tot oevererosie. Omdat de weerstand hiertegen per dier- of plantensoort verschilt ontstaan hierdoor veranderingen in de samenstelling van bodem- en oevergemeenschappen. Resuspensie van sediment leidt tot troebeling van het water, extra circulatie van voedingsstoffen en vermindering van lichtbeschikbaarheid voor algen en waterplanten. Er zijn verschillende maatregelen om de ecologische processen in grote wateren met wind-gerelateerde waterbeweging te verbeteren: systeemgericht, via een gevarieerder peilbeheer het verdelen van de kracht van golven en stroming of effect-gericht, via het beschermen of vergroten van de weerstand van bodem en oevers.

Inleiding .....	2
De werking van wind .....	2
Erosie en ecologische waarden.....	7
Maatregelen .....	11
Bronnen .....	15
Colofon .....	18

## Inleiding

Deze factsheet bestaat uit drie onderdelen. Het eerste gedeelte beschrijft de werking van wind op het water, de waterbodem en oevers van meren, met enige technische verdieping over windopzet en golfopbouw. Het tweede gedeelte beschrijft effecten op de ecologie, enerzijds in de moeras- en oeverplantenzones, anderzijds op de bodem en in de ondieptes. Het derde gedeelte behandelt maatregelen, gericht op het verminderen van golfwerking en het vergroten van de weerstand van oeverzones tegen erosie.

## De werking van wind

Het effect dat wind heeft op meren hangt sterk af van hun afmetingen. Windeffecten als peilopzet en golfopbouw nemen pas serieuze vormen aan bij een doorsnede van orde grootte een kilometer, terwijl bij de kleinste meren de omgeving een relatief sterke remmende werking op windwerking heeft. Het onderstaande beschrijft de fysica van windwerking zonder deze beperkingen.

### *Stroming door wind*

De wind oefent een schuifspanning op het water uit, waardoor dat water aan het oppervlak met de wind mee gaat stromen, eventueel afgebogen door de morfologie van het meer. De stroomsnelheid hangt af van de windsnelheid en de tijdsduur (duur van de storm), en neemt, anders dan bij normale stroming, sterk af met de diepte. Deze door de wind gestuurde stroming is echter doorgaans van weinig belang voor erosie en opwerveling van sediment in meren.

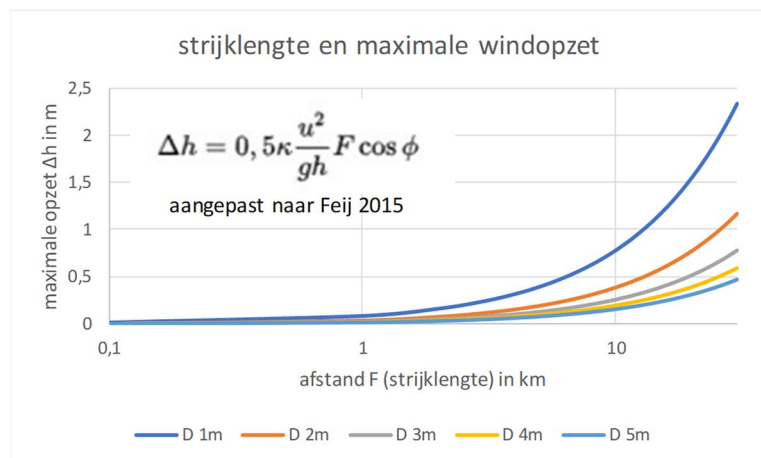
### *Windopzet en scheefstand*

Door de wind wordt een stromingsverhang gevormd; de watermassa en -hoogte neemt toe met de richting van de wind. Aan lagerwal, de oever waar de wind naar toe waait, wordt het waterpeil hoger dan aan hogewal. Dit leidt tot scheefstand van het wateroppervlak. De verhoging (windopzet) is afhankelijk van windsnelheid, tijdsduur, strijklengte en diepte, en kan met deze gegevens gemakkelijk worden berekend. Opzet is alleen van belang in grote meren, bij een doorsnede van minder dan een kilometer is de verhoging verwaarloosbaar (zie box 1).

### *Retourstroom*

Bij opstuwung probeert de zwaartekracht de watermassa en -hoogte te nivelleren en zo ontstaat een retourstroom. Afhankelijk van diepte en andere kenmerken van het waterlichaam kan dit oppervlakkig gebeuren of bij de bodem, waardoor de stroomrichting gezien van bovenaf op een bepaalde diepte omkeert. Stroming veroorzaakt een schuifspanning op de bodem, die resuspensie van het sediment kan veroorzaken.

### Box 1: Windopzet

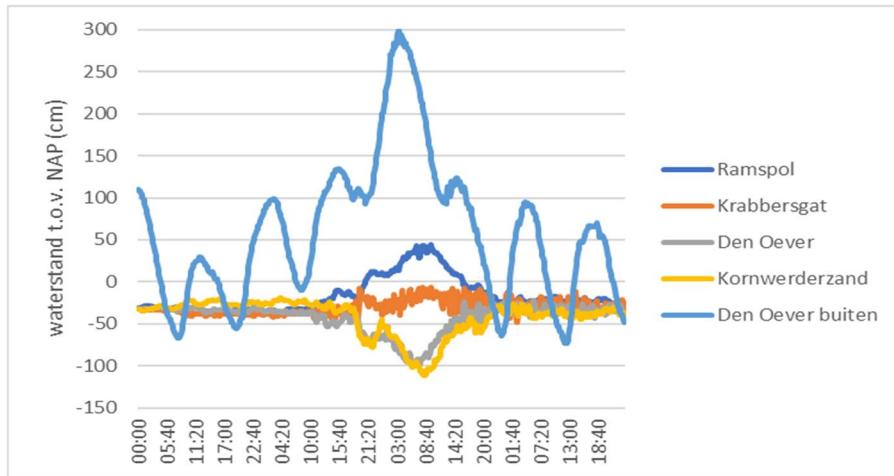


Figuur 1. Verband tussen de strijklengte ( $F$ ) in een meer en de maximale windopzet bij storm (hier windsnelheid  $U = 20,8 \text{ m/s} = \text{windkracht } 8-9$ ) in meters (delta  $h$ , hier bij windrichting gelijk aan de meetrichting, dus  $\cos$ inus hoek = 1) bij verschillende diepten.  $U = \text{windsnelheid}$ ,  $g = \text{constante } (9,81)$ ,  $D = \text{diepte}$  (aangepast naar Feij 2015).

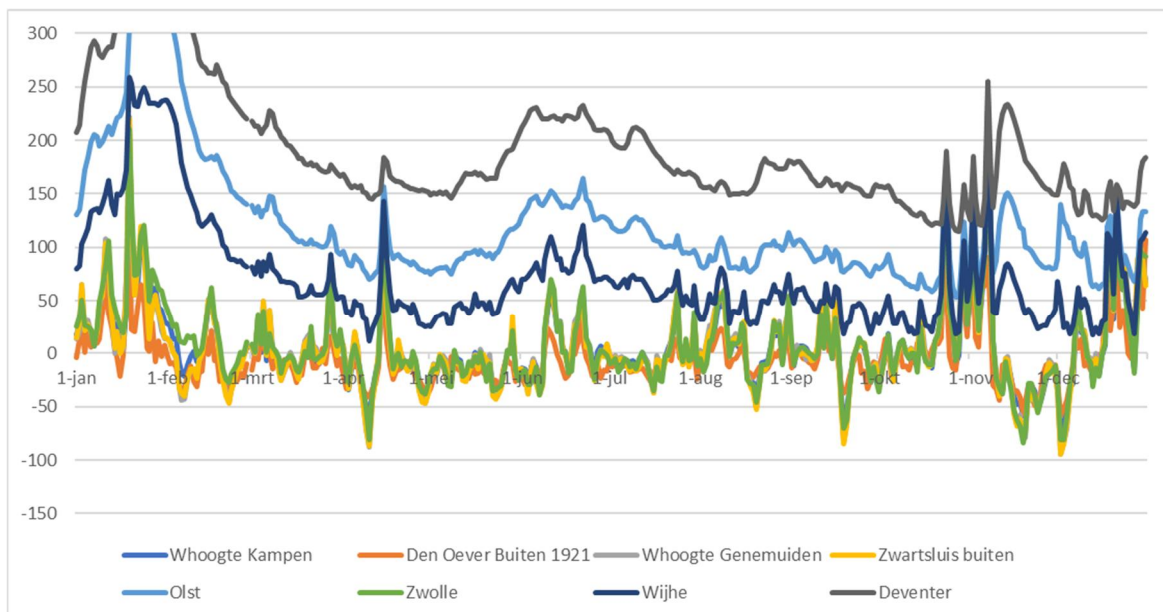
Wind brengt de bovenlaag van de waterkolom in beweging en veroorzaakt daar stroming, die in eerste instantie in de windrichting verloopt, of eventueel langs de kust afbuigt. Water wordt daardoor opgestuwd aan lagerwal (dus de kustgebieden waar de wind naar toe waait), zodat het peil daar hoger wordt dan aan de andere kant. In de grootste meren kan de wind op die manier via scheefstand zorgen voor grote verschillen in waterhoogte. Deze peilopzet kan vrij eenvoudig worden berekend uit de windsnelheid, de strijklengte en de diepte (figuur 1).

In het IJsselmeer kan in de richting van de wind tot een meter peilverhoging optreden en kan het verschil in waterhoogte met de andere kant van het meer oplopen tot anderhalve meter (figuur 2). Vóór de afsluiting van de zeearmen was dit effect nog sterker. De peilfluctuaties in de IJsseldelta werden in de winter tot en met Zwolle vrijwel geheel door scheefstand en opstuwing bepaald. Bij westenwind vond daardoor ook opstuwing plaats in de rivier zelf, die bij flinke westerstormen bovenstrooms tot voorbij Deventer in de vorm van kortstondige hogere waterstand merkbaar kon zijn (figuur 3). Naast de rivierdynamiek zelf zorgt dus ook dit mechanisme voor uitwisseling van stoffen en soorten tussen de moerasgebieden in uiterwaarden en delta's en het open water. De ritmiek van deze twee mechanismen en daarmee de invloed op natuur verschilt wel: fluctuaties door scheefstand zijn van relatief korte duur en hebben een andere seizoensritmiek.

Doordat de snelheid van door wind geïndiceerde stroming meestal beperkt is (minder dan 30 cm/s), is de bijdrage aan bodemerosie klein of afwezig. Wel treedt met deze stroming transport op van sediment dat in suspensie is gekomen door golfwerking, of door activiteiten van bodemfauna (bioturbatie), bodemwoelende vis en de mens (zandwinning e.d.). Stroming door wind in meren vertoont vaak onregelmatigheden ten opzichte van de hoofdrichting. Deze turbulente stroming houdt de waterkolom gemengd en zorgt zo onder meer dat zuurstof naar beneden wordt getransporteerd en nutriënten naar boven, dat de temperatuur wordt uitgemiddeld en dat plankton in suspensie blijft.



Figuur 2. Stormvloed van 31 oktober 2006. Waterstand bij Den Oever buiten de Afsluitdijk en anderhalve meter scheefstand in het IJsselmeer tussen Kornwerderzand en Ramspol (Zwarte Meer). Data Rijkswaterstaat.



Figuur 3. Een historisch perspectief. Dagelijkse waterhoogtes in Den Oever in de toenmalige Zuiderzee en op aantal locaties in de IJssel en het Zwarte Water in 1921. De kortstondige pieken waren grotendeels windgestuurd. Bovenstrooms van Zwolle in de IJssel nam de invloed van opstuwning in de Zuiderzee geleidelijk af. Gegevens Rijkswaterstaat.

### Kritische schuifspanning

Erosie vindt plaats als de waterbeweging aan de bodem zorgt voor een schuifspanning die hoger is dan de kritische schuifspanning van de bodem. Die kritische schuifspanning hangt af van eigenschappen van het sediment, zoals korrelgrootte, cohesief gedrag van deeltjes, vochtgehalte, ribbels en de

aanwezigheid van biota (deze eigenschappen vormen samen ook de uiteindelijke "ruwheid" van de bodem). De schuifspanning wordt uitgedrukt in Newton per  $m^2$  (= Pascal). De kritische schuifspanning van jonge slibbodems ligt bijv. tussen 0,3-0,5  $N/m^2$ , van oudere, geconsolideerde slib/kleibodems tussen 0,5-1,0  $N/m^2$  (Eelkema 2006).

#### *Kritische stroomsnelheid*

De kritische schuifspanning is gekoppeld aan een kritische stroomsnelheid. Een schuifspanning van 0,3  $N/m^2$  komt bij een diepte van 5 meter ongeveer overeen met een stroomsnelheid van 0,38 m/s, bij 3 meter diepte van 0,35 m/s. In gesloten systemen zoals meren worden deze waarden nauwelijks bereikt door wind-gedreven stroming alleen. Anders is het in samengestelde systemen, zoals de Reeuwijkse Plassen, die uit meerdere, onderling verbonden wateren bestaan. In de smalle verbindingswateren kan de stroming oplopen tot ongeveer een meter per seconde (Braakhekke et al. 2009). Hier is de kans op erosie dus aanzienlijk groter.

#### *Golven*

De wind veroorzaakt naast stroming ook golven. De golfhoogte is afhankelijk van windsnelheid, tijdsduur, strijklengte en diepte. Waterdeeltjes onder de golven maken een cirkelbeweging, de orbitaalbeweging, met de wind mee onder de kop van de cirkel, tegen de wind in onder het dal (Box 2). Daardoor wordt een alternerende kracht op de bodem uitgeoefend die de schuifspanning verhoogt. Met afnemende diepte wordt die kracht groter. De kans op resuspensie wordt hierdoor groter dan bij stroming alleen, vooral in ondiep water.

#### *Sedimenttransport*

Als door toedoen van de orbitaalbeweging, of door andere oorzaken zoals scheepvaart, erosie optreedt (veelal in de ondiepe delen), kan transport van sediment plaatsvinden door de windgedreven stroming. Dit uit zich in "sedimenthonger" van de diepere delen, het nivelleren van het diepteprofiel door erosie van ondieptes en netto transport naar de diepere delen en geulen. In een situatie met veel meer getijdynamiek zoals vóór de afsluiting van de zeearmen konden ondieptes groeien of in stand blijven door middel van ruimtelijke patronen in de balans tussen erosie en sedimentatie. Toch vindt op bepaalde geëxponeerde locaties in de meren nog windgestuurde sedimentaanvoer plaats, bijvoorbeeld aan de zuidzijde van de Houtribdijk en langs de Friese kust (Menke & Lenselink 1997). Achter golfwerende dammen op dergelijke locaties vindt sedimentatie plaats. Een modelstudie van Folmer et al. (2010) suggereerde echter dat zandtransport richting Friese kust alleen plaatvond bij harde westenwind, maar dat netto gesproken transport naar grotere diepte overheerste.

#### *Oevererosie*

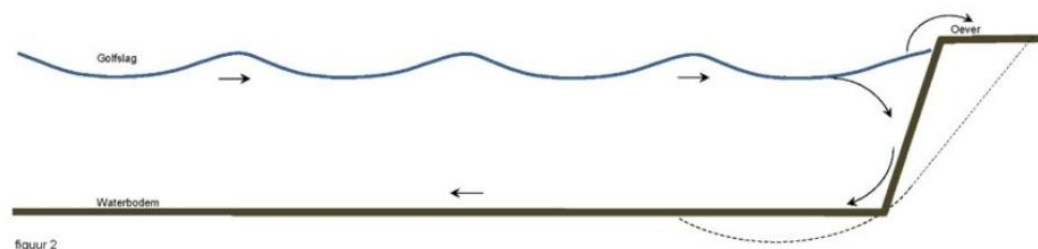
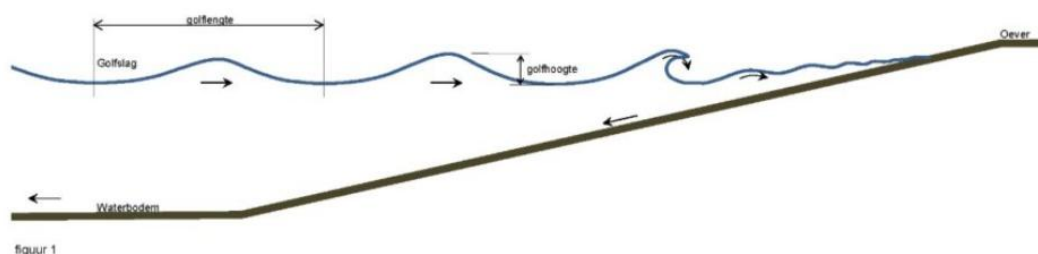
Duidelijk is dat windwerking kan leiden tot oeverafslag. Stormvloed en hebben in het verleden, in combinatie met bodemdaling door met name vervening, een belangrijke rol gehad in de vorming van het Nederlandse landschap. De schade was aanleiding voor het afsluiten van de meeste zeearmen in onze delta's. Hoewel effecten van deze schaal daarmee worden voorkomen, vindt afslag van buitendijks land bij storm

natuurlijk nog steeds plaats. In de afgesloten compartimenten vindt bovendien ook al bij matige wind oeverafslag plaats als gevolg van peilregulatie. Een vast peil zorgt voor een meer geconcentreerde golfaanval op de oevers. Daardoor treedt op die plaatsen versterkte erosie op en versmalt en verhardt de land-water overgang. In de eerste plaats worden ondiepten verdiept (Box 3). Voor het Veerse Meer en de Grevelingen verliep dat aanvankelijk snel, met een verdieping van 10 cm per jaar (Fortuin 1989). In de tweede plaats treedt verruiging en verlanding op in de oevermoerassen. Daardoor wordt de land-water overgang abrupter.

Aangezien de golfenergie in ondiep water het grootst is, concentreert de grootste schade zich vlak onder het wateroppervlak. Alleen in de grootste meren resteert nog enige peildynamiek als gevolg van fluctuaties in scheefstand door de wind (zie box 1), in de nabijheid van riviermondingen aangevuld met dynamiek door fluctuaties in de afvoer.

### Box 3: Golven en oevers

Als een golf hoger wordt dan  $1/7$  van de golflengte, breekt hij (figuur 5, boven). De energie komt dan vrij. Als de diepte in de richting van de oever geleidelijk afneemt, wordt de golf gedwongen om hoger te worden, waardoor hij gaat breken. Hoe verder van de oever dat gebeurt, hoe kleiner het effect van de golfslag op de oever. Ook een vooroever beperkt de golfenergie voordat die op de werkelijke oever aankomt. Bij een klifkust valt de golf met volle energie aan op de oever. Een deel van de energie wordt dan bovendien naar beneden geleid waardoor ook de bodem erodeert, terwijl spatwater de oever van bovenaf verweekt (figuur 5, onder).



Figuur 5. Wind-gestuurde waterbewegingen op flauwe en steile oever (<https://swrp.nl/effect-golven/>).



## Erosie en ecologische waarden

Golven en waterverplaatsing en veranderingen daarin hebben direct en indirect invloed op het functioneren van zowel stromende als (grote) stilstaande wateren. Dat kan worden duidelijk gemaakt met behulp van verschillende modellen, zoals het 5 S model met de “factorcomplexen” Systeemvoorwaarden, Stroming, Structuren, Stoffen en Soorten (ontwikkeld voor beken: Verdonschot 1995) of de mede daarop gebaseerde sleutelfactoren (Ter Veld & Van der Wal 2015; STOWA 2018).

Samen met peilfluctuaties als gevolg van veranderingen en seizoensritmiek in rivierafvoer, neerslag en verdamping bevordert golfslag de interactie tussen het open water en de oeverlanden. Bij grote meren heeft het daaraan gekoppelde transport van stoffen een gunstige uitwerking op de productiviteit in dieper water. Ook directe ecologische effecten kunnen gunstig zijn, bijvoorbeeld in de vorm van een positief effect op de diversiteit van de visstand. Als de oeverlanden periodiek en voldoende lang overstromen zijn de oevergebonden habitats beschikbaar voor vispaai en opgroeiende vislarven. De habitatdiversiteit en de onderlinge connectiviteit zijn dan groter, zodat meer soorten de vereiste combinatie van habitats kunnen vinden om de verschillende levensstadia te kunnen doorlopen (factsheet effect moerassen). Hierbij gaat het om seizoensritmiek, de kortdurende incidenten van windgestuurde peilopzet zijn hiervoor onvoldoende.

### *Moeras en oevervegetatie*

Hoewel erosie doorgaans een negatieve klank heeft, is het voor het ecologisch functioneren van een watersysteem niet per definitie slecht. In een deltagebied zoals laag Nederland horen erosie en sedimentatieprocessen bij de natuurlijke dynamiek, in sterke samenhang met natuurlijke peildynamiek en connectiviteit. Hierdoor ontstaat ruimtelijke diversiteit en blijven waardevolle pionierhabitats zoals zand- en slikplaten en ondieptes op grotere schaal beschikbaar. Land-water overgangen blijven functioneel door golf- en stromingsdynamiek in combinaties met natuurlijke peilfluctuaties, omdat bijvoorbeeld strooisel dat in oevermoerassen accumuleert wordt weggespoeld, zodat verlandingsprocessen en verruiging van rietvelden worden vertraagd. In het IJsselmondingsgebied werd dit strooisel “doek” of “daak” genoemd (Kapenga et al. 1972). Eenmaal losgewoeld heeft dit materiaal veel drijfvermogen zodat het vervolgens bij hoog water kan worden afgevoerd (“daakvelden op drift”). Lage waterstanden en periodieke droogval sluiten golfwerking tijdelijk uit waardoor oever- en moerasvegetatie de kans krijgt zich uit te breiden. Dit gebeurde van nature niet in alle jaren, verschillen tussen jaren zijn naast seizoensfluctuaties een belangrijk onderdeel van de natuurlijke dynamiek die voor verjonging zorgt (Hill et al. 1998).

Pas als waterpeilen worden gefixeerd zodat de ruimte waarover deze processen zich van nature afspelen wordt beperkt, ontstaan problemen. Op de oevers treedt dan afslag op omdat de golven steeds op dezelfde plaats aanvallen. Daardoor raken habitats op de overgang van land naar water beschadigd. Daarbij verdwijnt de buitenste zone van de oevervegetatie, met waterriet en oeverplanten die in het water staan (Den Hartog et al. 1989; Ostendorp 1989; Coops 1996; Van Der Putten,

1997; Clevering 1999). Dat kan worden versterkt door opwerveling van sediment in de oeverzone, waardoor enerzijds de ondiepten verdiepen en anderzijds de lichtbeschikbaarheid voor waterplanten verslechtert. De hoger gelegen oevervegetatie verlandt en verruigt, totdat uiteindelijk wilgenbos ontstaat en er geen contact meer is tussen water en oever. De land-water overgang verhardt en wordt abrupt. De oever wordt dan een obstakel voor de verspreiding van soorten, waaronder vis.

In de grotere meren kan het effect van scheefstand en opstuwing het gebrek aan seizoensgebonden peil nog enigszins verzachten; ook deze vorm van peildynamiek is positief voor de land-water interactie en de kwaliteit van oevergebonden habitats. Een voorbeeld is het IJsselmondingsgebied, waar zich waterriet met een populatie Grote Karekieten heeft kunnen handhaven. Toch leidde de afname van peildynamiek, met als laatste instrument de balgstuw van Ramspol, tenslotte ook hier tot verlies van natuurwaarden, bijvoorbeeld in de vorm van afnames bij populaties van moerasvogels. Recent was dat aanleiding voor Natuurmonumenten om verlande moerasvegetaties langs het Zwarte Meer weer te openen door middel van aangepast rietbeheer en het graven van sleuven (project "A better LIFE for Bittern"; Broekhuizen et al. 2020; <https://www.natuurmonumenten.nl/projecten/roerdomp-in-het-riet>).

#### *Effecten op de water-bodem interacties*

In grote meren heeft de wind effect op de water-bodem interactie en de menging van de waterkolom. In meren verloop de diffusie van zuurstof langzamer dan in stromende wateren. Door afbraak van organisch materiaal kan het zuurstofverbruik groter zijn dan de diffusie vanuit de lucht en de productie door planten en algen. Daardoor treedt ook een duidelijk en versterkt dag-nacht ritme in het zuurstofgehalte op (Edwards & Owens, 1962; van der Lee et al. 2018). Windeffecten kunnen gunstig zijn omdat ze zuurstoftransport bevorderen, in het bijzonder doordat stratificatie in diepere delen voorkomen wordt, ten gunste van de zuurstofbeschikbaarheid (Organische Belasting; Sleutelfactor ESF7).

Dit is vooral van voordeel in grote ondiepe meren zoals het IJsselmeer, waar geen sprake is van langdurige stratificatie, maar wel van "microstratificatie". Op dagen met hoge temperaturen en weinig wind kan gedurende een aantal uren stratificatie optreden. Tijdens hittegolven kan dit enkele dagen duren, waarbij de zuurstofconcentratie in het hypolimnion geleidelijk daalt, wat uiteindelijk kan leiden tot sterfte bij vis of schelpdieren. Zo'n periode eindigt vaak in een periode van verhoogde turbulentie en temperatuurafname bijv. door een onweersbui.

Wind bevordert ook de uitwisseling van stoffen tussen water en bodem in grote ondiepe meren, die vooral van belang is in wateren met een lange verblijftijd. Water 'schuift' over de bodem. Wanneer hierbij de kritische schuifspanning voor erosie wordt overschreden, wordt het sediment opgewerveld. Dit kan troebelheid veroorzaken, maar ook uitwisseling van stoffen (nutriënten). Hoe sterk die relatie is hangt af van o.a. sedimenttype, diepte en strijklengte. Hierdoor zien we in grote



ondiepe systemen vaak een positieve relatie tussen de windsnelheid en de hoeveelheid zwevend stof. Als de wind gaat liggen kan de vertroebeling nog een paar dagen aanhouden tot ook de fijnste sedimentfracties weer bezonken zijn. Omdat de kritische schuifspanning onder meer afhangt van de mate van consolidatie van het sediment, wordt de mate van resuspensie ook beïnvloed door gebeurtenissen in de voorafgaande periode. Bij het uitblijven van storm vindt over langere tijd consolidatie plaats en kunnen bijv. bodemalgen of bacteriën matten vormen die sediment vasthouden (Noordhuis 2019). De stormfrequentie in de winter kan daardoor, los van de windsnelheid op het moment zelf, ook effect hebben op de hoeveelheid zwevend stof in het daaropvolgende voorjaar en de zomer. In ondiepe meren is vaak sprake van een min of meer mobiele, oxische toplaag van het sediment, die relatief gemakkelijk opwervelt. Als bij storm ook de anoxische laag daaronder in suspensie komt, zijn de gevolgen voor waterkwaliteit en ecologie langduriger, omdat dan ook de bodemgemeenschap die aan deze omstandigheden is verbonden (bijv. netwerken van zwavelbacteriën) dan ook worden verstoord. Al deze processen hebben ook effect op de uitwisseling van stoffen zoals nutriënten in de meren (De Lucas 2014).

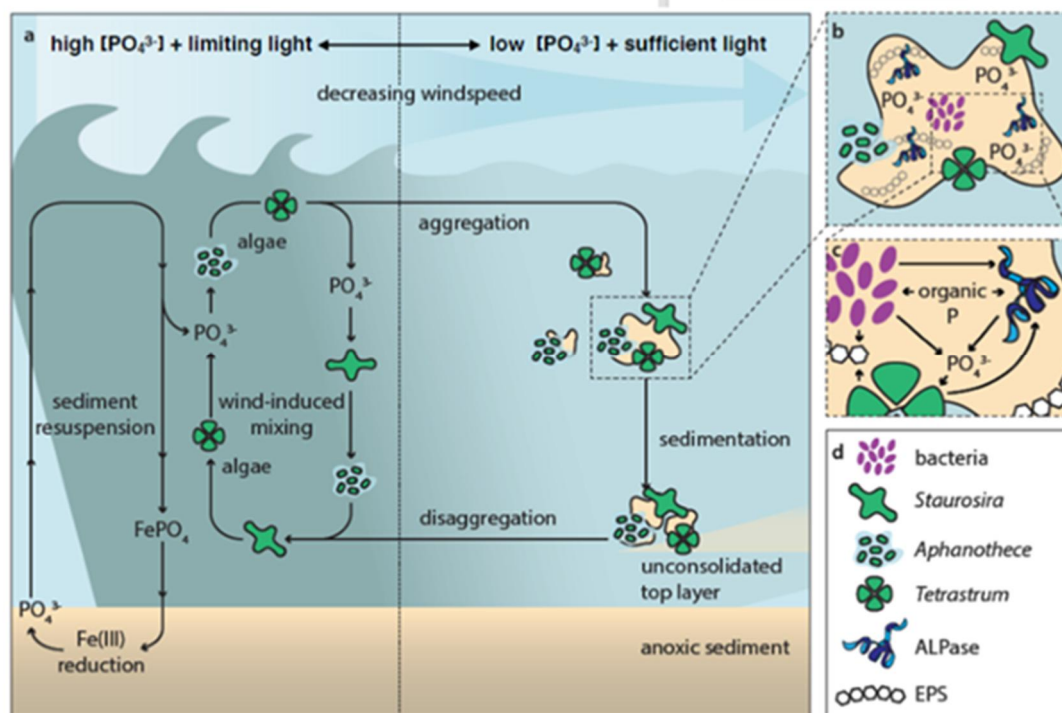
#### *Bodemleven en waterplanten*

Behalve de vorming van matten van bodemalgen en bacteriën, kan ook de aanwezigheid van hogere organismen de kritische schuifspanning op de bodem beïnvloeden. Dat geldt bijvoorbeeld voor ongewervelden die banken vormen, zoals Driehoeks- en Quaggamosselen en in onze zoute meren (Grevelingen, Veerse Meer) ook oesters. Voor een deel komt dit omdat deze structuren door hun ruwheid de schuifspanning verlagen, zoals ook ondergedoken vegetatie de stroming remt. Filterfeeders zoals mosselen zijn vaak sessiel, en komen in verband daarmee juist voor waar waterbeweging is waar voedsel mee wordt aangevoerd. Hechtstructuren en groeiformaties voorkomen dat ze wegspoelen. De groeivorm heeft ook invloed op het erosie-sedimentatie evenwicht ter plaatse. Bij een aaneengesloten structuur van kleinere schelpen ontstaan weinig wervelingen en wordt sediment ingevangen. Bij een grovere structuur, bijvoorbeeld bij kluitvorming van mosselen ontstaan wervelingen tussen de schelpen of kluiten waardoor sediment juist kan wegspoelen (Dankers & Fey-Hofstede 2015). Deze processen spelen met name in intergetijdegebieden een rol (Donker 2015). Toch komt kluitvorming ook bij zoetwatermosselen vaak voor. Ook zijn er grote verschillen tussen meren in de gemiddelde grootte van Driehoeks- en Quaggamosselen in de banken, met dienovereenkomstige verschillen in ruwheid en beïnvloeding van de schuifspanning. Met name in meren met een korte verblijftijd door rivier-invoed (Ketelmeer, Eemmeer) zijn de dichtheden hoog en de mosselen groot (Noordhuis et al. 2020), en is de ruwheid van de bodem die ze veroorzaken van relatief groot belang.

Uiteindelijk worden bodemdieren en waterplanten alsnog losgespoeld als de schuifspanning te groot wordt. Ongewervelden zoals slakken, vlokreeften en libellenlarven beginnen rond 0,5 Pascal van hun substraat te spoelen (Gabel et al. 2012). De mate waarin dat gebeurt hangt opnieuw sterk af van de aard van dat

substraat. Op zandbodems zijn dit soort organismen bij schuifspanningen rond 1 Pascal grotendeels weggespoeld. Stenen of wortelstructuren van oeverplanten bieden veel meer houvast. Schade aan het bodemleven kan ook ontstaan als sediment in combinatie met wind geïnduceerde stroming wordt verplaatst en elders wordt afgezet op bijvoorbeeld mosselbanken. Als de kritische schuifspanning alsnog wordt overschreden kan de opgetreden schade relatief moeilijk herstelbaar zijn, omdat de stabiliserende werking die de aanwezigheid en organisatiestructuur van deze organismen op hun omgeving had, is doorbroken.

Waterplanten kunnen incidenteel door golfwerking ontworteld raken. Van Zuidam en Peeters (2015) lieten zien dat waterplanten in het Markermeer ondervertegenwoordigd waren in gebieden met schuifspanningen van meer dan 0,9 Pascal. Een enkele keer zorgt een zomerstorm voor voortijdige afvoer van plantenmateriaal, waarbij in grote ondiepe meren soms ook grote hoeveelheden waterplanten kunnen wegslaan zoals tijdens een zomerstorm in 2013. Verschillen in schuifspanning in relatie tot strijklengtes en golfhoogtes zorgen ook voor ruimtelijke diversiteit in de meren.



Figuur 6. Conceptueel model van de vorming van vlokken van sedimentdeeltjes, algen en bacterien in het slibrijke en windgestuurde Markermeer. Uit Brinkmann et al. 2018.

### Waterbeweging en doorzicht

Afhankelijk van de sedimentsamenstelling kan waterbeweging resulteren in troebel water, waardoor lichtbeperking kan ontstaan voor de groei van algen en waterplanten. Sommige visetende watervogels kunnen geen vis meer vinden in

water dat te troebel is; Aalscholvers en Futen haken af bij een doorzicht van minder dan 40 cm. Meestal zijn deze omstandigheden tijdelijk (tenzij sprake is van langdurige algenbloei door eutrofiering). In ondiepe systemen met een bodem van fijnkorrelig sediment (klei) blijft de fijnere fractie echter langer hangen in de waterkolom en dan kan sprake zijn van langdurige perioden met troebel water. Dan kan ook sprake zijn van interactie tussen gesuspendeerde sedimentdeeltjes en plankton en ander organisch materiaal (vlokvorming; De Lucas Pardo 2014, Brinkmann et al. 2018, zie figuur 6) en van effecten op de kwaliteit van het seston als voedsel voor filteraars zoals watervlooien en mosselen, waardoor uiteindelijk het hele voedselweb wordt beïnvloed (Sarpe et al. 2014; Mandemakers 2013).

Omdat de mate van turbulentie samenhangt met de strijklengte ontstaan ook ruimtelijke verschillen in waterkwaliteit, met bijvoorbeeld gradiënten in doorzicht. Dergelijke gradiënten bieden kansen op een min of meer duurzame relatie tussen vissen en visetende vogels (Van Eerden 1997).

## Maatregelen

Er zijn verschillende maatregelen om de ecologische processen in grote wateren met wind-gerelateerde waterbeweging te verbeteren. Daarbij zijn er twee mogelijke invalshoeken; 1) systeemgericht, via een gevarieerder peilbeheer het verdelen van de kracht van golven en stroming of 2) effectgericht, via het beschermen of vergroten van de weerstand van bodem en oevers (Hessel et al. 2011). In de praktijk leidt het laatste veelal niet tot duurzame verbetering zonder het eerste. Daarbij wordt zo mogelijk gewerkt met gebruik van de wind en stromingseffecten zelf. Hieronder zijn de maatregelen gerangschikt van natuurlijk naar kunstmatig.

### *Systeemgericht: natuurlijke(r) peilfluctuaties*

De eerste optie is aanpassing van een belangrijke oorzaak van schade; het gefixeerde peil dat de golfaanvallen concentreert. Het herstellen van natuurlijke peilfluctuaties is de meest effectieve maatregel in de oeverzone (Coops et al. 2002; Belger & Arts 2003; Van Eerden et al. 2007; Westendorp et al. 2020). Hierdoor wordt niet alleen directe schade beperkt door spreiding van de golfinvloeden op de oever, maar wordt tevens ten opzichte van de huidige situatie de functionaliteit van land-water overgangen verbeterd. Herstel van natuurlijke peilfluctuaties stuit meestal op randvoorwaarden vanuit veiligheid, waterbeschikbaarheid en infrastructuur. In de loop der jaren is er in combinatie met voorbereiding op klimaatverandering iets meer ruimte gekomen voor variatie (Rijkswaterstaat 2018), maar de marges liggen in een veel kleinere orde van 0.1 of 0.2 meter dan de referentiesituatie met een tot anderhalve meter. Natuurlijke verschillen tussen droge en natte jaren, die daar nog overheen komen, worden verondersteld minstens zo belangrijk te zijn voor het behoud van functionele land-water overgangen (Hill et al. 1998; van Eerden et al. 2007).

### *Effect-gerichte maatregelen*

Alle andere maatregelen zijn gericht op het reduceren van effecten zonder de hierboven bedoelde systeemmaatregelen. Dat kan enerzijds door het remmen van golfwerking voordat de oever bereikt wordt door middel van verdieping, luwtedammen of vooroevers, anderzijds door oeverbescherming met behulp van verondieping, vegetatie of kunstmatige beschoeiing.

### *Vegetatie en verondiepingen*

In grotere wateren kan oeverbegroeiing als bescherming worden ingezet in combinatie met verondiepingen. Om oevers te beschermen tegen erosie door golfslag worden natuurlijke, geleidelijke overgangen van diep naar ondiep naar semi-terrestrisch aangelegd of beschermd; het gaat hierbij om diep-kaal, ondiep-litorale begroeiing, semi-terrestrisch-moeras overgangen. Riet, wilgen en andere oevervegetatie leggen de oever op een natuurlijke manier vast en de ondiepe zones die de groeiplaatsen vormen dempen de golven (Ostendorp et al. 1995). Om natuurlijke vegetatieontwikkeling op de oevers te krijgen en te handhaven worden bij voorkeur ook meer natuurlijke peilfluctuaties toegepast (Coops & Hosper 2002). Kunstmatig ontwikkelde vegetaties presteren dan na verloop van een aantal jaren goed (Sollie et al. 2008). Zonder peilfluctuaties of indirecte bescherming met vooroevers levert deze methode geen duurzaam resultaat op, omdat door de gefixeerde golfwerking de ondieptes voor de oever geleidelijk weer dieper worden (zie box 3).

### *Verdieping en reduceren van troebeling*

Als de opwerveling van sediment door windeffecten problemen oplevert, bijvoorbeeld doordat de bescherming van de oever door een waterplantenzone wegvalt door lichtgebrek, zijn specifieke maatregelen zinvol. Wijziging van de waterdiepte is dan soms een optie vanwege de afname van golfeffect op de bodem met toenemende diepte. Maar ook de aanleg van slib- of zandvangen zijn mogelijk. Het uitdiepen van (centrale) delen van een plas of meer om slib in te laten bezinken (Penning et al., 2010) kan bovendien bijdragen aan de aanwezigheid van bijvoorbeeld diepere overwinteringshabitats voor vissen. Als het sediment veel troebeling veroorzaakt omdat het uit slib bestaat, kan ook bezanden zinvol zijn: Het bedekken van een slibbodem met grover materiaal (zand) om opwerveling te verminderen (van Geest et al., 2005).

### *Luwtedammen*

Door verondiepingen en vooroevers te combineren wordt met name het onder water gelegen gedeelte van de oeverzone beschermd. Bij een ruimere interpretatie betreffen dit grootschaliger luwtegebieden, waarbij gebruik wordt gemaakt van een

grootschaliger werking van een luwtestructuur dan bij een vooroever. Door de aanleg van ondervertegenwoordigde habitats zoals ondieptes en moerassen kunnen luwtes met kortere strijklengtes worden gecreëerd (Marker Wadden, IJsselmonding, Kreupel etc.). Daardoor ontstaat meer ruimtelijke diversiteit die de ecologie en duurzaamheid van de watersystemen kan versterken. Door de randvoorwaarden van gefixeerd peil en beperkte connectiviteit vragen deze habitats relatief veel van beheer en onderhoud. Toch kan in sommige situaties verondieping spontaan optreden, als de overheersende wind recht op een luwtestructuur staat en sediment bij storm over luwtedammen slaat en zich er achter afzet, of als het zich ophoopt om de hoeken van de uiteinden van de structuur (voormalige ijsbrekerdammen langs de Houtribdijk). Zo kunnen waterbewegingen ook bijdragen aan habitatdiversiteit door interne sortering van bodemmateriaal (drijfbladplanten aan westzijde van uiterwaardplassen waar het organisch materiaal zich ophoopt). De aanleg van luwtegebieden heeft wel een keerzijde. De blootstelling van grote open wateren aan wind is een eigenschap van deze systemen. De verkorting van strijklengte door (verdergaande) compartimentering kan het karakter van grootschalige systemen geweld aandoen.

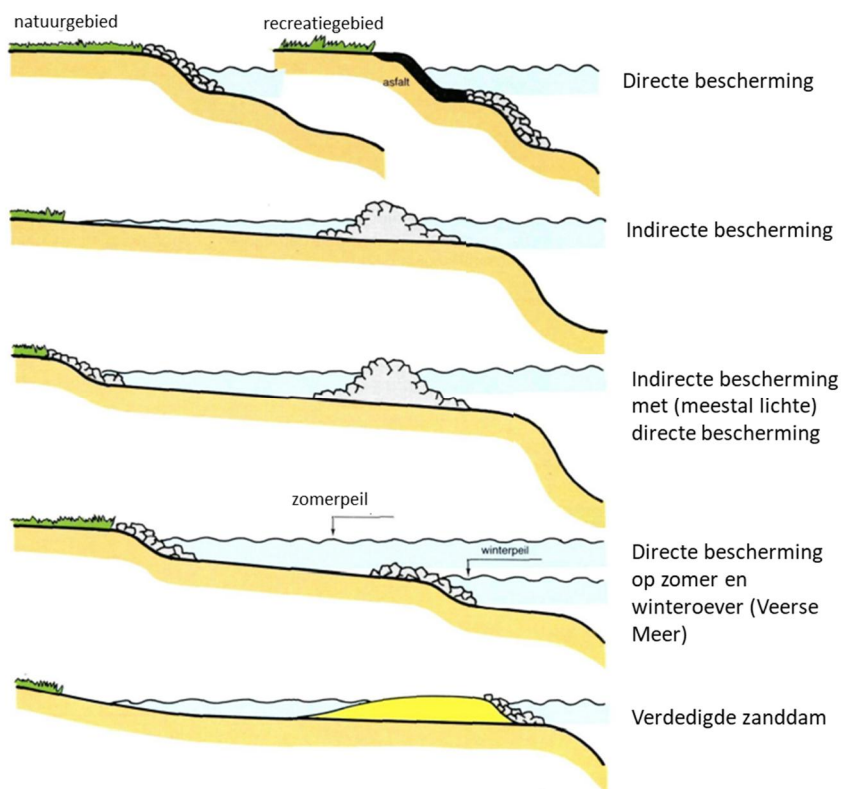
### *Zandmotoren*

Nog meer gericht wordt van stroming en sedimentverplaatsing gebruik gemaakt bij de toepassing van zandmotoren. Dit is een zandvoorraad die op enige afstand van de te beschermen kust wordt aangebracht. Dit zandlichaam kan werken als een drempel die golfslag op de oever remt. Bovendien wordt dit zand aangebracht op zodanige locaties dat de aanwezige stroming, al dan niet wind geïnduceerd, het zand afzet op de kust, zodat een natuurlijke bescherming ontstaat. Bekend is de zandmotor langs de Noordzeekust bij Ter Heijde ([www.dezandmotor.nl](http://www.dezandmotor.nl); Dulfer et al. 2014) maar ook op twee plaatsen langs de Friese kust in het IJsselmeer is met dit principe geëxperimenteerd ('zandbrommer'). Hier trad echter weinig of geen sedimentatie op de kust plaats (Wiersma et al. 2017).

### *Vooroevers*

Als een fluctuerend peil niet of slechts beperkt mogelijk is, kan oeverbescherming met behulp van vooroevers uitkomst bieden: constructies op enige afstand van de oever voor een combinatie van oeverbescherming en behoud van ondiepten en overgangen (figuur 7). Vooroevers, strek- en dwarsdammen helpen bij het breken van de golven en verminderen erosie (Söhngen et al., 2008; Gabel et al., 2017). Deze maatregel is in verschillende grote meren toegepast. Allerlei variaties zijn mogelijk: uitvoeringen in steen, als zanddam, al dan niet verdedigd, wel of niet boven water uitstekend en al dan niet met vegetatie. Openingen kunnen op regelmatige afstanden worden aangebracht voor uitwisseling van water en dier- of plantensoorten. Onder meer in de Grevelingen werd ook geëxperimenteerd met palenrijen (zie ook Leeuwestein & Schoot 1988; zeer lokaal afname van sedimentverlies en oeverafslag, tevens ontwikkeling zandtransportmodel

PROTRANS) en drijvende golfkeringen (Fortuin 1989). Hier werden vooroevers met openingen de beste oplossing geacht. Dit principe is ook elders in grote meren toegepast, bijv. in het Volkerak-Zoommeer (Van Rooij & Groen 1997; Rimmelzwaal 1998) en zeer recent in de vorm van de "Oeverdijk" langs het Markermeer onder Hoorn. Hier is het primaire doel dijkbescherming om verhoging te beperken gezien de landschappelijke kwaliteiten. Er is echter ook sprake van "tussenwater" met een natuurfunctie en een flauw talud aan de kant van het meer (o.a. Wardenaar & Hoekstra 2013).



Figuur 7. Verschillende mogelijkheden voor oeverbescherming (uit Fortuin 1989).

#### Achterevers:

Een oplossing die meer en meer als noodoplossing wordt verkend als ecologisch functionele land-water overgangen niet haalbaar lijken, is het leggen van verbinding met achterevers. Dit zijn afzonderlijke, bestaande of aan te leggen binnendijkse compartimenten waarbinnen nabootsing van een natuurlijk peil mogelijk is (van Ek et al. 2017). Dit kan goed werken ter vervanging van overstromingsgraslanden voor de productie van jonge vis, maar de beperkte connectiviteit met het open water levert nog uitdagingen op ten aanzien van vindbaarheid voor overwinterende vis en de uitwisseling van koolstof en nutriënten.

#### Beschoeiing



De meest technische en simpele manier van bescherming tegen golfaanval op een oever is beschoeiing met basalt, andere steen of asfalt en bestorting van de waterlijn. Soms wordt die bestorting dubbel uitgevoerd, op het niveau van zomerpeil en van winterpeil (figuur 7; Fortuin 1989). Deze oplossing gaat echter voorbij aan de ecologische doelen en waarden. Bovendien kan het aanbrengen van vaste beschoeiing de erosie van de aansluitende waterbodembodem versterken (Leeuwestein & Schoot, 1988; box 3).

Steenlagoevers zijn toch niet zonder natuurwaarden (mosselen, rivierdonderpad, etc.), en worden bijvoorbeeld in de Vinkeveense Plassen door ecologen beter gewaardeerd dan houten beschoeiingen (Mur et al. 2018), zeker in combinatie met natuurlijke ontwikkeling van de vegetatie aan landzijde. Ook hier worden plas-dras oplossingen voorgesteld die neerkomen op vooroever aanleg, maar dan vanuit een andere invalshoek (anders dan beperking van golfwerking of het creëren van een functionele land-water overgang). Wel blijkt oeverbescherming met stenen vaak gedomineerd door invasieve exoten.

Een meer natuurlijke beschoeiing, bijvoorbeeld van wilgentenen, kan werken in kleinere wateren: in Waterland kon rietontwikkeling na plaatsen van zo'n beschoeiing wordt gestimuleerd, het meest succesvol als aan de landzijde tevens vee werd uitgerasterd (Jonker s.a.).

## Bronnen

- Bachmann R.W., M.V. Hoyer & D.E. Canfield Jr. 2000. The potential for wave disturbance in shallow Florida lakes. *Lake and Reservoir Management* 16 (4): 281-291.
- Belgers J.D.M., G.H.P. Arts (2003), Moerasvogels op peil; deelrapport 1: peilen op riet; literatuurstudie naar de sturende processen en factoren voor de achteruitgang en herstel van jonge verlandingspopulaties van riet (*Phragmites australis*) in laagveenmoerassen en rivierkleigebieden Alterra-rapport Publisher. Alterra No.828.1 ISSN (Print)5166-7197 Wageningen Environmental Research.
- Braakhekke W., C. Maka & A. van Winden 2009. Waterkwaliteitsverbetering Reeuwijkse Plassen. Mogelijke oplossingen en krachtenveldanalyse. Bureau Stroming, Nijmegen.
- Brinkmann B. W., J. A. Vonk, S. A. M. van Beusekom, and others. 2018. Benthic hotspots in the pelagic zone: Light and phosphate availability alter aggregates of microalgae and suspended particles in a shallow turbid lake. *Limnol. Oceanogr.* 0. doi: 10.1002/lno.11062.
- Broekhuizen R., R. Hoftan, S. Lauwaars, I. Scholten & T. Stoker 2020. A better LIFE for Bittern. Zwarte Meer & Drontermeer. Natuurmonumenten, 's Graveland.
- Clevering O. 1999. Vitaliteit van rietbegroeiing. *Levende Natuur*, 100(2), 42–45.
- Coops H. 1996. Helophyte zonation: impact of water depth and wave exposure. Thesis University of Nijmegen.
- Coops H. 2002. Ecologische effecten van peilbeheer: een kennisoverzicht. RIZA Rapport 2002.041, Lelystad.
- Coops H. & S.H. Hosper 2002. Water-level management as a tool for the restoration of shallow lakes in the Netherlands. *Lake and Reservoir Management*, 18(4), 293-298.

- Dankers N.M.J.A. & F.E. Fey-Hofstede 2015. Een zee van mosselen: handboek ecologie, bescherming, beleid en beheer van mosselbanken in de Waddenzee. Stichting Anemoon, Lisse.
- De Lucas Pardo M.A. 2014. Effect of biota on fine sediment transport processes. A study of Lake Markermeer. Dissertation Technical University of Delft, The Netherlands.
- Den Hartog C., J. Kvet & H. Sukopp 1989. Reed. A common species in decline. *Aquatic Botany* 35: 1-4. Didderen K. 2007. Dispersie: herstellende petgaten en de rol van dispersie (No. 1564). Alterra.
- Donker J. 2015. De dynamiek van mosselbanken. Invloed van stroming en golven. Presentatie <https://docplayer.nl/5914292-De-dynamiek-van-mosselbanken-invloed-van-stroming-en-golven.html>
- Dulfer W., C. van Gelder, S. Marx & C. de Wilde 2014. Hoe bruikbaar is de zandmotor? Eerste tussentijdse verkenning naar de haalbaarheid en bruikbaarheid van de pilot Zandmotor 2011-2013. Rijkswaterstaat, Lelystad.
- Edwards R. W. & M. Owens 1962. The effects of plants on river conditions IV. The oxygen balance of a chalk stream. *The Journal of Ecology*, 207-220.
- Eelkema M. 2006. Verspreidingsrisico's door waterbodemdynamiek. Achtergronddocument bij de Richtlijn Nader Onderzoek van verontreinigde waterbodems. AKWA werkdocument W06.004 / Rijkswaterstaat Lelystad.
- Feij C.C.L. 2015. Nauwkeurigheid van formules voor windopzet aan de hand van meetgegevens van het IJsselmeer. TU Delft: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:1dfe879b-bf86-408e-8b8c-3d748e40f624>. Gabel F., S. Lorenz & S. Stoll 2017. Effects of ship-induced waves on aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*, 601, 926-939.
- Folmer E., T. Wilms, R. Steijn & J. Cleveringa 2010. Pilot eco-dynamiek Fryske kust. Ecoshape rapport A2448R1r1, Emmeloord.
- Fortuin A. 1989. De ontwikkeling en bescherming van oevers in afgesloten zeearmen. Samenvatting van de morfologische en biologische evaluatiesstudies in Veerse Meer en Grevelingenmeer. RWS Dir. Zeeland en DGW, Middelburg en DWW, Delft.
- Gabel F., X.F. Garcia, I. Schnauder & M.T. Pusch 2012. Effects of ship-induced waves on littoral benthic invertebrates. *Freshwater Biology*, doi: 10.1111/fwb.12011.
- Gabel F., S. Lorenz & S. Stoll 2017. Effects op ship-induced waves on aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment* 601-602; 926-939.
- Hessel R., J. Stolte & M. Riksen 2011. Huidige maatregelen tegen water- en winderosie in Nederland. Alterra, rapport 2131, Wageningen.
- Hill N., P.A. Keddy & I.C. Wisheu 1998. A hydrological model for predicting the effects of dams on the shoreline vegetation of lakes and reservoirs. *Environmental Management* 22 (5), 723-736.
- Jonker N. s.a. Natuurlijke oeververdediging Waterland. Vier jaar ervaring met wilgenschoeiingen op vijf agrarische bedrijven. Evaluatie. Samenwerkingsverband Waterland, Purmerend.
- Kapenga R., J.A.F. Koridon, A. Timmerman & J. Philippona 1972. Kampereiland en Zwarte Meer. Schets van de landschappelijke en natuurhistorische waarde. *Kamper Almanak* 1972-07: 159-174.
- Leeuwestein W. & P. Schoot 1988. Evaluatie oevers. Eindrapportage van het project Oevererosie. TU Delft.

- Mandemakers J. 2013. The impact of suspended sediments and phosphorous scarcity on zebra mussel and Quagga mussel growth. Master's thesis Utrecht University / NIOO-KNAW Wageningen.
- Menke U. & G. Lenselink 1997. Buitendijkse gebieden langs de Friese IJsselmeerkust; een dynamisch evenwicht! RIZA Rapport nr. 97.075.
- Mur L., G. Korthals, B. Les & C. Baas 2018. Naar natuurvriendelijke en veilige oevers van de zandeilanden in de Vinkeveense Plassen. Vereniging voor milieu- en Natuurbescherming Vinkeveen en Waterveen De Groene Venen, Vinkeveen.
- Noordhuis R. 2019. Survey draadvormige zwavelbacterien Markermeer 2019. Deltares, Notitie 11204657-002-ZWS-0001, Utrecht, 46 pp
- Noordhuis R., G. Roskam & L. Osté 2020. Limited role of internal loading in a formerly hypertrophic shallow lake in The Netherlands. In: A.D. Steinman & B.M. Spearman, Internal phosphorus loading in lakes: causes, case studies, and management. J. Ross Publishing.
- Ostendorp W. 1989. 'Die-back' of reeds in Europe, a critical review of literature. *Aquatic Botany* 35: 5-26
- Ostendorp W., C. Iseli, M. Krauss, P. Krumscheid-Plankert, J.L. Moret, M. Rollier & F. Schanz 1995. Lake shore deterioration, reed management and bank restoration in some Central European lakes. *Ecological Engineering*, 5(1), 51-75.
- O' Sullivan P. & C.S. Reynolds 2004. *The Lakes Handbook. Volume 1; Limnology and Limnetic Ecology*. John Wiley & Sons Ltd, Hoboken.
- Penning W.E., R. Uittenbogaard, M. Ouboter & E. van Donk 2010. Local deepening of large shallow peat lakes: A measure to improve their ecological status. *Journal of Limnology* 69: 126–137.
- Rommelzwaal A.J. (red.) 1998. *Ecologie van de vooroeverbieden van het Volkerak-Zoommeer*. RWS-RIZA, rapport 98.036X, Lelystad.
- Rijkswaterstaat 2018. *Peilbesluit IJsselmeergebied*. Rijkswaterstaat, Lelystad.
- Royal Haskoning DHV 2019. *Grip op nevengeulen. Pilot voor programmeringsmethodiek beheer en onderhoud van nevengeulen*. Royal Haskoning DHV, ref. BF9237-101\_Grip op nevengeulen\_04032019\_d6.0.
- Sarpe D. L.N. de Senerpont Domis, S.A.J. Declerck, E. van Donk & B.W. Ibelings 2014. Food quality dominates the impact of food quantity on *Daphnia* life history: possible implications for re-oligotrophication. *Inland Waters* 4: 363-368.
- Söhngen B., J.H.E. Koop, S.E. Knight, J. Rythönen, P. Beckwith, N. Ferrari, J. Iribarren, T. Kevin, C. Wolter & S.T. Maynard 2008. Considerations to Reduce Environmental Impacts of Vessels. Report of PIANC InCom Working Group 27. PIANC, Brussels, p. 90.
- Sollie S., H. Coops & J.T.A. Verhoeven 2008. Natural and constructed littoral zones as nutrient traps in eutrophicated shallow lakes. *Hydrobiologia* 605: 219–233.
- STOWA 2018. *Ecologische Sleutelfactoren. Stilstaande en stromende wateren*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) rapportnummer 2018-24, Amersfoort.
- Ter Veld D. & B. van der Wal 2015. *Ecologische Sleutelfactoren in het kort*. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) rapportnummer 2015-31, Amersfoort.
- Van der Lee G.H., R.C. Verdonschot, M.H. Kraak & P.F. Verdonschot 2018. Dissolved oxygen dynamics in drainage ditches along a eutrophication gradient. *Limnologica*, 72, 28-31.

- Van der Putten W. H. 1997. Die-back of *Phragmites australis* in European wetlands: An overview of the European Research Programme on Reed Die-back and Progression (1993-1994). *Aquatic Botany*, 59(3-4), 263-275.
- Van Eerden M. 1997. Patchwork. Dissertatie R.U. Groningen.
- Van Eerden M., H. Bos & L. van Hulst 2007. In the mirror of a lake: Peipsi and IJsselmeer for mutual references. RWS Dir. IJsselmeergebied, Lelystad.
- Van Ek R., R. Doef, K. Bruin-Baerts & A. van Nierop 2017. Achteroevers: Lessen uit de Koopmanspolder, *Landschap* 2017(1): 15-23.
- Van Geest G. J., H. Coops, R.M.M. Roijackers, A.D. Buijse & M. Scheffer 2005. Succession of aquatic vegetation driven by reduced water-level fluctuations in floodplain lakes. *Journal of Applied Ecology* 42(2): 251-260.
- Van Rooij S.A.M. & K.P. Groen (red.) 1997. De oeversgebieden van het Volkerak-Zoommeer. Ontwikkeling van abiotisch milieu en vegetatie sinds 1987. RWS Dir. IJsselmeergebied, Flevobericht 393, Lelystad.
- Van Zuidam B.G. & E.T.H.M. Peeters 2015. Wave forces limit the establishment of submerged macrophytes in large shallow lakes. *Limnology and Oceanography* 60: 1536-1549.
- Verdonschot P.F.M. (red.) 1995. Beken stromen. Leidraad voor ecologisch beekherstel. STOWA-rapport 95-03, WEW-publicatie 06.
- Wardenaar K.J. & J. Hoekstra 2013. Inspiratieboek Oeverdijk Markermeerkust Hoorn-Amsterdam. Resultaten Oeverdijk-ateliers april/mei 2013. HHNK / Provincie Noord Holland / VISTA landschapsarchitectuur en stedenbouw
- Westendorp P.J., E. Remke, J. de Fouw & R. Noordhuis 2020. Onderbouwing ecologische maatregelen IJsselmeergebied. Het areaal land-waterovergangen. Literatuurstudie. Onderzoekcentrum B-WARE, rapport RP-19.072.20.18, Nijmegen.
- Wiersma A., T. van Hattum, M. de Lange, E. van Slobbe & A. Forzoni 2017. Building with Nature pilot Friese IJsselmeerkust. Eindrapportage Building with Nature pilot zandmotor Friese IJsselmeerkust. Deltares rapport 1230636-000, Utrecht.

## Colofon

Utrecht, november 2021

Auteurs: Ruurd Noordhuis & Ellis Penning (Deltares)

Leesgroep: Tom Buijse (Deltares), Nikki Dijkstra (HH De Stichtse Rijnlanden), Marjoke Muller, Luc Jans, Martijn Antheunisse (allen RWS), Hermen Klomp (WS Hunze en Aa's), Gerard ter Heerdt (Waternet)

Te citeren als: Noordhuis, R. & E. Penning (2021) Factsheet: Windwerking in meren: effecten en maatregelen. Notitie Kennisimpuls Waterkwaliteit