

memorandum

PR2160.10

Project : Verkenningsfase validatieonderzoek golfgroeiformule Young & Verhagen
Datum : 3 mei 2011
Onderwerp : Bevindingen verkenningsfase
Van : Andries Nederpel (HKV LIJN IN WATER)
Aan : Henk van Hemert (Stowa)

Verkenningsfase validatieonderzoek golfgroeiformule Young & Verhagen

Inleiding

Voor het toetsen op veiligheid van regionale waterkeringen wordt voor het bepalen van golfbrandvoorwaarden de formule van Young & Verhagen (Y&V) in de Leidraad geïntroduceerd [Stowa 2010]. In de Leidraad is het voornemen opgenomen om in het kader van de ontwikkeling van een definitieve versie van de Leidraad nader onderzoek te doen naar de golfgroeiformule van Y&V. Voor de toepassing in het regionale systeem is het wenselijk om de formule aan de hand van metingen te verifiëren.

Deze notitie beschrijft de bevindingen van de verkenningsfase voor validatie van de formule en heeft tot doel om de invulling van (eventueel) validatie onderzoek naar Y&V vast te stellen.

Deze notitie beschrijft in eerste instantie het gewenste toepassingsgebied van de formule en vervolgt met een beschrijving van golfmetingen en Nederlandse studies en onderzoek naar deze formule op basis van een overleg met de volgende deskundigen:

- Jacco Groeneweg (JG) van Deltares;
- Marcel Bottema (MB) van RWS Waterdienst;
- Gerbrant van Vledder (GvV) van TUDelft;
- Louis Verhagen (LV) van HKV LIJN IN WATER.

Tot slot volgen in deze notitie conclusies en het voorstel tot invulling van het validatie-onderzoek naar Y&V op basis van de overleggen met de deskundigen.

Toepassingsgebied

Doel is de formule toe te passen voor het toetsen en eventueel verbeteren van regionale waterkeringen. Deze waterkeringen zijn gelegen langs boezems of langs regionale rivieren. Deze keringen kennen veiligheidsniveaus met overschrijdingsfrequenties van 1/10, 1/30, 1/100, 1/300 of 1/1.000 per jaar. Het regionale systeem kenmerkt zich door afmetingen van watergangen die enkele meters tot tientallen meters breed zijn en enkele plassen of meren waarbij strijklengtes enkele honderden meters tot enkele kilometers van lengte kunnen zijn. Wind op 10 m hoogte kan aanzienlijk worden gereduceerd als gevolg van de ruwheid van het landschap (bebouwing, vegetatie, kades). De waterdiepte in het regionale systeem varieert in watergangen van een halve tot enkele meters. Op meren kan de waterdiepte van enkele meters oplopen tot, plaatselijk, enkele tientallen meters.

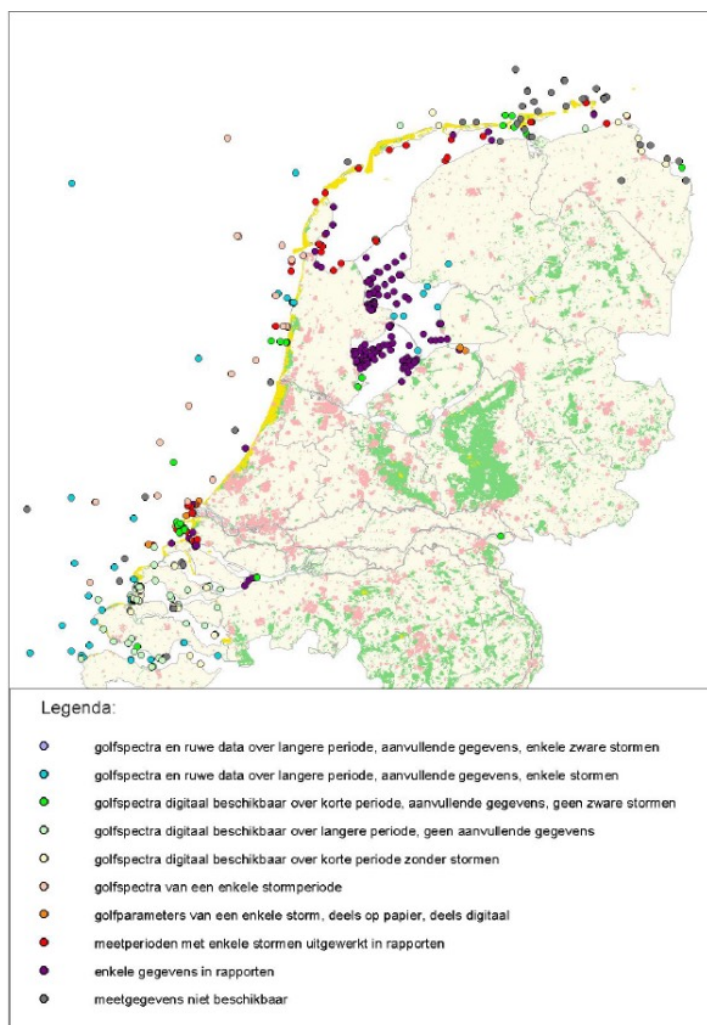
Golfmetingen

Kust en estuaria

Rapport [RIKZ, 2002] geeft een overzicht van golfmetingen in het kustgebied en in de estuaria van 1950 tot 2000. Het rapport geeft een breed scala aan golfmetingen, die ooit zijn verricht voor allerlei verschillende doelen. De hoofdvraag in het rapport was of de metingen ook bruikbaar zijn bij het bepalen van de golfrandvoorwaarden voor het toetsen van de veiligheid van waterkeringen. Aspecten die bij de beoordeling van de bruikbaarheid een rol spelen waren:

- beschikbaarheid van de meetgegevens
- ligging van de meetlocatie met betrekking tot de waterkering
- lengte van de meetreeks
- aanwezigheid van stormen in de meetperiode
- type van de beschikbare golfmeetgegevens
- aanwezigheid van relevante aanvullende gegevens, zoals bodemligging, wind en waterstand

De bruikbaarheid is gekwalificeerd met een schaal van 0 t/m 9. Het rapport stelt dat vanaf klasse 6 à 7 de golfgegevens geschikt zijn om te gebruiken bij het valideren en kalibreren van golfmodellen in voor de golfrandvoorwaarden relevante omstandigheden. Onderstaande figuur, afkomstig uit [RIKZ, 2002], geeft een overzicht van meetlocaties inclusief aanduiding van bruikbaarheid van de data (de legenda toont van boven naar beneden de kwalificatie met schaal 9 tot 0).



Figuur 1: Golfmetingen 1950-2000 uit [RIKZ, 2002]

IJsselmeer en Slotermeer

In het IJsselmeer en het Slotermeer worden sinds 1997 golfmetingen verricht (momenteel door RWS IJsselmeergebied). Doel van deze meetcampagne is het verkrijgen van goed gedocumenteerde wind- en golfmetingen voor een breed bereik aan strijklengte- en harde windcondities met hoogwaterbescherming als primaire toepassing. De periode vanaf 1997 tot begin 2007 is vastgelegd in [RIZA, 2007]. Rapport [RIZA, 2007] vermeldt dat de gegevens bruikbaar zijn voor validatie van onder andere golfmodellen, maar het breed beschikbaar zijn van de data is nog een aandachtspunt. De data is in een beperkte oplage op DVD verspreid en niet beschikbaar in DONAR.

Wieringermeerdijk

Voor zeer korte strijklengtes wordt momenteel een SBW-onderzoek uitgevoerd in opdracht van RWS Waterdienst nabij de Wieringermeerdijk op 800 en 1600m vanaf de dijk in het IJsselmeer. Komende maanden volgen de eerste resultaten.

Nederlandse studies en onderzoek naar golfgroei

De belangrijkste onderzoeken naar golfgroei zijn vastgelegd in drie documenten.

In rapport [RIZA, 2007] is een analyse uitgevoerd naar de golfmetingen op het IJsselmeer en Slotermeer van 1997 tot begin 2007. Doel van de meetcampagne was het verkrijgen van goed gedocumenteerde wind- en golfmetingen voor een breed bereik aan strijklengte- en (harde) windcondities. Jammer is dat dit niet gelukt is, vanwege een uitzonderlijk lange periode zonder zware stormen. De belangrijkste bevindingen zijn:

- Wiskundige extrapolatie van golfklimatologie naar zeldzame extremen leidt makkelijk tot fysisch niet-plausibele resultaten, met name als dieptebependingen een rol gaan spelen.
- Jonge golven (vlak uit de kust) blijken moeilijk voorspelbaar door een grote natuurlijke variabiliteit.

Rapport [Deltares, 2008] onderzoekt de betrouwbaarheid van de toepassing van SWAN in de Waddenzee. Ten behoeve van verbetering van het model zijn in de Waddenzee golfmetingen verricht (Amelander Zeegat). Ten behoeve van kalibratie is daarnaast gebruik gemaakt van data uit experimenten in meren (Lake George, Slotermeer en IJsselmeer). Met betrekking tot golfgroei wordt geconcludeerd dat de formule van Young en Babanin (2006) van toepassing zijn op de dataset van Lake George en het Slotermeer, maar niet voor de complete dataset. Er is data waar de golfmetingen boven de voorspelling van Y&V uitkomen. Er mist nog data in het bereik van zeer hoge windsnelheden en kleine waterdiepten.

In [WL|Delft Hydraulics, Alkyon en TUDelft, 2001] zijn voor Wetterskip Fryslân 15 verschillende parametrische diepwatere golfgroei formules (onder andere Y&V.) vergeleken voor het speciale geval van korte strijklengte (tot 1km) en hoge windsnelheden (respectievelijk 20, 30 en 40 m/s). De golfhoogte uitkomsten voor de verschillende empirische formules vertoonden een zeer grote spreiding. In de meest extreme condities was er een range van bijna een factor 3. In de studie is te zien dat golfgroei van Y&V met toenemende strijklengte achterblijft bij andere formules. Omdat bij de gebruikte formules zowel de fetch als de windsnelheid ver buiten het voor de golfgroei formules gebruikte meetbereik (vermoedelijk > 10 km en < 10 Beaufort) vielen, kan hieruit geconcludeerd worden dat bestaande parametrische golfgroei formules zich niet eenduidig naar condities buiten het voor die formules gebruikte meetbereik laten extrapoleren. In de studie sluit de formule van Wilson (1955) het best aan op het beschouwde toepassingsbereik.

Conclusies

Hieronder volgen conclusies op basis van overleg met deskundigen (besprekingspunten zijn opgenomen in Bijlage 1).

Is er een gevalideerde golfgroeiformule voor toepassing in het regionale systeem?

Er kan worden geconcludeerd dat momenteel geen gevalideerde golfgroeiformule voor korte strijklengtes is. Y&V kan voor dieptegelimiteerde golfcondities op meren van 1 à 2 m diep en vanaf 1 km breed redelijk beschrijven, maar voor het IJsselmeer (diepte circa 4m) geldt dat veel minder. Voor smalle watergangen van orde grootte enkele tientallen meters is geen golfgroeiformule geschikt. Dit komt doordat golfgroeiformules niet zijn afgeleid voor dit type wateren omdat golfgoei wordt gedomineerd door andere factoren.

Is er voldoende data voor validatie-onderzoek naar Y&V?

Er is voldoende data beschikbaar op meren (Slotermeer en IJsselmeer). Er komt bovendien dit jaar nog data beschikbaar van metingen bij de Wieringermeerdijk. Er mist nog wel data voor zeer hoge windsnelheden en kleine dieptes. Voor dit bereik worden metingen verricht in Lake Taihu in China, maar er is nog geen geschikte data beschikbaar. De vraag blijft of deze data bruikbaar is voor validatie; bij typhoons komt de bodem namelijk in suspensie en is min of meer onbekend wat de bodemhoogte is. Voor smalle watergangen is er geen representatieve data beschikbaar. Overigens is deze data ook moeilijk te verkrijgen.

Is noodzakelijk om golfmetingen te verrichten?

Voor meren is er voldoende data beschikbaar en is in eerste instantie niet noodzakelijk om golfmetingen te verrichten. Het uitvoeren van metingen in smalle watergangen lijkt zinvol vanwege het ontbreken van data. De vraag blijft echter hoe bruikbaar uiteindelijk de data zal zijn als er metingen worden verricht. Het is namelijk lastig representatieve maatgevende golfcondities af te leiden. Het is om te beginnen al een lastige opgave om een representatieve wind af te leiden (vanwege beschutte ligging en andere invloedsfactoren zoals gebouwen/bomen etc.). Ook zullen golfmetingen bij stormcondities slecht reproduceerbaar zijn. Er zal een grote variatie blijken, omdat een golfveld soms intact en soms stuk waait onder min of meer dezelfde condities.

Hoe zou het validatie-onderzoek ingevuld kunnen worden?

Het voorstel is te onderzoeken of de beschikbare data van het Slotermeer, IJsselmeer (1997-2007) en de data ter plaatse van de Wieringermeerdijk aansluit op Y&V voor gelimiteerde strijklengte, overeenkomstig met de studie van Deltares [Deltares, 2008]. Hiervoor is noodzakelijk een aantal cases te selecteren met voldoende diversiteit en representativiteit. Gewenst is direct andere gangbare formules (Bretschneider en Kahma-Calkoen) in het onderzoek te betrekken om te onderzoeken welke het beste voldoet. Validatie-onderzoek voor smalle watergangen is vanwege de vele onzekerheden niet zinvol en mogelijk niet haalbaar binnen de gewenste onderzoekstermijn.

Aandachtspunten bij het onderzoek zijn:

- Uit [Deltares, 2008] blijken golfmetingen boven de voorspelling van Y&V uit te komen. De haalbaarheid van het aanpassen van Y&V om de bovengrens op te zoeken moet in het onderzoek worden betrokken.
- Onderzoek naar nut en noodzaak om golven in smalle watergangen nauwkeurig te voorspellen. De vraag is of niet beter een veilige bovengrens kan worden gehanteerd bij golfgroei in smalle watergangen.
- Voor stormcondities in meren van rond/vanaf 4m diep zoals IJsselmeer blijkt de golfgroei met alle bestaande parametrische golfgroeiformules achter te blijven bij de IJsselmeermetingen. Er is (en dat is een nieuw inzicht van Marcel Bottema) dus een probleem met

schaalbaarheid/generieke toepasbaarheid van vooral de parametrische golfgroeiformules met dieptelimitering.

- In golfgroeiformules (In Bretschneider, maar ook in Y&V) blijft onduidelijk welke windsnelheid genomen moet worden. De U10 boven land, of de U10 boven water of ergens na land waar wind weer aantrekt tot hogere snelheden op water? Ook wordt in gevallen de turbulentieschaal U^* gebruikt voor schaling. De keuze van de te hanteren windsnelheid heeft in maatgevende omstandigheden grote invloed op het berekeningsresultaat. Gewenst is dit in het onderzoek in beschouwing te nemen.

Referenties

- [Stowa, 2010] Stowa, Addendum op de leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen betreffende de boezemkaden, ISBN 978.90.5773.481.6, 2010
- [RIKZ, 2002] RIKZ, Inventarisatie Golfmetingen 1950-2000, Werkdocument RIKZ/OS/2002.130x, Januari 2002
- [RIZA, 2007] RWS RIZA, Measured wind-wave climatology Lake IJssel (NL), Main results for the period 1997-2006, Report RWS RIZA 2007.020, 2007
- [Deltares, 2008] Deltares, Observed finite depth wave growth limit in the Wadden Sea, 2008
- [Bottema en Van Vledder, 2008] Marcel Bottema and Gerbrant van Vledder, "Effective fetch and non-linear four-wave interactions during wave growth in slanting fetch conditions, Coastal Engineering, Volume 55, Issue 3, March 2008, Pages 261-275
- [Bottema en Van Vledder, 2009] Marcel Bottema and Gerbrant Ph. van Vledder, A ten-year data set for fetch- and depth-limited wave growth, Coastal Engineering, Volume 56, Issue 7, July 2009, Pages 703-725
- [WL|Delft Hydraulics, Alkyon en TUDelft, 2001] WL|Delft Hydraulics, Alkyon en TUDelft, 2001, Deep Water Wave Growth at Short Fetches for High Wind Speeds, januari 2001

Bijlage 1: Overleg golvendeskundigen

In deze verkenningsfase voor validatie van de golfgroeiformule zijn 4 expert benaderd. In deze bijlage volgen hun bevindingen over de beschikbaarheid en bruikbaarheid van data voor validatie van Y&V en nut en noodzaak naar het uitvoeren van golfmetingen.

Is de beschikbare data bruikbaar voor validatie van Y&V in het regionale systeem (meren)?

- Y&V kan als bovengrens voor Lake George worden aangehouden. Metingen op andere locaties kunnen hier net bovenuit stijgen, maar Bretschneider zal tot hogere uitkomsten leiden. Er mist nog data voor zeer hoge windsnelheden en kleine dieptes. Voor dit bereik worden metingen verricht in Lake Taihu in China, maar er is nog geen geschikte data beschikbaar. Het 'gevoel' is goed bij toepassing van Y&V in het regionale systeem (voor gelimiteerde diepte). Een zelfde analyse zoals in [Deltares, 2008] is wenselijk bij een strijklengtebeperking. Hiervoor is voldoende data beschikbaar. (JG)
- Y&V voor dieptegelimiteerde golfcondities op meren van 1 à 2 m diep (Lake George, Slotermeer) aardig beschrijven, voor het IJsselmeer geldt dat veel minder en voor strijklengtegelimiteerde condities (waar Y&V de golven veel te traag laat toenemen met de wind) nóg minder. (MB)
- De condities voor wateren vanaf 1 km breed laten zich beter voorspellen en sporen vermoedelijk nog redelijk met de bevindingen voor IJsselmeer/Slotermeer zoals beschreven in [RIZA, 2007]. (MB)
- Voor stormcondities in meren van rond/vanaf 4 m diep zoals IJsselmeer blijken alle bestaande parametrische golfgroeiformules achter te blijven bij de IJsselmeermetingen. Er is (en dat is een nieuw inzicht) dus een probleem met schaalbaarheid/generieke toepasbaarheid van vooral de parametrische golfgroeiformules met dieptelimitering. (MB)
- In [WL|Delft Hydraulics, Alkyon en TUDelft, 2001] is voor Wetterskip Fryslan verschillende parametrische diepwatergolfgroeiformules (à la Bretschneider enz.) vergeleken voor het speciale geval van korte strijklengte en orkaanwinden. De golfhoogteuitkomsten voor die condities vertoonden een range van misschien wel een factor 3. Omdat bij de gebruikte formules zowel de fetch als de windsnelheid ver buiten het voor de golfgroeiformules gebruikte meetbereik (vermoedelijk > 10 km en < 10 Beaufort) vielen, moet je hieruit concluderen dat bestaande parametrische golfgroeiformules zich niet eenduidig naar condities buiten het voor die formules gebruikte meetbereik laten extrapoleren. (MB)
- Anders dan bij een 6-7 Beaufort bries maakt het in storm- en met name orkaancondities veel uit of je de golfhoogtes schaalt met de gemiddelde 10-meter-windsnelheid U_{10} , of met de turbulente snelheidsschaal U^* (zie Figuur 6.10 in [RIZA, 2007]). De verschillen in golfhoogte tussen beide schalingskeuzes kunnen oplopen tot 40%. Experts verschillen van mening over welke schaling het beste voldoet, maar feit is dat golfmetingen zelden of nooit zijn uitgevoerd met een robuuste U^* -bepaling uit metingen; als U^* is gerapporteerd dan is die vrijwel altijd afgeleid uit U_{10} met een niet voor die case geverifieerde conversieformule/dragcoëfficiënt. (MB)
- Y&V is een formule, ook gebaseerd op data van Bretschneider, maar ook andere data bij dieptebeperking. Voor ondiepwatercondities vallen termen van diepwater weg en andersom ook. Proeven in NL zijn niet zaligmakend voor validatie. Hier zitten ook beperkingen in, bijvoorbeeld metingen nabij dijk, (on)betrouwbaarheid meetapparatuur. De criteria waar een bruikbaar golvenonderzoek voor validatie aan moet voldoen: metingen van wind en golven en bathymetrie (met scheefstand) op (nagenoeg) zelfde locatie, ijking van meetapparatuur voor en na, metingen ongestoord (bv wind op onvoldoende hoogte of nabij bebouwing is onbruikbaar of golfmetingen nabij oeverconstructie onbruikbaar door ruis), nauwkeurigheid

meetapparatuur (kan met de meetapparatuur voldoende nauwkeurig gemeten worden?), beschikbaarheid van harde data (niet alleen geïnterpreteerde of bewerkte) (LV)

- Bij Lake Taihu in China is de bodemhoogte niet goed bekend. Bij typhoons komt de bodem namelijk in suspensie. Mogelijk is hierdoor deze data niet geschikt voor validatie. (GvV)
- Met aanvulling van de data nabij de Wieringermeerdijs is validatie wellicht mogelijk, maar data is nog niet beschikbaar. (GvV)
- In golfgroeiformules (In Bretschneider, maar ook in Y&V) blijft onduidelijk welke windsnelheid je neemt. De U10 boven land, of de U10 boven water of ergens na land waar wind weer aantrekt tot hogere snelheden op water? Dit heeft grote invloed op het berekeningsresultaat. (GvV)

Is de beschikbare data bruikbaar voor validatie van Y&V in het regionale systeem (smalle watergangen)?

- Als we kijken naar de toepasbaarheid van Y&V in smalle watergangen orde grootte enkele tientallen meters is eigenlijk geen golfgroeiformule geschikt. (GvV)
- Zeker bij smalle wateren worden parametrische formules minder bruikbaar omdat het concept van effectieve strijklengte dan steeds minder opgaat (zie slanting fetch publicatie in [Bottema en Van Vledder, 2008]). Bij gebrek aan metingen durf ik voor kanalen etc. evenmin mijn hand in het vuur te steken voor geavanceerde modellen als SWAN. (MB)
- Vooral de korte golven of kleine/smalle wateren zijn gevoelig voor stroming. De invloed van verhang- of getijgedrevenstroming op golven is goed bekend/modelleerbaar, voor (windgedreven) stromingen die zich bij het wateroppervlak concentreren geldt dat veel minder. (MB)

Aandachtspunten bij uitvoeren van metingen:

- Metingen in smalle kanalen zijn vanwege de grote mate van onzekerheden (wat meet je precies aan golven, hoe meet je de wind) waarschijnlijk niet nuttig. (JG)
- Voor wateren die (veel) smaller zijn dan 1 km is het erg moeilijk representatieve maatgevende golfcondities af te leiden. Zeker bij verdiepte, omdijkte of door andere factoren (bomen/gebouwen) beschutte kanalen is het om te beginnen al een uiterst lastige opgave een representatieve wind af te leiden. Golfmetingen voor zulke condities zijn er amper, en als ze er al zijn zijn ze zeer moeilijk te generaliseren. Daarbij komt dat bij strijklengtes korter dan 1-2 km, golfmetingen bij storm slecht reproduceerbaar zijn: soms blijft een golfveld intact en heb je golven van orde een halve meter, soms waait het golfveld stuk en heb je bijna niets. (zie [RIZA, 2007] en [Bottema en Van Vledder, 2009]). (MB)
- Voordat je veel geld in metingen/modellen stopt moet je je afvragen hoe belangrijk het überhaupt is golven in kanalen en andere zeer smalle wateren nauwkeurig te meten. Kan en moet je golven van 0,5 meter of minder - gegeven de overige veiligheidsaspecten in dijken en kades - dan echt tot op de decimeter nauwkeurig weten. En is voor zulke smalle wateren (zeker als ze niet erg diep zijn) de vereiste kadehoogte niet evenzeer bepaald door bijv. opwaaiingseffecten (stationair in een waterboezem, of instationair door resonante seiche-achtige effecten) en reguliere waterstandvariaties. En als je toch gaat meten, weet je dan wel écht wat je meet, kortom ben je voldoende zeker dat alles wat je meet generaliseerbaar is. (MB)
- Als je uiteindelijk gaat monitoren, moeten regionale en landelijke metingen van resp Waterschappen en RWS dan niet afgestemd worden. Bijvoorbeeld intern RWS via Peter Heinen (RWS WD, WGML, monitoring) en Kees Wulffraat (RWS WD, WGKI, meetbehoefte), en daarnaast wellicht via het Informatiehuis Water. (MB)
- Op een circa rond meer (a la Braassemmeer) of een van de Friese meren, meerdere golfmeters in kruisvorm in alle hoofdwindrichtingen (NOZW), niet meten op smal kanaal (teveel ruis), wind meten op meerdere hoogtes, liefs direct op meer, metingen uitvoeren in 1

stormseizoen. Bij onvoldoende data mogelijkheid tot loskoppelen van apparatuur in voorjaar en herbruikbaarheid in volgende stormseizoen (denk aan herijking!), denk aan vandalisme (bv bordje met "proeven" en 6x2volts accu). (LV)

- Als je wilt gaan meten is belangrijk dat wat je wilt meten je ook gaat meten (hoe nauwkeurig is je meetapparatuur?) (GvV)
- Bij uitvoeren van een meetcampagne voor validatie moet je al snel denken aan 3 stormseizoenen (GvV)
- Wind op verschillende locaties meten om inzicht te krijgen in land en windrelaties (GvV).

Overige aandachtspunten

- Er is een (concept) afstudeervoorstel op de TU Delft waarin het de bedoeling is dat alle onzekerheden met betrekking tot golfgroei in smalle bekkens worden beschouwd en wordt nagaan welke beperkingen er zijn in golfgroeiformules. Hiervoor is ook data gewenst uit smalle lange bekkens (gewenst is om over metingen te beschikken in Haringvliet of nieuwe Waterweg). Mogelijk is koppeling met dit onderzoek mogelijk. (GvV)