

Quickscan Modelonzekerheden Golfbelasting Markermeer

Caroline Gautier
Joana van Nieuwkoop

1220082-007

Titel

Quickscan Modelonzekerheden Golfbelasting Markermeer

Opdrachtgever RWS-WVL	Project 1220082-007	Kenmerk 1220082-007-HYE-0002	Pagina's 22
---------------------------------	-------------------------------	--	-----------------------

Trefwoorden

modelonzekerheden, SWAN, HISWA, Markermeer, WTI2017

Samenvatting

Voor de golven op het Markermeer worden voor WTI2017 geen nieuwe productieberekeningen uitgevoerd, maar wordt gebruik gemaakt van de bestaande HYDRA-database. Voor de overstap van de overschrijdingskansbenadering naar de overstromingskansbenadering in 2017 zijn o.a. modelonzekerheden nodig, in de vorm van het gemiddelde (μ) en de standaardafwijking (σ) van de relatieve verschillen. De huidige studie heeft als doel de modelonzekerheden voor het Markermeer te bepalen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen de golfrandvoorwaarden afgeleid met SWAN versie 40.31 (IJburg) en HISWA (Markermeer).

Voor SWAN zijn daartoe bestaande vergelijkingsstudies van modelberekeningen en metingen op het Slotermeer en IJsselmeer beschouwd. Ook zijn er additionele modelberekeningen uitgevoerd uit de SWIVT database, met instellingen gelijk aan die van de HR berekeningen. De relevante situaties voor het Markermeer zijn geselecteerd, en er is één gecombineerde dataset gecreëerd, bestaande uit 26 datapunten. Op grond daarvan zijn de modelonzekerheden voor SWAN op het Markermeer bepaald.

Voor HISWA zijn geen geschikte studies bekend van metingen en modelresultaten op het Markermeer. Wel is een beperkte vergelijking beschikbaar in Gao (2004), maar de resultaten zijn alleen beschikbaar in scatterplots, en niet in de benodigde μ en σ . In de huidige studie schatten wij de μ en σ op basis van de scatterplots. Daarnaast vergelijken we voor een aantal locaties op het Markermeer HISWA productieberekeningen voor HR2001 met SWAN productieberekeningen voor HR2006. Daarmee zijn de onzekerheden van HISWA ten opzichte van SWAN te bepalen. Met behulp van de eerder bepaalde onzekerheden van SWAN zijn deze vervolgens door te vertalen naar onzekerheden van HISWA ten opzichte van de werkelijkheid.

	H_s		$T_{m-1,0}$		T_p	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
SWAN (voor IJburg)	-0.05	0.11	+0.04	0.08	-0.04	0.05
HISWA (voor Markermeer)	-0.02	0.20	+0.16*	0.11*	+0.16	0.11

Onzekerheden SWAN en HISWA op het Markermeer t.b.v. WTI 2017

**)De cursief gedrukte waarden van HISWA voor $T_{m-1,0}$ zijn rechtstreeks overgenomen van T_p*

Titel
 Quicksan Modelonzekerheden Golfbelasting
 Markermeer

Opdrachtgever RWS-WVL **Project** 1220082-007 **Kenmerk** 1220082-007-HYE-0002 **Pagina's** 22

Summary

No new production runs will be done for WTI2017 for waves on the Markermeer. Instead, the existing HYDRA-databases will be used. For the transition in 2017 from a probability of exceedence approach to an approach based on the probability of flooding, information on uncertainties is required: the mean (μ) and standard deviation (σ) of the relative errors. The present study's objective is to determine the uncertainties of the Markermeer wave computations. A distinction is made between the wave conditions determined with SWAN version 40.31 (IJburg) en HISWA (Markermeer).

To determine the uncertainty of the computations with SWAN version 40.31, a comparison has been made between model computations and measurements at Lake Sloten and Lake IJssel. Additionally, model computations have been done with Lake IJssel cases from the SWIVT database and settings comparable to the HR computations. Relevant cases have been selected for the Markermeer and have been combined to create one dataset, comprising 26 datapoints.

No suitable model-measurement comparisons have been found for the HISWA wave model on the Markermeer. One HISWA verification based on results of Gao (2004) can be used as a rough approximation, as only the scatterplots are available and not the necessary μ and σ statistics. In addition, the HISWA productions runs for HR2001 are compared to the SWAN production runs for HR2006 at a number of locations. The uncertainty of HISWA in relation to SWAN has been determined with this comparison. Subsequently, this uncertainty has been translated to an uncertainty of the HISWA results using the uncertainty in the SWAN results.

	H_s		$T_{m-1,0}$		T_p	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
SWAN (for IJburg)	-0.05	0.11	+0.04	0.08	-0.04	0.05
HISWA (for Markermeer)	-0.02	0.20	+0.16*	0.11*	+0.16	0.11

Uncertainties SWAN en HISWA on the Markermeer for WTI 2017

*)The HISWA values for $T_{m-1,0}$ marked in italic have been copied directly from T_p

Referenties

WTI projectplan 2015 Cluster 1 Hydraulische Belastingen

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1	apr. 2015	Caroline Gautier		Hans de Waal		Marcel van Gent	
2	apr. 2015	Caroline Gautier		Hans de Waal		Marcel van Gent	
3	mei.2015	Caroline Gautier		Hans de Waal		Marcel van Gent	

Status
 definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Achtergrond en probleembeschrijving	1
1.3 Doelstelling	2
1.4 Aanpak	2
1.5 Leeswijzer	4
2 Onzekerheden Markermeer	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Onzekerheden SWAN Markermeer	6
2.2.1 Aanpak	6
2.2.2 Samenstellen dataset	6
2.2.3 Onzekerheidsschattingen o.b.v. samengestelde dataset	7
2.2.4 Beperkingen	8
2.3 Onzekerheden HISWA Markermeer	8
2.3.1 Aanpak	8
2.3.2 HISWA versus metingen (Spoor 1)	9
2.3.3 HISWA versus SWAN (Spoor 2)	10
2.3.4 Resultaat HISWA onzekerheden	11
2.4 Onzekerheden in relatie tot bestaande onzekerheden	12
2.5 Indicatie geschiktheid wind transformatie	12
2.5.1 Inleiding en doelstelling	12
2.5.2 Beschrijving methode windvelden Markermeer	13
2.5.3 Overzicht bestaande literatuur m.b.t. consistentie windvelden IJsselmeer-Markermeer	14
2.5.4 Analyse opwaaiing Markermeer in relatie tot IJsselmeer	15
2.5.5 Toegepaste windvelden productieberekeningen Markermeer	17
2.5.6 Toegepaste windvelden productieberekeningen IJburg	17
2.5.7 Toegepaste windvelden Eemvallei	18
2.5.8 Conclusie geschiktheid windvelden Markermeer	18
3 Conclusies	19
4 Referenties	21
Bijlage(n)	
A Definitie statistische parameters	A-1
B Figuren	B-1
Fig B.2.1 Scatterplots SWAN vs metingen H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_p	
Fig B.2.2 Scatterplots SWAN huidige studie vs SWAN W+B H_{m0} , $T_{m-1,0}$, T_p	
Fig B.2.3 Scatterplots HISWA vs metingen H_{m0} , T_p ; HOZ en RDH	
Fig B.2.4 Ligging controle locaties SWAN / HISWA	
Fig B.2.5 Scatterplots HISWA vs SWAN, H_{m0}	
Fig B.2.6 Scatterplots HISWA vs SWAN, T_p	

Fig B.2.7 Verhang uit HR2001/2006 databases als functie van windsnelheid

C Bepalen $\sigma_{\text{HISWA obs}}$ o.b.v. $\sigma_{\text{HISWA SWAN}}$ en $\sigma_{\text{SWAN obs}}$ ("Spoor 2") C-1

D Potentiële windsnelheden op Markermeer windrooster (uit van Haaren (1997)) D-1

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Voor het Markermeer worden voor WTI2017 geen nieuwe productieberekeningen uitgevoerd, maar wordt gebruik gemaakt van de bestaande HYDRA-M database, die is gevuld met resultaten van HISWA-, SWAN- en Bretschneiderberekeningen die ten grondslag liggen aan de HR2001 en HR2006.

In 2017 wordt de overstap van de overschrijdingskansbenadering naar de overstromingskansbenadering gemaakt. Daartoe zijn o.a. modelonzekerheden nodig, in de vorm van het gemiddelde (μ) en de standaardafwijking (σ) van de relatieve verschillen (zie definitie Appendix A).

Het voorliggende rapport geeft de modelonzekerheden voor het Markermeer en beschrijft hoe ze zijn bepaald. Bij gebrek aan recente productieberekeningen voor dit gebied en vanwege beperkte tijd, dient deze studie gezien te worden als een 'quickscan'.

1.2 Achtergrond en probleembeschrijving

Onzekerheden worden over het algemeen onderverdeeld in twee belangrijke hoofdgroepen: inherente onzekerheid en kennisonzekerheid. Het ligt echter in de bedoeling dat er in WTI-2017, naast inherente onzekerheid ook kennisonzekerheid, uitgesplitst naar statistische en modelonzekerheid, zal worden geïmplementeerd.

Het type modelonzekerheid betreft de onzekerheid die wordt geïntroduceerd in de relatie tussen de basisstochasten (wind, afvoer etc.) enerzijds en de lokale hydraulische condities (waterstanden, golven) anderzijds. De modellen die gebruikt worden binnen het toetsinstrumentarium om de golfbelasting te bepalen zijn SWAN, HISWA en Bretschneider.

Voor kustgebieden, (rand)meren en de brede delen van het rivierengebied (Haringvliet, Hollands Diep, Biesbosch, Ketelmeer, Zwartemeer en Vossemeer) wordt SWAN (versie 40.72 met WTI-2011 instellingen) gebruikt. De bepaling van modelonzekerheid als gevolg van toepassing van SWAN is verdeeld over een tweetal studies. In Deltares (2013a) zijn de modelonzekerheden bepaald voor toepassing in kustwatersystemen en meren. In Deltares (2013b) is de SWAN modelonzekerheid bepaald voor typisch korte strijklengtes, zoals deze in de brede wateren van het rivierengebied voorkomen. Deze waarden voor de modelonzekerheden zijn in Deltares (2014b) aangepast door toevoeging van resultaten van hindcasts van een aantal recente stormen. De waarden uit laatstgenoemde studie zullen dan ook gebruikt worden voor het Haringvliet, Hollands Diep, Biesbosch, Ketelmeer, Zwartemeer en Vossemeer. De onzekerheden van het gebruik van Bretschneider in het bovenrivierengebied zijn weergegeven in Deltares (2015).

Tabel 1.1 (overgenomen uit Deltares, 2015) geeft een overzicht van de modelonzekerheden van de golfbelasting voor de verschillende hoofdsystemen. Een aantal cellen voor de onzekerheidsparameters voor golfperiodematen is in de tabel is niet gevuld. Indien om welke reden dan ook gewenst is een onzekerheidsschatting voor deze parameters te verkrijgen, stellen we voor dezelfde waarden te hanteren als voor de periodemaat waarvoor deze wel beschikbaar is. Dit is een redelijk veilige keuze, omdat de bias en standaardafwijking klein zijn en we geen reden hebben aan te nemen waarom de waarde voor de andere parameter groot zou zijn (Deltares, 2015).

De in Tabel 1.1 getoonde onzekerheden zijn niet direct van toepassing op het Markermeer aangezien andere modellen of modelversies/modelinstellingen zijn gebruikt. Voor het Markermeer zijn voor de HR2001 golfrandvoorwaarden afgeleid met het golfmodel HISWA. Deze randvoorwaarden zijn hergebruikt voor de HR2006 met een update voor IJburg (uitgevoerd met SWAN versie 40.31) en de Eemvallei (bepaald met Bretschneider).

Hoofdsysteem	H_{m0}		$T_{m-1,0}$		T_p	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Kust, IJsselmeer	-0,01	0,19	-0,04	0,11	-	-
Brede wateren in rivierengebied/randmeren	-0,06	0,15	-0,11	0,04	-0,01	0,07
Smalle wateren in rivierengebied	-0,04	0,27	-	-	0,03	0,13

Tabel 1.1 Modelonzekerheden significante golfhoogte H_{m0} en periodematen $T_{m-1,0}$ en T_p voor drie gedefinieerde hoofdsystemen: gemiddelde (μ) en standaardafwijking (σ) van de relatieve verschillen. Een negatieve waarde van het gemiddelde geeft een onderschatting van de werkelijkheid door het gehanteerde model weer.

Naast het feit dat de in Tabel 1.1 genoemde onzekerheden voor andere modellen/modelversies zijn afgeleid dan de modellen die gebruikt zijn voor het Markermeer, hebben delen van het Markermeer ook andere gebiedskenmerken dan die van de genoemde drie hoofdsystemen. Op het grootste deel van het Markermeer is de strijklengte weliswaar vergelijkbaar met het IJsselmeer, maar is de waterdiepte kleiner. Het Gooi- en Eemmeer is een stuk smaller en IJburg wordt gekenmerkt door eilanden met smalle wateren. De Eemvallei is over het algemeen bochtiger dan de smalle wateren waarvoor de onzekerheid reeds is afgeleid. Het hangt af van de beschikbare gegevens (validatiestudies, metingen, kennis) in hoeverre met beide aspecten (model- en watersysteemverschillen) rekening gehouden kan en moet worden.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze studie is om op een pragmatische wijze de modelonzekerheden (relatieve bias μ en relatieve standaard deviatie σ) te bepalen van de golfrandvoorwaarden in het Markermeer en de Eemvallei voor de golfhoogte en de golfperiode ($T_{m-1,0}$ en/of T_p). Onzekerheden in golfrichting worden door Hydra-Ring niet beschouwd, en zijn dus ook geen onderdeel van de huidige studie. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de golfrandvoorwaarden afgeleid met:

- (1) SWAN versie 40.31 (IJburg)
- (2) HISWA,
- (3) Bretschneider (Eemvallei).

1.4 Aanpak

Om te beginnen achterhalen wij in bestaande literatuur de manier waarop de golfberekeningen ter bepaling van de hydraulische randvoorwaarden op het Markermeer zijn uitgevoerd. Het gaat daarbij o.a. om model, modelversie, aansturing en instellingen. Vervolgens zoeken wij naar bestaande validatiestudies die relevant zijn voor de gehanteerde modellen.

Voor SWAN maken we gebruik van bestaande vergelijkingen tussen modelresultaten en metingen op zowel het Slotermeer als het IJsselmeer (Witteveen + Bos, 2004). Daarnaast voeren we additionele hindcasts uit op basis van de SWIVT database. We selecteren daarbij cases die enigszins representatief zijn voor IJburg, en combineren bovenstaande bronnen tot een dataset waarmee de modelonzekerheden berekend kunnen worden.

Voor HISWA zijn geen geschikte studies bekend van metingen en modelresultaten op het Markermeer. Wel is een beperkte vergelijking beschikbaar waarbij gebruik gemaakt is van een vertaalmatrix van voorgedefinieerde HISWA berekeningen in Gao (2004), maar de resultaten zijn alleen beschikbaar in scatterplots, en niet in de benodigde μ en σ . In de huidige studie schatten wij de μ en σ op basis van de scatterplots. Daarnaast vergelijken we voor een aantal locaties op het Markermeer HISWA productieberekeningen voor HR2001 met SWAN productieberekeningen voor HR2006. Daarmee zijn de onzekerheden van HISWA ten opzichte van SWAN te bepalen. Met behulp van de eerder bepaalde onzekerheden van SWAN zijn deze vervolgens door te vertalen naar onzekerheden van HISWA ten opzichte van de werkelijkheid.

Het is niet realistisch om te verwachten dat wij voor de Eemvallei - berekend met Bretschneider – betere onzekerheidsschattingen kunnen afgeven dan de modelonzekerheden die reeds zijn afgeleid voor golven op smalle wateren, bepaald met Bretschneider (Deltares, 2015). Daarom bevelen we aan om voor de met Bretschneider berekende golven op het Markermeer de onzekerheden te hanteren die gegeven zijn in Deltares (2015). In de huidige rapportage zijn ze opgenomen in Tabel 3.1.

In deze studie ligt de nadruk op de vergelijking van modeluitkomsten met metingen. Daarmee is een aanzienlijk deel van de onzekerheden bepaald. Er zijn echter nog meer aspecten zoals o.a. onzekerheden in de modelinvoer van de productieberekeningen (windsnelheid, windrichting, bodemligging). Zo is bijvoorbeeld in deze studie geen rekening gehouden met het feit dat Hydra-Ring uitgaat van potentiële windsnelheid bij Schiphol, die omgerekend wordt naar een open-water windsnelheid. Het negeren van onzekerheden en in het bijzonder de biases in de windmodellering is voornamelijk onvermijdelijk omdat over de juiste vertaling van potentiële wind naar open water nog onvoldoende bekend is. Daar wordt wel aan gewerkt binnen WTI2017, maar de resultaten zullen niet meer meegenomen kunnen worden voor de HR2017. Overigens geldt dit probleem niet alleen voor het Markermeer, maar feitelijk voor alle watersystemen waar de maatgevende wind harder is dan het meetbereik waardoor empirische relaties ontbreken. Onze inschatting is dat de gepresenteerde modelonzekerheden het grootste deel van de totale onzekerheden dekken.

De insteek is om een zo realistisch mogelijke inschatting van de onzekerheden te geven, waar zinvol en mogelijk rekening houdend met de lokale (of deelregionale) gebiedskenmerken. Er is o.i. echter voor dit watersysteem onvoldoende grond (kennis, meetgegevens) om naar locatie of deelregio te differentiëren. Om geen schijnnaauwkeurigheid te introduceren kiezen we (per model) voor één schatting van de onzekerheden voor het hele watersysteem.

In de statistische vergelijking zijn we ervan uitgegaan dat de meetgegevens de werkelijkheid weergeven. In werkelijkheid bevatten de meetgegevens ook onzekerheden. Voor de volledigheid maken wij hier melding van de “opklotsfout” in een deel van de meetgegevens, waar wij echter niets mee doen. Recent is geconstateerd dat de paal waaraan het meetinstrument bevestigd is de golven (eigenlijk: het wateroppervlak) kan doen opstuwen zodat niet het zuivere golfsignaal wordt gemeten (“opklotsfout”). Deze fout is maximaal als de golven het instrument (schuin) van voren naderen, en kan orde 10% in golfhoogte bedragen (TU Delft, 2012). Omdat bij de oude metingen niet bekend is hoe de oriëntatie van het instrument was, is hiervoor niet eenvoudig te compenseren. Dit betekent dat er wellicht een overschatting in de metingen zit, die wij verder niet kwantificeren. Dit speelt mogelijk zowel bij capstaven als bij stappenhaken. De meeste metingen die in deze studie beschouwd worden,

zijn uit het tijdvak 1983-2003, toen er nog niet met Etrometa-stappenbaken werd gemeten op het IJsselmeer maar met capstaven. Bij FL2 is tot 2000 met een stappenbaak gemeten (type Marine 300).

Tenslotte wijzen we erop dat deze studie een quickscan betreft. Met meer inspanning – waar overigens geen tijd voor is - zouden wellicht onduidelijke zaken nader uitgezocht kunnen worden, maar dat zal niet opwegen tegen een alternatief als nieuwe en consistente productieberekeningen.

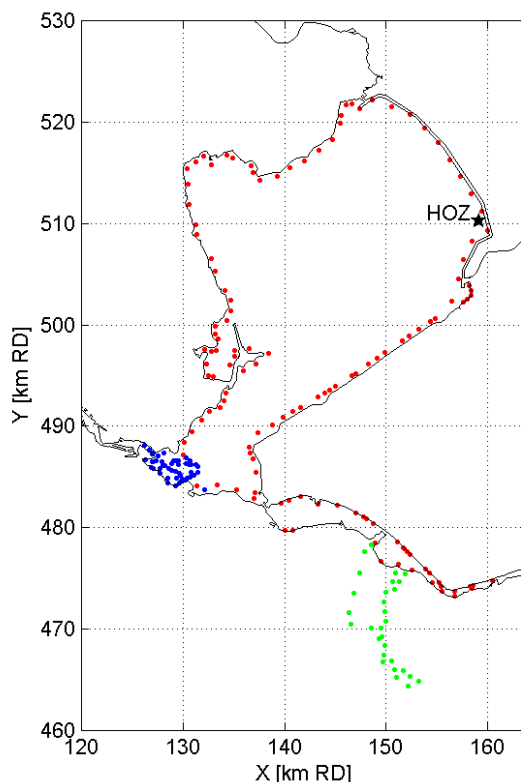
1.5 Leeswijzer

Na het inleidende Hoofdstuk 1 wordt in Hoofdstuk 2 voor zowel SWAN als HISWA een overzicht gemaakt van de beschikbare validatiedata en wordt op een pragmatische wijze uit deze informatie een onzekerheid afgeleid. Tot slot worden in Hoofdstuk 3 conclusies gegeven, inclusief het overzicht van de gevonden onzekerheden.

2 Onzekerheden Markermeer

2.1 Inleiding

Voor het Markermeer worden voor WTI2017 geen nieuwe golfberekeningen uitgevoerd, maar wordt gebruik gemaakt van de bestaande Hydra-M database behorend bij de HR2006. Figuur 2.1 geeft een overzicht van de HR locaties en de gebruikte modellen.



Figuur 2.1 Overzicht HR-locaties Markermeer

rood: HISWA HR2001; blauw: SWAN-IJburg HR2006; groen: Bretschneider-Eemvallei HR2006

Op het grootste deel van de HR locaties op het Markermeer zijn de golven met HISWA bepaald. De berekeningen zijn oorspronkelijk voor HR2001 uitgevoerd. Voor de HR2006 zijn SWAN-berekeningen voor IJburg gedaan en Bretschneider-berekeningen voor de Eemvallei.

Sectie 2.2 behandelt de onzekerheden van de SWAN resultaten voor IJburg. Sectie 2.3 gaat in op de onzekerheden van de HISWA resultaten. De onzekerheden van de Bretschneider resultaten in de Eemvallei worden geacht gelijk te zijn aan de onzekerheden die gehanteerd worden voor Bretschneiderresultaten elders, zoals bepaald in Deltares (2015). Dit is een praktische aanname die voorbij gaat aan het feit dat de golven zich op de smalle bochtige Eem mogelijk anders gedragen dan in de gebieden waar de Bretschneider onzekerheden voor zijn afgeleid. Naar verwachting is op korte termijn geen betere schatting van de Bretschneider-onzekerheden te geven.

2.2 Onzekerheden SWAN Markermeer

2.2.1 Aanpak

Binnen het Markermeer zijn met SWAN voor HR2006 alleen voor IJburg golfrandvoorwaarden bepaald, en die berekeningen worden ook gebruikt voor het WTI van 2017. De berekeningen zijn uitgevoerd door Witteveen+Bos en ze zijn beschreven in WL (2005). De SWAN-versie is 40.31ABCDEFGF, en de berekeningen zijn uitgevoerd met een gereduceerd Markermeermodel in combinatie met een detailnest (resolutie 20 m x 20 m) van IJburg. Een belangrijke instelling betreft $\text{powst}=2$ in de whitecapping formulering, wat destijds niet de default waarde was (in de huidige SWAN-versie 40.91 en ook al eerder, is de defaultwaarde voor powst wel 2). De SWAN resultaten zijn gecorrigeerd voordat ze in de Hydra database zijn opgenomen. De correctiefactoren betreffen 0.964 voor H_{m0} , 1.022 voor T_p en 1.025 voor $T_{m-1,0}$. Het is dus zaak om de onzekerheid te bepalen van op deze manier berekende golven.

Er zijn drie bronnen gevonden om als basis te dienen om de modelonzekerheid voor SWAN nabij IJburg te bepalen.

- 1) Beschouw de vergelijking tussen SWAN en metingen op het Slotermeer (Witteveen+Bos, 2004).
- 2) Beschouw de vergelijking tussen SWAN en metingen op het IJsselmeer (Witteveen+Bos, 2004)
- 3) Additionele hindcasts van IJsselmeer cases uit de SWIVT database.

Uit deze drie bronnen selecteren we cases die enigszins representatief zijn voor IJburg en combineren die tot een dataset waarmee de modelonzekerheden berekend kunnen worden. Omdat er geen golfmetingen beschikbaar zijn in wateren met een typisch IJburg karakter (smalle wateren tussen eilanden), is het niet mogelijk om de modelonzekerheid specifiek voor IJburg te bepalen. In de selectie van cases zoeken we naar condities met vergelijkbare strijklengtes voor de oostkant van IJburg (orde 30 km) en hoge windsnelheden (>15 m/s).

Hoewel de studie van Gao (2004) ook SWAN-resultaten met metingen op het Markermeer en IJsselmeer vergelijkt, laten we deze toch achterwege omdat de daarin gepresenteerde vergelijking geen directe hindcasts betreft, maar interpolatie binnen een matrix van voor-gedefinieerde condities. Bovendien is met andere SWAN-instellingen gerekend dan voor de HR2006.

2.2.2 Samenstellen dataset

- Slotermeer (Witteveen+Bos, 2004)

In Witteveen+Bos (2004) worden metingen en rekenresultaten gegeven voor vier Slotermeercases uit oktober en februari 2002, op één meetpunt: SL29. Hier worden zowel de golven als de wind gemeten, dus de windsnelheid betreft de lokale windsnelheid. Om relevant te zijn voor maatgevende condities, selecteren we alleen de cases SL-A, SL-B en SL-C, omdat de open water windsnelheid alleen op die momenten 15 m/s of meer bedroeg. De berekeningen zijn destijds gedaan met SWAN4031ABCDEFGF met instellingen zoals gebruikt voor de IJburg berekeningen, behalve dat voor IJburg de resolutie hoger was. De strijklengte op het Slotermeer is maximaal 4.5 km, dus beduidend minder dan de 30 km waarover de wind op het Markermeer kan waaien. Toch nemen we deze cases mee, omdat de dominante golfphysica in het Slotermeer vanwege de – net als in het Markermeer - beperkte waterdiepte wel relevant is voor het Markermeer.

- IJsselmeer (Witteveen+Bos, 2004)

In Witteveen+Bos (2004) zijn ook zes IJsselmeercases doorgerekend met SWAN4031ABCDEFG. Omdat de cases niet allemaal relevant zijn en niet alle uitkomsten zijn te achterhalen, maken we een selectie en voeren de berekeningen opnieuw uit met de waarden uit Bottema, 2007. Daartoe gebruiken we SWAN4072ABCDE, maar met de instellingen gelijk aan die van de HR2006 (die zijn ook gelijk aan de berekeningen uit Witteveen+Bos (2004)). Het gaat om cases Y-A (2 okt 1999; locaties FL2, FL5, FL9), Y-B (27 okt 2002; locaties FL2, FL5, FL9) en Y-D (2 apr 2003; locaties FL2 en FL26), met windsnelheden variërend tussen 15.1 en 23.8 m/s. Voor drie cases konden we de SWAN-resultaten vergelijken met de resultaten van Witteveen+Bos (2004). De verschillen – waarschijnlijk ontstaan vanwege een ander grid, een andere SWAN versie, gecorrigeerde wind en gecorrigeerde meetdata uit Bottema (2007) – zijn klein, zie Fig B.2.2. Tabel 2.1 toont voor de gebruikte cases welke golfmetingen beschouwd worden en welke windsnelheid gebruikt is in de simulaties. Deze informatie geeft aan dat – anders dan in de productieberekeningen die ten grondslag liggen aan de HYDRA databases – niet met potentiële windsnelheid bij Schiphol is gerekend, maar met lokale open-water wind.

	FL2	FL5	FL9	FL26	U ₁₀ [m/s]	Station waar gebruikte U ₁₀ van afkomstig is
Y-A	v	v	v		15.2	?
Y-B	v	v	v		23.2	FL2
Y-D	v			v	14.6	FL2
IJB	v	v	v		18.8	FL2
IJG	v	v	v		19.9	FL2
IJH	v	v	v		18.3	gemiddelde van FL2 en FL26
IJK	v	v	v		22.4	FL37
IJL	v	v	v		23.5	gemiddelde van FL26 en FL37

Tabel 2.1 Overzicht van beschouwde golfmetingen en afkomst van de gehanteerde windsnelheid in de simulaties

- Vijf additionele IJsselmeer SWIVT cases

Om de dataset groter te maken en daarmee de betrouwbaarheid te vergroten, zijn vijf cases uit de SWIVT database opnieuw doorgerekend en toegevoegd. Het gaat om IJB (22 feb 2002 4:00), IJG (8 jan 2005), IJH (12 feb 2005), IJK (18 jan 2007) en IJL (18 jan 2007), alle met de locaties FL2, FL5 en FL9. Dit zijn alle IJsselmeercases met strijklengte groter dan 10 km en een windsnelheid hoger dan 15 m/s die in SWIVT beschikbaar zijn, en niet al gebruikt zijn in Witteveen + Bos, 2004. Ook deze cases zijn doorgerekend met SWAN4072ABCDE, met de instellingen gelijk aan die van de IJburg berekeningen.

2.2.3 Onzekerheidsschattingen o.b.v. samengestelde dataset

De SWAN uitkomsten van bovengenoemde cases zijn op dezelfde wijze gecorrigeerd als de SWAN uitkomsten voor de HR2006, namelijk een factor 0.964 voor H_{m0} , 1.022 voor T_p en 1.025 voor $T_{m-1,0}$. De resultaten zijn weergegeven als scatterplots in Figuur B.2.1 in Appendix B. In totaal zijn er 26 datapunten.

De Slotermeer cases geven duidelijk de kleinste waarden voor golfhoogte en periode. Voor golfhoogte is de score wel vergelijkbaar met de IJsselmeercases, maar voor de periode $T_{m-1,0}$ vertoont SWAN op het Slotermeer een onderschatting, en op het IJsselmeer in de meeste gevallen een overschatting. Er is geen onderscheid in het modelgedrag van de additionele SWIVT cases (blauwe markers) en de IJsselmeercases van Witteveen+Bos (2004) (rode markers). Qua locaties blijkt FL5 over het algemeen de grootste onderschatting in golfhoogte

te laten zien, en de grootste overschatting in $T_{m-1,0}$. Voor de overige locaties is de modelscore niet duidelijk locatie- afhankelijk.

De statistische scores voor relatieve bias en relatieve standaarddeviatie zijn weergegeven in Tabel 2.2.

	H_s		$T_{m-1,0}$		T_p	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Samengestelde set	-0.05	0.10	+0.04	0.08	-0.04	0.05

Tabel 2.2 Statistische scores SWAN op basis van samengestelde dataset (26 datapunten), relevant voor IJburg

2.2.4 Beperkingen

In deze onzekerheidsstudie zijn we afhankelijk van beschikbare metingen en cases, die niet optimaal zijn. De statistische scores gepresenteerd in Sectie 2.2.3 betreffen situaties met harde wind (> 15 m/s) en strijklengtes in de orde van 20 km. Dat is relevant voor de oostzijde van IJburg. De modelonzekerheid tussen de eilanden van IJburg is mogelijk groter, omdat daar ook processen als diffractie een rol spelen. Vanwege het ontbreken van meetgegevens tussen de eilanden, kunnen we daar geen uitspraak over doen, en raden we aan om de gevonden statistische scores van Tabel 2.2 voor heel IJburg te hanteren.

De SWAN-berekeningen bij IJburg voor HR2006 zijn met een hoge resolutie (20 m x 20 m) uitgevoerd om de golfvoortplanting tussen de eilanden goed weer te kunnen geven. De hindcasts waarop de statistische scores gebaseerd zijn, zijn met een grovere resolutie uitgevoerd (160 m x 160 m IJsselmeer en 40 m x 40 m Slotermeer) die voor de beschouwde gebieden geschikt is. Het is echter mogelijk dat de gevonden onzekerheden kleiner zouden zijn indien de rekenroosters fijner waren, zoals in SWAN-IJburg. Ook het toepassen van de nestoptie, zoals gedaan is bij de berekeningen van SWAN-IJburg kan invloed hebben op de modelonzekerheden. De gebruikte validatiecases maken geen gebruik van de nestoptie. Het effect van beide items is echter niet te kwantificeren, en daarom raden we aan om de gevonden statistische scores van Tabel 2.2 ook voor de hoge resolutie berekeningen van IJburg te hanteren.

De hindcasts zijn uitgevoerd met de windsnelheid die in de SWIVT-database gegeven is, ofwel U_{10} op open water.

In de SWAN HR-berekeningen voor IJburg zijn de eilanden van IJburg geschematiseerd volgens de destijds te verwachten eindsituatie. Intussen is de bouw van IJburg nog niet zo ver, en is de eindsituatie onbekend. Het effect van een mogelijk verschil tussen de gerealiseerde ligging en de gesimuleerde ligging van de eilanden van IJburg is niet opgenomen in de hier gepresenteerde waarden voor de onzekerheden. In dit advies gaan wij er van uit dat hiermee rekening gehouden wordt in de selectie van uitvoerpunten.

2.3 Onzekerheden HISWA Markermeer

2.3.1 Aanpak

De HISWA berekeningen voor het Markermeer zijn oorspronkelijk voor de HR2001 uitgevoerd, maar de resultaten worden ook voor HR2017 gebruikt. Volgens het Randvoorwaardenboek 2001 komen de methoden voor het Markermeer en het IJsselmeer met elkaar overeen en is één set parameters gebruikt, maar betreft het Markermeer 216 berekeningen (3 meerpeilen, 12 windrichtingen, 6 windsnelheden) en het IJsselmeer 540.

Gao (2004) en de Waal et al (1999) geven de RIZA-97 instellingen die gebruikt zijn voor de HISWA berekeningen voor Hydra-M (2001).

Er zijn twee mogelijkheden gevonden om de modelonzekerheid voor HISWA op het Markermeer te bepalen.

- Spoor 1) Vergelijk HISWA met metingen Markermeer en IJsselmeer (op basis van Gao, 2004).
- Spoor 2) Vergelijk HISWA met SWAN databases voor 9 locaties Markermeer (WL, 2005), en vertaal vervolgens de relatie SWAN vs. metingen naar HISWA vs. metingen.

Verder zijn geen studies gevonden waarin HISWA resultaten met de RIZA-97 instellingen vergeleken worden met metingen op een meer of waarin andere bruikbare informatie beschikbaar is.

2.3.2 HISWA versus metingen (Spoor 1)

Met de RIZA-97 instellingen zijn in Gao (2004) berekeningen uitgevoerd om HISWA te kunnen vergelijken met metingen op het Markermeer nabij de Houtribdijk (locatie HOZ (159095; 510252), zie Figuur 2.1) en op het IJsselmeer op locatie Rotterdamse Hoek (RDH=FL2 (167861; 530005)). De metingen bij HOZ betreffen de winter van 1983-1984, die van RDH de winter van 1994-1995. De metingen zijn slecht gedocumenteerd en slecht of niet gearhiveerd. De kwaliteit ervan is niet helder. Enige additionele informatie is gevonden in de Waal et al, 1999. Meetlocatie HOZ bevond zich op ongeveer 750 m van de dijk Enkhuizen-Lelystad. De metingen zijn uitgevoerd door KNMI in samenwerking met Rijkswaterstaat. Er is gemeten met een waverider boei en een stappenbaak met een inwifrequentie van 2 Hz. Voor de windgegevens is gebruik gemaakt van uurgemiddelde gegevens van het KNMI station Lelystad Houtrib. Dit bevond zich op ongeveer 6 km afstand van de golfmeetlocatie. Voor de belangrijkste windrichtingen ZW-NW kan worden aangenomen dat in Lelystad Houtrib de windomstandigheden nagenoeg hetzelfde zijn als op de golfmeetlocatie. In 1995 is dit station opgeheven. De Rotterdamse Hoek (RDH) is de noordwestelijke punt van de Noordoostpolder. Op ongeveer 1200 m uit de dijk, bevindt zich een meetpaal, waar de bodemligging NAP-4.5 m bedraagt. Gedurende telkens 20 minuten worden de golven met een stappenbaak geregistreerd met een inwifrequentie van 4 Hz. De metingen zijn uitgevoerd door RDIJ, in samenwerking met RIZA. Ter plaatse van de golfmetingen zijn ook windmetingen gedaan. Op de meetpaal bevonden zich op 10 m hoogte een windvaan en een anemometer die voldoen aan de specificaties van het KNMI. Voor de windrichting is conform de richtlijnen van het KNMI de gemiddelde windrichting van de voorafgaande 10 minuten genomen.

Niet voor elke meting (262 voor HOZ en 826 voor FL2) is een hindcast uitgevoerd, maar er is gebruik gemaakt van een vertaalmatrix van 81 voorgedefinieerde HISWA berekeningen (9 windrichtingen tussen 200° en 280° met 10° interval en 9 windsnelheden U_{10} , te weten 7 t/m 23 m/s met stapgrootte 2 m/s). De waterstand is daarbij gekoppeld aan de windsnelheid. Als windsnelheid wordt in HISWA de U_{10}^* opgegeven (berekend uit C_D en U_{10} , zoals beschreven in de Waal et al (1999)). Om de modelresultaten met de gemeten golven te vergelijken, is geïnterpoleerd op basis van de windsnelheid. Dit komt enigszins overeen met het aanmaken van de Hydra-database, maar betekent wel dat de resulterende bias niet puur de modelonzekerheid betreft, maar ook de interpolatie in dit geval.

De resultaten van deze vergelijking zijn alleen beschikbaar in scatterplots, gemiddelde fout en standaarddeviatie van H_{m0} , T_p en $T_{m-1,0}$, en niet in de vorm van relatieve bias μ en relatieve

standaarddeviatie σ , zoals benodigd voor WTI-2017 (zie Appendix A). Op basis van de scatterplots in Gao (2004) is nu een schatting gemaakt voor μ en σ , zie Figuur B.2.3 in Appendix B en Tabel 2.3. Let wel dat de scatterplots (rechter kolom in Figuur B.2.3) nagetekend zijn en dat niet te achterhalen is hoeveel datapunten onder elkaar liggen. Wel is gecontroleerd of de in Gao (2004) gegeven absolute bias en standaarddeviatie overeenkomen met die van de gereproduceerde scatterplots. Voor H_{m0} blijkt dat wel zo te zijn, voor de bias van T_p redelijk, maar voor de standaarddeviatie van T_p niet. Volgens de originele scatterplots is de spreiding groter, waarschijnlijk vanwege de grotere hoeveelheid datapunten.

De golfperiode betreft de T_p en is bepaald door de HISWA resultaten van T_{m01} te verhogen met een factor 1.25, consistent met de Waal et al (1999). Aangezien Gao (2004) een factor 1.2 heeft gebruikt, bevatten de voor de huidige studie gereproduceerde scatterplots 4% hogere HISWA-waarden voor T_p ($1.25/1.2=1.04$). Overigens wordt in Gao (2004) gemeld dat de metingen van H_s – “als het nodig is” - omgerekend worden naar H_{m0} om ze vergelijkbaar te maken met de HISWA modeluitvoer die H_{m0} betreft, via $H_s=0.985 \cdot H_{m0}$. Echter, in de figuren worden H_s en H_{m0} door elkaar gebruikt en het is onduidelijk waar de omrekening wel of niet is toegepast. In de hier gereproduceerde scatterplots beschouwen we H_s en H_{m0} gelijk aan elkaar.

	H_{m0}		T_p^*	
	μ	σ	μ	σ
HOZ	+0.09	0.15	+0.20	0.11
RDH	+0.13	0.16	+0.24	0.12
combinatie HOZ RDH	+0.11	0.15	+0.22	0.12

Tabel 2.3 Onzekerheden HISWA op basis van gereproduceerde scatterplots uit Gao (2004); *) $T_p=1.25 \cdot T_{m01}$

2.3.3 HISWA versus SWAN (Spoor 2)

Witteveen+Bos heeft binnen het project ‘Productieberekeningen Hydraulische Randvoorwaarden 2006 (WL, 2005) voor negen locaties in de zuidwest hoek van het Markermeer SWAN en HISWA databases opgeleverd die direct met elkaar te vergelijken zijn (zie Figuur B.2.4 in Appendix B). De databases betreffen de eerder genoemde 216 condities (3 meerpeilen (NAP-0.4 m, +0.3 m, +1.3 m); 12 windrichtingen (de volledige cirkel met stapgrootte 30°); 6 windsnelheden ($U_{\text{potentieel}}$, Schiphol is 15, 20, 23, 26, 28, 30 m/s voor de 7 windrichtingen uit de oostelijke helft en 22, 28, 33, 36, 39, 42 m/s voor de overige richtingen). De HISWA berekeningen zijn conform HR2001, de SWAN berekeningen conform HR2006 voor IJburg, dat is inclusief een correctiefactor van 0.964 op de golfhoogte H_s en 1.022 op de T_p . Op basis van deze databases blijkt HISWA gemiddeld 11% lagere golfhoogtes te berekenen dan SWAN en 16% hogere piekperioden, zie Figuur B.2.5 en B.2.6 in Appendix B. Niet alle windrichtingen zijn hierbij meegenomen, alleen de richting die – volgens WL, 2005 – maatgevend is voor de beschouwde locatie (weergegeven in de titels bij de figuren). Wel zijn alle waterstanden en windsnelheden beschouwd. De resultaten zijn niet helemaal eenduidig. Voor de golfhoogte zien we op de meeste locaties en gemiddeld genomen dat HISWA een onderschatting geeft t.o.v. SWAN. Uitzondering hierop zijn locaties 7, 8 en 9 waar HISWA bij hoge windsnelheden juist hogere waarden geeft dan SWAN. Bij de periode komt HISWA overal hoger uit dan SWAN, maar de gemiddelde afwijking varieert tussen 11 en 25%, afhankelijk van de locatie.

De relatieve bias van HISWA ten opzichte van de werkelijkheid bepalen we door de gemiddelde fout tussen HISWA en SWAN op te tellen bij de fout tussen SWAN en metingen. Bij grote afwijkingen is dit niet juist, maar in het huidige geval is het een redelijke aanname. Dus als HISWA gemiddeld 11% lagere waarden berekent dan SWAN en SWAN gemiddeld

5% te laag is, dan schatten we dat HISWA gemiddeld de golfhoogte met 16% onderschat. Voor de piekperiode levert dit een overschatting van 11% door HISWA op. Ook de standaarddeviatie is te bepalen, zie Appendix C.

	H_s		T_p^*	
	μ	σ	μ	σ
HISWA vs SWAN	-0.11	0.13	+0.16	0.05
SWAN vs meting	-0.05	0.10	-0.05	0.05
HISWA vs meting	-0.16	0.16	+0.11	0.08

Tabel 2.4 HISWA resultaten t.o.v. SWAN o.b.v. 9 testlocaties uit HR2006 database Markermeer (WL, 2005;

*)HISWA $T_p=1.25*T_{m01}$

2.3.4 Resultaat HISWA onzekerheden

De bovengenoemde sporen geven geen eenduidige resultaten voor de onzekerheid van de HISWA resultaten voor het Markermeer, zie Tabel 2.5. Op basis van de metingen uit Gao (2004) overschat HISWA de golfhoogte met 11%, maar op basis van de vergelijking tussen SWAN en HISWA, is juist te verwachten dat HISWA de golfhoogte onderschat met 16%. Qua periode geeft spoor 1 een grotere overschatting dan spoor 2. Beide sporen hebben voor- en nadelen.

Het voordeel van spoor 1 is dat het specifiek om het Markermeer gaat en een ruime data set betreft. Het nadeel is echter dat de scatterplots nagetekend zijn en daarbij onderliggende punten gemist worden, en dat de modelberekeningen geen hindcasts betreffen maar interpolatie binnen een voorgedefinieerde matrix van HISWA berekeningen. Bovendien bevat de dataset ook metingen voor relatief milde condities. De scatterplots laten bijvoorbeeld zien dat de piekperiode bij lage perioden veel sterker wordt overschat dan bij de hogere periodes. Voor de hydraulische condities zijn juist de zwaardere condities relevant. Tenslotte is uit deze dataset niet te achterhalen of de in Gao (2004) genoemde omrekening van H_s naar H_{m0} via $H_s=0.985*H_{m0}$ al dan niet is toegepast.

Spoor 2 heeft als voordeel dat de HISWA-SWAN vergelijking specifiek voor het Markermeer en voor de maatgevende windrichting is bepaald, maar het nadeel is dat het koppelen van deze vergelijking aan SWAN onzekerheden ook extra onzekerheden met zich meebrengt.

De totale scores voor de relatieve bias en relatieve standaarddeviatie zijn afgeleid uit de gegevens van spoor 1 en spoor 2. Door de golfhoogte respectievelijk golfperiode van spoor 1 te combineren met de waarden uit de scatterplots van spoor 2 (Fig B.2.5/6, waarbij de SWAN-uitkomsten als metingen worden beschouwd nadat HISWA is gecorrigeerd voor de 5% onderschatting van SWAN (zie Tabel 2.4)) is een nieuwe dataset gevormd waaruit de totale μ en σ zijn bepaald. Beide sporen hebben daarbij evenveel gewicht, door van de 190 waarden van spoor 1 slechts 162 willekeurige waarden te gebruiken, evenveel als de hoeveelheid waarden beschikbaar in spoor 2. Dit is duizend maal herhaald, en daaruit zijn de gemiddelde μ en σ bepaald. Deze methode betreft een schatting, omdat de σ van SWAN versus metingen hierin achterwege is gelaten.

	H_s		T_p	
	μ	σ	μ	σ
Spoor 1 (Gao, 2004)	+0.11	0.15	+0.22	0.12
Spoor 2 (WL, 2005)	-0.16	0.16	+0.11	0.08
HISWA TOTAAL	-0.02	0.20	+0.16	0.11

Tabel 2.5 Onzekerheden HISWA

2.4 Onzekerheden in relatie tot bestaande onzekerheden

De gevonden onzekerheden zijn weergegeven in Tabel 2.6, samen met de al eerder bepaalde waarden uit Deltares, 2015.

	H_s		$T_{m-1,0}$		T_p	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
SWAN (voor IJburg)	-0.05	0.10	+0.04	0.08	-0.04	0.05
HISWA (voor Markermeer)	-0.02	0.20	+0.16*	0.11*	+0.16	0.11
Kust, IJsselmeer	-0.01	0.19	-0.04	0.11	-	-
Brede wateren in rivierengebied/randmeren	-0.06	0.15	-0.11	0.04	-0.01	0.07
Smalle wateren in rivierengebied	-0.04	0.27	-	-	+0.03	0.13

Tabel 2.6 Onzekerheden SWAN en HISWA op het Markermeer t.b.v. WTI 2017;

*)De cursief gedrukte waarden van HISWA voor $T_{m-1,0}$ zijn rechtstreeks overgenomen van T_p

De lichte onderschatting van de golfhoogte door SWAN voor IJburg ($\mu = -0.05$) is in lijn met de waarden voor μ uit Deltares (2015). Het oudere HISWA laat een iets kleinere onderschatting zien ($\mu = -0.02$). Qua periode vertoont SWAN een overschatting voor $T_{m-1,0}$ en een onderschatting voor T_p . De relatief grote overschatting van T_p door HISWA is voor een deel toe te schrijven aan de hoge factor die gebruikt is om de T_p af te leiden uit HISWA's T_{m01} , consistent met hoe dat voor de Hydra databases is gebeurd. De correctiefactor die de $T_{m-1,0}$ uit SWAN heeft opgehoogd blijkt voor de beschouwde gevallen iets te hoog.

De standaarddeviatie van SWAN is iets lager dan die van HISWA, wat niet onlogisch is aangezien HISWA minder geavanceerd is dan SWAN.

Over het algemeen zijn de nieuw afgeleide onzekerheden voor het Markermeer redelijk in lijn met de eerder bepaalde onzekerheden van Deltares (2015).

2.5 Indicatie geschiktheid wind transformatie

2.5.1 Inleiding en doelstelling

De hindcasts die gebruikt zijn in deze studie maken allemaal gebruik van uniforme windsnelheden die lokaal gemeten zijn. De gevonden statistische parameters betreffen dus modelonzekerheden op basis van lokale open-water wind en lokale golven.

Los van de modelonzekerheden zijn de hydraulische randvoorwaarden ook afhankelijk van andere onzekerheden zoals bijvoorbeeld de onzekerheden die het gevolg zijn van de vertaling van de basisstochast wind naar windvelden die als invoer dienen voor de golfberekeningen. Dit speelt voor alle gebieden, niet slechts op het Markermeer. Aangezien de bias van de toegepaste windtransformatie veelal ruim binnen de onzekerheidsbanden ligt van de empirische windtransformaties is het achterwege laten van deze bias in principe geen punt (zie ook Sectie 1.4). Echter, omdat de methode van windtransformatie juist op het Markermeer enigszins afwijkt, is het verstandig om voor het Markermeer na te gaan in hoeverre dat invloed heeft op de onzekerheden van het toegepaste windveld, en van de resulterende golven.

Sectie 2.5 heeft als doel om na te gaan of de wind die gebruikt is in de HR-golfberekeningen op het Markermeer, IJburg en de Eemvallei met HISWA, SWAN respectievelijk Bretschneider consistent is met de wind die is toegepast voor de productieberekeningen op het IJsselmeer. Mocht dat niet zo zijn, dan moeten de onzekerheden voor de golfparameters op het Markermeer (incl. IJburg en Eemvallei) worden aangepast.

De indeling van deze sectie is als volgt. Eerst wordt in Paragraaf 2.5.2 uiteengezet hoe de windvelden voor het Markermeer zijn aangemaakt, en waarin ze verschillen van het IJsselmeer. In Paragraaf 2.5.3 wordt een samenvatting gegeven van bestaande literatuur met betrekking tot consistentie van windvelden op het IJsselmeer en Markermeer. Daarna volgt in Paragraaf 2.5.4 een analyse van de waterstanden uit de Hydra databases van Markermeer en IJsselmeer. Het verhang ten gevolge van opwaaiing zou in beide gebieden min of meer gelijk moeten zijn. In Paragrafen 2.5.5 en 2.5.6 wordt nagegaan of de koppeling tussen windveld, SWAN/HISWA resultaat en Hydra-database juist is. Paragraaf 2.5.7 behandelt de wind die voor de Bretschneider berekeningen in de Eemvallei wordt gebruikt. Conclusies met betrekking tot de wind zijn te vinden in Paragraaf 2.5.8.

2.5.2 Beschrijving methode windvelden Markermeer

De hydraulische randvoorwaarden zijn gebaseerd op een vertaling van basisstochasten (o.a. de potentiële windsnelheid bij Schiphol) naar golven op lokale uitvoerpunten nabij de oever, via de Hydra-database met productieberekeningen uitgevoerd met SWAN en HISWA en via Bretschneiderberekeningen. Elke SWAN/HISWA-productieberekening hoort bij een bepaalde potentiële Schipholwindsnelheid, maar is uitgevoerd met een "lokale" U_{10} . Om beide aan elkaar te koppelen is dus een transformatie nodig van Schiphol naar het beschouwde gebied, en van potentiële wind naar U_{10} , rekening houdend met zowel grootschalige als kleinschalige ruwheidseffecten.

De transformatie zoals die voor het Markermeer wordt toegepast in Hydra is uitgebreid beschreven in de OOM studie ('Onafhankelijk Onderzoek Markermeer') door Van Haaren (1997). Hier volgt een bondige samenvatting.

- Voor een reeks overschrijdingsfrequenties zijn door RWS-DWW (Leeuwestein, 1997) met behulp van het Rijksoort Weibull model de potentiële windsnelheden voor Schiphol en voor een viertal locaties in het gebied (de hoekpunten Baarn, Harderwijk, Enkhuizen, Wormerveer) op basis van interpolatie bepaald voor alle windsectoren.
- Voor een zestal potentiële windsnelheden te Schiphol worden – voor elk van de 12 windrichtingssectoren - de overschrijdingsfrequenties bepaald, en vervolgens de daarbij behorende potentiële windsnelheden op de vier genoemde hoekpunten.
- Daarna worden voor de vier hoekpunten per combinatie van potentiële windsnelheid en windrichting te Schiphol, het groot- en kleinschalig ruwheidseffect verdisconteerd. Hierbij wordt de potentiële wind op 10 m hoogte omgezet naar meso-windsnelheid op ca. 60 m hoogte ($U_{\text{meso}}=1.31*U_{\text{pot}}$) en vervolgens naar macrowindsnelheid en –richting op orde honderden meters hoogte. Voor laatstgenoemde stap is de meso-ruwheid nodig en daarvoor wordt in deze stap overal de open-water ruwheidslengte toegepast (0.0002 m), ongeacht het feit of de transformatie op een water- of landlocatie wordt toegepast.
- Vervolgens wordt de macro-wind van de vier hoekpunten via lineaire interpolatie overgezet op de dertig cellen van het voorgedefinieerde windrooster en vertaald naar

meso-windsnelheid en –richting. De meso-ruwheidslengte z_{0m} is nu de waarde van het bovenwindse gebied, en dus niet meer per definitie gelijk aan de open-water ruwheidslengte. Voor elke richtingssector is de meso-ruwheid bepaald op grond van terreineigenschappen van een gebied van 5 bij 5 km², bovenwinds van het beschouwde punt. Hierbij is uitgegaan van de gegevens uit Wieringa en Rijkoort (1983).

- De meso-windsnelheid en –richting op de 30 punten van het windrooster worden nu omgerekend naar 10 m hoogte, rekening houdend met de openwatertransformatie waarbij de ruwheid afhangt van de windsnelheid. Alle rekenpunten betreffen open water punten.
- Voor HISWA geldt bovendien nog een zogenaamde U*-schaling.

In Appendix D is de tabel met potentiële windsnelheden te Schiphol en de vier hoekpunten opgenomen (dit is Bijlage B uit Van Haaren, 1997). Hieruit is te zien dat afhankelijk van de windrichting, de windsnelheid te Schiphol soms lager is dan te Enkhuizen, maar meestal hoger.

2.5.3 Overzicht bestaande literatuur m.b.t. consistentie windvelden IJsselmeer-Markermeer

De vraag of de windvelden op het Markermeer wel consistent zijn met die op het IJsselmeer is al vaker gesteld, zie onderstaande literatuur.

- WL, 1997: Onafhankelijk Onderzoek Markermeer, Technisch inhoudelijke en integrerende studie, verslag fase 1b-3 Stormprofiel en windvelden, oktober 1997 door Y.H.G. van Haaren.
“In de definitieve rapportage van fase 1b-3 van juli 1997 is een aanname gemaakt die niet consistent is met methode voor de IJsselmeerstudie (Bak en Vlag, 1997). Deze consistentie is juist voor de onderhavige studie relevant. In overleg met Rijkswaterstaat-RIZA zijn de betreffende hoofdstukken 4 en 5 waar nodig aangepast. Dit heeft geleid tot het onderhavige rapport.”
- WL, 1999: Bruikbaarheid Hydraulische Randvoorwaarden Markermeer door F. den Heijer.
“In dit rapport wordt aangegeven dat het genereren van de windvelden methodisch inderdaad afwijkt van de werkwijze bij het IJsselmeer, maar in het grootste gedeelte van het Markermeer numeriek niet. Alleen in de randmeren verschillen de windvelden ook numeriek ten opzichte van het open water, maar daar is dit het gevolg van een verhoogde terreinruwheid, en is een verschil dus terecht.”
“Methode 4 (=Markermeer 1997, auteur) combineert de essentiële punten van de methoden 2 (=IJsselmeer 1997, auteur) en 3 (=Markermeer 1993, auteur), en levert daarmee het gewenste resultaat in de randmeren, en is tegelijkertijd voor de open watervlakte (dus voor de kruinhoogte bepalende stormsituaties) in ruimtelijk opzicht gelijk aan methode 2.”
“De hiermee berekende hydraulische randvoorwaarden zijn derhalve direct bruikbaar voor ontwerp en toetsing van de waterkeringen rond Markermeer en de randmeren.”
- De Waal, 2003: Windmodellering voor bepaling waterstanden en golven, een analyse van bouwstenen.
(par 3.8.3:) “Het essentiële verschil met het IJsselmeer windmodel zit in de gebruikmaking van verschillen in meso-ruwheid binnen het interessegebied. Dit heeft tot gevolg dat de variatie in de wind boven het Markermeergebied groter is dan boven het IJsselmeergebied. En terwijl het windveld voor het IJsselmeergebied alleen

variatie in windsnelheid vertoont, vertoont het windveld boven het Markermeergebied bovendien variatie in windrichting. De drijfveer voor deze verfijning van het windmodel ligt in de invloed van de landmassa's op de wind boven het smalle water van het Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw."

(par 3.8.4:) "Het hanteren van de constante en lage meso-ruwheid van open water op de hoekpunten van het windgrid is nodig om de resultaten van het IJsselmeer windmodel en het Markermeer windmodel voor het grote open water te laten overeenstemmen.... De gekozen werkwijze heeft echter wel een vervelende consequentie". Eerst wordt namelijk de macrowind bepaald uit de lokale meso-wind en de (fictieve) open-water meso-ruwheidslengte (0.0002 m). Later volgt uit deze macro-wind en de (werkelijke) lokale meso-ruwheid weer de lokale meso-wind. Voor de hoekpunten – die alle boven land liggen – verschilt deze laatst bepaalde meso-wind sterk van de oorspronkelijke meso-wind. "In de praktijk is men echter alleen geïnteresseerd in de wind boven het water. Daarom is in de praktijk deze inconsistentie niet onoverkomelijk."

"Als de verfijnde versie van het windmodel noodzakelijk is voor het Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw in het Markermeergebied, dan ligt het voor de hand dat een dergelijke verfijning ook van toepassing zou moeten zijn voor het Ketelmeer en Vossemeer in het IJsselmeergebied."

Op basis van de drie bovengenoemde bronnen kan gesteld worden dat de windvelden boven het water van het Markermeer en IJsselmeer vergelijkbaar zijn. Praktisch gezien worden nagenoeg dezelfde transformaties van basis-windstochast naar open-water windsnelheid gehanteerd. Er is op basis van deze analyse geen reden om de onzekerheden van de golfparameters op het Markermeer aan te passen ten gevolge van de toegepaste windvelden.

2.5.4 Analyse opwaaiing Markermeer in relatie tot IJsselmeer

Gebruik makend van de Hydra databases van Markermeer en IJsselmeer bepalen we of het verhang tussen twee tegenover elkaar gelegen locaties op het Markermeer vergelijkbaar is met het verhang op het IJsselmeer bij gelijke windsnelheid. Dat biedt een praktische controle van de consistentie in windvelden. Als de windkeuzes op het Markermeer namelijk substantieel afwijken van die op het IJsselmeer, dan moet dat ook helder blijken uit de opwaaiing die (meer dan) kwadratisch van de wind afhangt. Indien op het Markermeer het complete en correcte tweelagenmodel zou zijn toegepast (ofwel de macro-transformatie op basis van werkelijke in plaats van deels fictieve ruwheden), dan zou de open-water windsnelheid zeker 10% hoger uitvallen dan wanneer de meso-transformatie was toegepast. Dat zou dus zeker 20% meer verhang op het Markermeer opleveren dan op het IJsselmeer. Los van de windkeuze is in ieder geval al te verwachten dat het verhang op het Markermeer (orde 10-20%) groter is vanwege de (orde 10-20%) kleinere waterdiepte ten opzichte van het IJsselmeer. Kortom, als het verhang op het Markermeer orde 40% hoger is dan op het IJsselmeer, dan kan men er van uitgaan dat de windvelden van het Markermeer niet consistent zijn met die van het IJsselmeer, en dat dat extra onzekerheid in de golfparameters met zich meebrengt. Omgekeerd, als het verhang op Markermeer en IJsselmeer bij gelijke wind minder van elkaar verschilt, dan hoeft er voor het Markermeer geen rekening gehouden te worden met extra onzekerheid ten gevolge van inconsistente windvelden.

De volgende stappen zijn doorlopen.

1. Er is een vijftal raaien gedefinieerd op Marker- en IJsselmeer die van Hydra-locatie tot Hydra-locatie lopen in de richting van één van de Hydra windrichtingen, zie linker paneel in Figuur B.2.7. De raaien zijn zoveel mogelijk bij vlakke kusten gekozen waar

eventuele opstuwung door de lokale geografie beperkt is. Er is gebruik gemaakt van de volgende Hydra-databases:

- HR2006_Meer_IJsselmeer_oever_a_06_v01.mdb (=oostoever)
- HR2006_Meer_IJsselmeer_oever_a_07_v01.mdb (=westoever)
- HR2006_Meer_IJsselmeer_oever_a_12_v01.mdb (=zuidoever) en voor het Markermeer
- hydrvw_r.mm, beschikbaar op de CD-rom behorende bij WL (2005) als :\\Oplevering_Hydra_M\VergelijkingHR2001HR2006\IJburg\Hydra_M_bestanden\HR2001\hydrvw_r.mm.

- Per windsnelheid en meerpeil is telkens het verschil in waterstand bepaald tussen de paren, alleen voor de windrichting waarin de paren liggen. Door het verschil in waterstand te delen door de afstand tussen de locaties is het verhang ten gevolge van opwaaiing bepaald. Het verhang is weergegeven in het rechterpaneel van Figuur B.2.7. De waarden voor de stochasten meerpeil en windsnelheid zijn niet gelijk bij Markermeer en IJsselmeer, maar dat is niet erg.
- Figuur B.2.7 geeft al aan dat de verhangen op Markermeer en IJsselmeer vergelijkbaar met elkaar zijn. De precieze relatieve verschillen zijn weergegeven in Tabel 2.7. Hiertoe zijn de verhangen bij de IJsselmeerwindsnelheden geïnterpoleerd naar de Markermeerwindsnelheden.

wind [m/s]	verhang [10 ⁻⁴]					gemiddelde verhang		verhouding MM/IJ
	MM 22-47	MM 23-46	MM 5-34	IJ 4-6	IJ 4-20	mean MM	mean IJ	
meerpeil LAAG (NAP-0.4 m)								
22	0.40	0.40	0.44	0.43	0.36	0.42	0.39	1.05
28	0.74	0.74	0.78	0.78	0.63	0.75	0.71	1.06
33	1.09	1.10	1.18	1.17	0.91	1.13	1.04	1.08
36	1.39	1.39	1.55	1.40	1.07	1.44	1.24	1.17
39	1.76	1.81	1.68	1.60	1.24	1.75	1.42	1.23
42	2.39	1.93	1.81	1.74	1.42	2.04	1.58	1.29
meerpeil MID (NAP+0.3 m Markermeer en +0.4 m IJsselmeer)								
22	0.34	0.34	0.37	0.36	0.30	0.35	0.33	1.04
28	0.62	0.61	0.64	0.64	0.55	0.62	0.60	1.04
33	0.93	0.93	0.93	0.97	0.84	0.93	0.90	1.03
36	1.16	1.17	1.15	1.22	1.05	1.16	1.13	1.03
39	1.42	1.42	1.40	1.49	1.26	1.41	1.37	1.03
42	1.74	1.74	1.73	1.78	1.45	1.74	1.61	1.08
meerpeil HOOG (NAP+1.0 m IJsselmeer en +1.3 m Markermeer)								
22	0.28	0.28	0.30	0.32	0.28	0.28	0.30	0.95
28	0.50	0.49	0.52	0.57	0.50	0.50	0.53	0.95
33	0.75	0.75	0.76	0.86	0.77	0.75	0.81	0.93
36	0.94	0.93	0.93	1.07	0.97	0.93	1.02	0.92
39	1.15	1.15	1.11	1.31	1.19	1.14	1.25	0.91
42	1.40	1.39	1.33	1.58	1.45	1.37	1.52	0.90

Tabel 2.7 Verhang (op basis van Hydra-databases HR2001 en HR2006) voor 5 raaien op Markermeer (MM) en IJsselmeer (IJ) en de verhouding tussen Markermeer en IJsselmeer. Ligging van de raaien is weergegeven in Figuur B.2.7.

Bovenstaande tabel en Figuur B.2.7 leren ons dat de beschouwde verhangen op het Markermeer vergelijkbaar zijn met die op het IJsselmeer. Kolommen 7 en 8 geven het gemiddelde van de verhangen van respectievelijk de drie Markermeerraaien en de twee IJsselmeerraaien. Het quotiënt daarvan (kolom 9) ligt in de buurt van de 1. Een realiteitscheck geeft aan dat – in lijn met de verwachting - het laagste meerpeil over het algemeen het hoogste verhang geeft. Alleen bij het lage meerpeil zien we dat de verhouding tussen het verhang op het Markermeer en IJsselmeer (kolom MM/IJ) toeneemt bij toenemende windsnelheid. Dit geeft aan dat het verhang op het Markermeer sterker toeneemt bij toenemende wind dan het verhang op het IJsselmeer. Dit gebeurt juist bij het lage meerpeil, omdat dan het relatieve verschil in waterdiepte tussen Markermeer en IJsselmeer groot is. De bodemligging van het Markermeer is ongeveer NAP-4 m, die van het IJsselmeer is ongeveer NAP-5 m. Het is opvallend dat bij de hoogste meerpeilen het verhang op het IJsselmeer groter is dan op het Markermeer want je zou juist verwachten dat het verhang op het ondiepere Markermeer groter is. Dit is niet alleen gemiddeld zo, maar ook als we de roze raai (4-6) op het IJsselmeer ten opzichte van de groene Markermeerraai beschouwen, die bijna dezelfde richting hebben. Het precies verklaren van deze verhoudingen in verhang zou een nadere analyse vergen die buiten het kader van de onderhavige studie valt. Het hogere meerpeil zorgt wel voor een relatief kleiner verschil in diepte tussen Markermeer en IJsselmeer. Overigens zijn de verhangen bij de hoogste windsnelheden minder betrouwbaar omdat droogval dan een rol kan spelen.

Op basis van de waterstanden uit de Hydra-databases kan gesteld worden dat het opwaaiingsverhang op het Markermeer en IJsselmeer vergelijkbaar is en dat dus ook de windvelden vergelijkbaar zijn. Er is op basis van deze analyse geen reden om de onzekerheden van de golfparameters op het Markermeer aan te passen ten gevolge van de toegepaste windvelden.

2.5.5 Toegepaste windvelden productieberekeningen Markermeer

Voor het Markermeer (uitgezonderd IJburg) maakt WT12017 gebruik van de Hydra database van de HR2001, die gevuld is met de resultaten van HISWA berekeningen uit 1997 die voor de OOM-studie zijn uitgevoerd (zie ook par 2.2.3 van Lodder 2007). De windvelden die bij die berekeningen zijn toegepast zijn beschreven in Sectie 2.5.2. De verhouding tussen basisstochast-wind en invoerwind voor het hydraulisch model geeft impliciet aan welke windtransformatie daadwerkelijk is gebruikt. Het is echter niet meer te achterhalen of daadwerkelijk de juiste windsnelheid als invoer is gebruikt bij de HISWA berekening, noch of de resultaten in de database aan de juiste potentiële wind van Schiphol zijn gekoppeld, maar er is geen reden om daaraan te twifelen.

2.5.6 Toegepaste windvelden productieberekeningen IJburg

Voor IJburg maakt WT12017 gebruik van de Hydra database van de HR2006, die gevuld is met o.a. de resultaten van SWAN berekeningen uit 2005 (WL | Delft Hydraulics en Witteveen + Bos, 2005). Tijdens die studie bleken de instellingen van het windverloop uit de OOM-studie niet meer reproduceerbaar en is er voor gekozen om een nieuw windverloop af te leiden, waarbij getracht is de berekende maximale waterstanden uit de OOM-studie te reproduceren. Voor de SWAN-berekeningen bij IJburg is gerekend met een stationaire, uniforme windsnelheid en windrichting, optredend tijdens de piek van de storm. Dit is gelijk aan de wind zoals gebruikt in de HR2006 WAQUA schematisatie (WL | Delft Hydraulics en Witteveen + Bos, 2005). Die windvelden lijken weliswaar erg op die van de OOM-studie maar ze zijn niet identiek. De ruimtelijke variatie van die windvelden voor 2006 is beperkt. Het

Markermeer ten noorden van de Hollandse brug heeft een uniforme waarde, en op het Gooien Eemmeer vindt een lineaire reductie plaats tot 90% bij het Nijkerkernauw. Op deze manier kon de ruimtelijke verdeling van de waterstanden uit de OOM-studie het best gereproduceerd worden. De verhouding tussen basisstochast-wind en invoerwind voor het hydraulisch model geeft impliciet aan welke windtransformatie daadwerkelijk is gebruikt. Het is echter niet te achterhalen of daadwerkelijk de juiste windsnelheid als invoer is gebruikt bij de SWAN berekening, noch of de resultaten in de database aan de juiste potentiële wind van Schiphol zijn gekoppeld, maar er is geen reden om daaraan te twijfelen.

2.5.7 Toegepaste windvelden Eemvallei

Voor de Eemvallei maakt WTI2017 gebruik van de Hydra database van de HR2006, die gevuld is met de resultaten van Bretschneider berekeningen uit 2006 (WL | Delft Hydraulics, 2006). Dit is een herziening van de berekeningen van WL | Delft Hydraulics en Witteveen + Bos, 2005 vanwege verbeterde hoogtes van de secundaire keringen in de Eemvallei.

De gebruikte windsnelheid voor de Bretschneider berekeningen is gelijk aan 92.5% van de openwater windsnelheid op het Markermeer, uitgaande van de ruimtelijke windvelden zoals gebruikt in de HR2006 WAQUA schematisatie (WL | Delft Hydraulics en Witteveen + Bos, 2005). Volgens WL | Delft Hydraulics en Witteveen + Bos, 2005 komt die 92.5% overeen met de open-water windsnelheid ter plaatse van de monding van de Eem.

De Bretschneider resultaten zijn in de Hydra zoet database (HR2006_Meer_Markermeer_oever_a_46_v01.mdb) opgeslagen. De windsnelheden in die database betreffen potentiële windsnelheid bij Schiphol. De verhouding tussen basisstochast-wind en invoerwind voor het hydraulisch model geeft impliciet aan welke windtransformatie daadwerkelijk is gebruikt. Het is echter niet te achterhalen of daadwerkelijk de juiste lokale windsnelheid als invoer is gebruikt bij de Bretschneider berekening van de golfparameters, maar er is geen reden om daaraan te twijfelen.

2.5.8 Conclusie geschiktheid windvelden Markermeer

Praktisch gezien worden voor IJsselmeer en voor Markermeer nagenoeg dezelfde transformaties van basis-windstochast naar openwaterwind gehanteerd. Daarmee kunnen we stellen dat er geen reden is om de golf- en waterstandonzekerheden van het Markermeer (inclusief IJburg en Eemvallei) anders te behandelen dan die van het IJsselmeer. Er is op basis van deze analyse dan ook geen reden om de onzekerheden van de golfparameters op het Markermeer aan te passen ten gevolge van de toegepaste windvelden.

3 Conclusies

Voor het Markermeer zijn voor de HR2001 golfrandvoorwaarden afgeleid met het golfmodel HISWA (WL, 2005). Deze randvoorwaarden zijn hergebruikt voor de HR2006 met een update voor IJburg (uitgevoerd met SWAN versie 40.31) en de Eemvallei (bepaald met Bretschneider). De HR2006 randvoorwaarden voor het Markermeer en de Eemvallei worden overgenomen in het WTI 2017. De modelonzekerheden voor het Markermeer en Eemvallei waren nog niet bekend. De huidige studie geeft schattingen voor de relatieve bias en relatieve standaarddeviatie, zie de regels SWAN en HISWA in Tabel 3.1. De onderste drie regels zijn ter vergelijking overgenomen uit Deltares, 2015. Voor de Eemvallei wordt verwezen naar de regel 'Smalle wateren in rivierengebied').

	H_s		$T_{m-1,0}$		T_p	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ
SWAN (voor IJburg)	-0.05	0.10	+0.04	0.08	-0.04	0.05
HISWA (voor Markermeer)	-0.02	0.20	+0.16*	0.11*	+0.16	0.11
Kust, IJsselmeer	-0.01	0.19	-0.04	0.11	-	-
Brede wateren in rivierengebied/randmeren	-0.06	0.15	-0.11	0.04	-0.01	0.07
Smalle wateren in rivierengebied	-0.04	0.27	-	-	+0.03	0.13

Tabel 3.1 Onzekerheden SWAN en HISWA op het Markermeer t.b.v. WTI 2017

*)De cursief gedrukte waarden van HISWA voor $T_{m-1,0}$ zijn rechtstreeks overgenomen van T_p

De onzekerheden van SWAN bij IJburg zijn bepaald op basis van bestaande hindcasts op het Slotermeer (Witteveen en Bos, 2004), nagerekende cases op het IJsselmeer (Witteveen + Bos, 2004) en additionele SWIVT cases op het IJsselmeer.

De onzekerheden van HISWA op het Markermeer zijn bepaald op basis van een bestaande vergelijkingsstudie voor een meetpunt op het Markermeer en op het IJsselmeer (Gao, 2004), en op basis van een vergelijking tussen de Hydra databases op negen locaties op het Markermeer met SWAN en HISWA. Deze laatste vergelijking is gekoppeld aan de statistische scores van SWAN, zodat statistische scores voor HISWA bepaald konden worden. Uit de twee HISWA sporen zijn uiteindelijk op basis van expert judgement enigszins conservatieve waarden voor de relatieve bias en relatieve standaarddeviatie bepaald.

Over het algemeen zijn de nieuw afgeleide onzekerheden voor het Markermeer redelijk in lijn met de eerder bepaalde onzekerheden van Deltares (2015).

De gepresenteerde modelonzekerheden zijn direct gerelateerd aan de gebruikte golfmodellen. Additionele onzekerheden zoals gerelateerd aan het probabilistisch model vallen hierbuiten. De vergelijking van metingen en berekeningen is in lijn met Deltares (2013a,b, 2014).

4 Referenties

- Bottema, 2007. Measured wind-wave climatology Lake IJssel (NL). RIZA report 2007.020, juli 2004.
- Deltares, 2013a. Quantifying uncertainties of SWAN results. Deltares report 1206011-002HYE-0001. February 2013.
- Deltares, 2013b. SWAN uncertainties for short fetches. Deltares report 1207807-001-HYE-0008, December 2013.
- Deltares, 2014. SWAN uncertainties based on additional Lake IJssel cases. Deltares report 1209433-007. December 2014.
- Deltares, 2015. Modelonzekerheid belastingen, Wettelijk Toetsinstrumentarium WTI-2017 dd april 2015. ref 1209433-008-HYE-0007
- Gao, Q, 2004. Golfmodellen HISWA en SWAN in het IJsselmeergebied dd 3 mei 2004. RIZA werkdocument 2004-107X.
- van Haaren, Y.H.G., 1997. Onafhankelijke Onderzoek Markermeer, Verslag fase 1b-3: Stormprofiel en windvelden. dd. 13 oktober 1997. Waterloopkundig Laboratorium nr H3211
- Leeuwestein, W. 1997. Leeuwestein, W. (1997). Windgegevens Markermeer. Brief van DWW aan WL (mevr. Van Haaren) van 18 april 1997 met windgegevens op vier locaties in het Markermeergebied.
- Lodder, 1997. Achtergrondrapport HR2006 voor de meren. Hydraulische Randvoorwaarden 2006. RWS RIZA rapport 2007.025.
- Mood, Graybill, Boes, 1974. Introduction to the theory of Statistics,
- TU Delft, 2012. Onderzoek naar prestaties golfmetingen vanaf vaste meetopstellingen. Rapport technische Universiteit Delft, Environmental Fluid Mechanics, December 2012.
- Waal, J.P. de, D. Beyer, Q. Gao, D.P. Vlag (1999). Achtergronden Hydraulische Belastingen Dijken IJsselmeergebied, RIZA rapport 99.043, Deelrapport 6: Modelling windgolven (HISWA) dd 25 maart 1999.
- Waal, J.P. de, 2003. Windmodellering voor bepaling waterstanden en golven. Een analyse van de bouwstenen. Rijkswaterstaat RIZA, RIZA werkdocument 2003.118x, juli 2003.
- Witteveen + Bos, 2004. Advies golfrandvoorwaarden IJburg dd 22 oktober 2004. ref Rw1352-1.
- WL | Delft Hydraulics, 1999. Bruikbaarheid hydraulische randvoorwaarden Markermeer dd juni 1999. Projectnummer H3566

WL | Delft Hydraulics en Witteveen en Bos, 2005. Productieberekeningen Hydraulische Randvoorwaarden 2006, IJburg en de Eem (R1-4393A) dd december 2005. Project Q4008. WL-rapport Q4008.00.

WL | Delft Hydraulics, 2006. Herberekening concept Hydraulische Randvoorwaarden Meren 2006. Eem en Eemvallei. augustus 2006. WL-rapport Q4240.

A Definitie statistische parameters

Noteren we de metingen als $X = (x_1, \dots, x_n)$ en modeluitkomsten als $Y = (y_1, \dots, y_n)$, dan kunnen verschillende statistische parameters worden gedefinieerd.

De absolute fout is $d_j = y_j - x_j$.

De relatieve fout is $d_j^* = \frac{d_j}{x_j} = \frac{y_j - x_j}{x_j} \equiv r_j - 1$

Het gemiddelde van de gemeten of berekende waarden wordt geschreven als respectievelijk \bar{x} en \bar{y} .

• bias: $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j = \bar{y} - \bar{x}$

• variantie van fout: $S_d^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (d_j - \bar{d})^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j^2 \right) - \bar{d}^2 = \text{RMSE}^2 - \bar{d}^2$

• standaard deviatie van fout: $S_d = \sqrt{S_d^2}$

• scatter index: $\text{SI} = \frac{S_d}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\text{RMSE}^2 - \bar{d}^2}{\bar{x}^2}}$

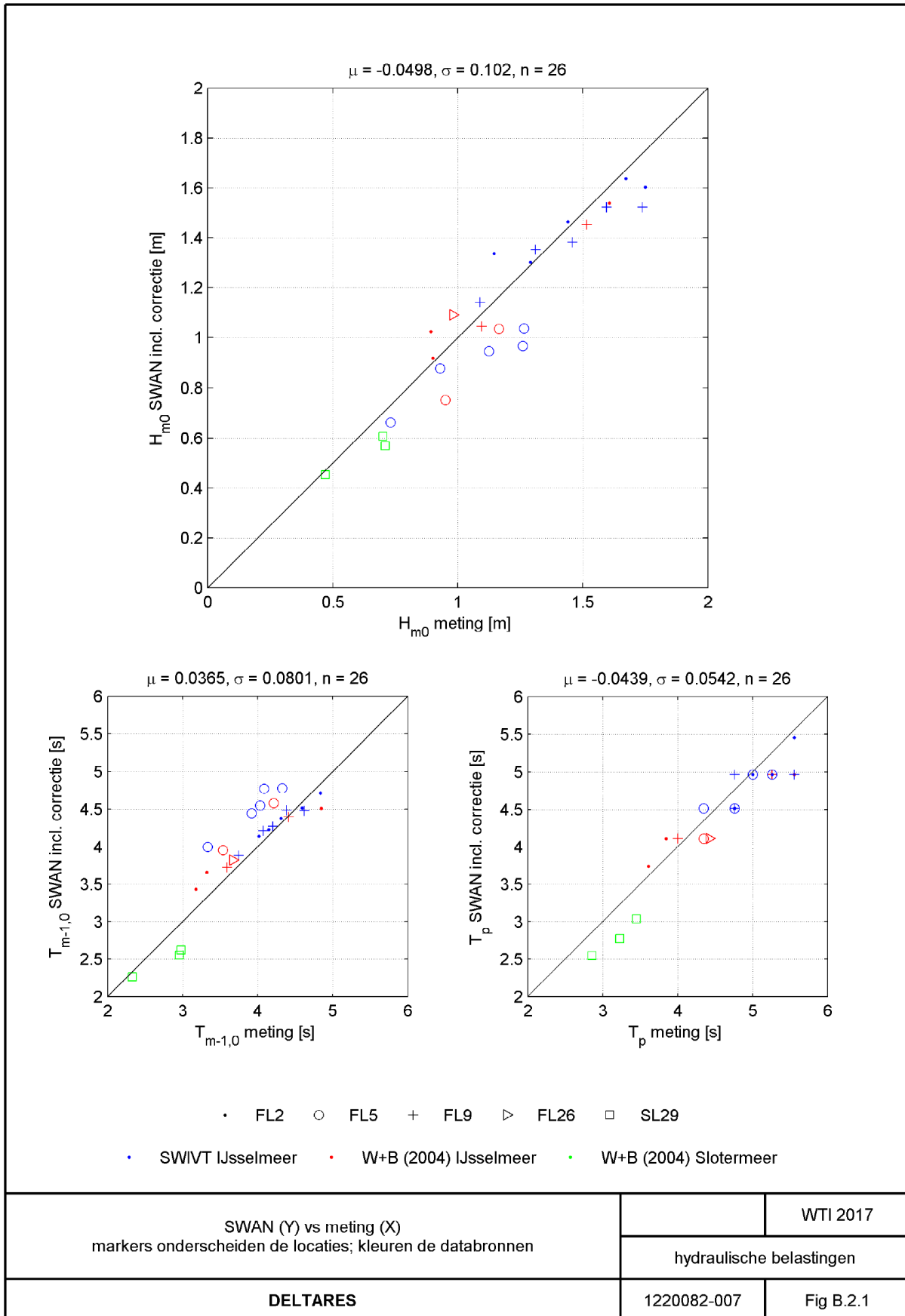
• gemiddelde relatieve fout: $\bar{d}^* = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j^* = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_j \right) - 1 = \bar{r} - 1$

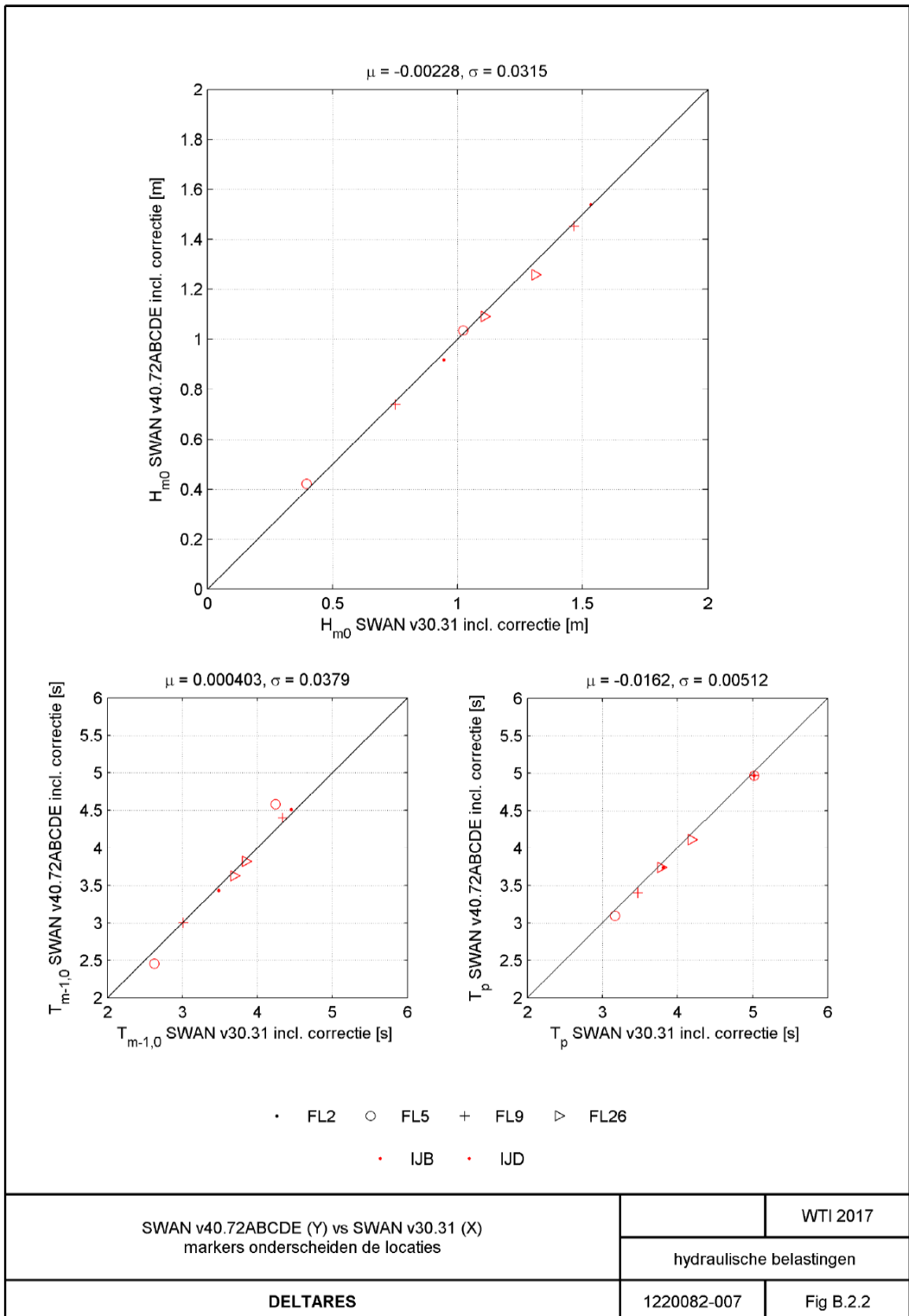
• variantie van relatieve fout: $S_{d^*}^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (d_j^* - \bar{d}^*)^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (r_j - 1 - (\bar{r} - 1))^2$
 $= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (r_j - \bar{r})^2 \equiv S_r^2$

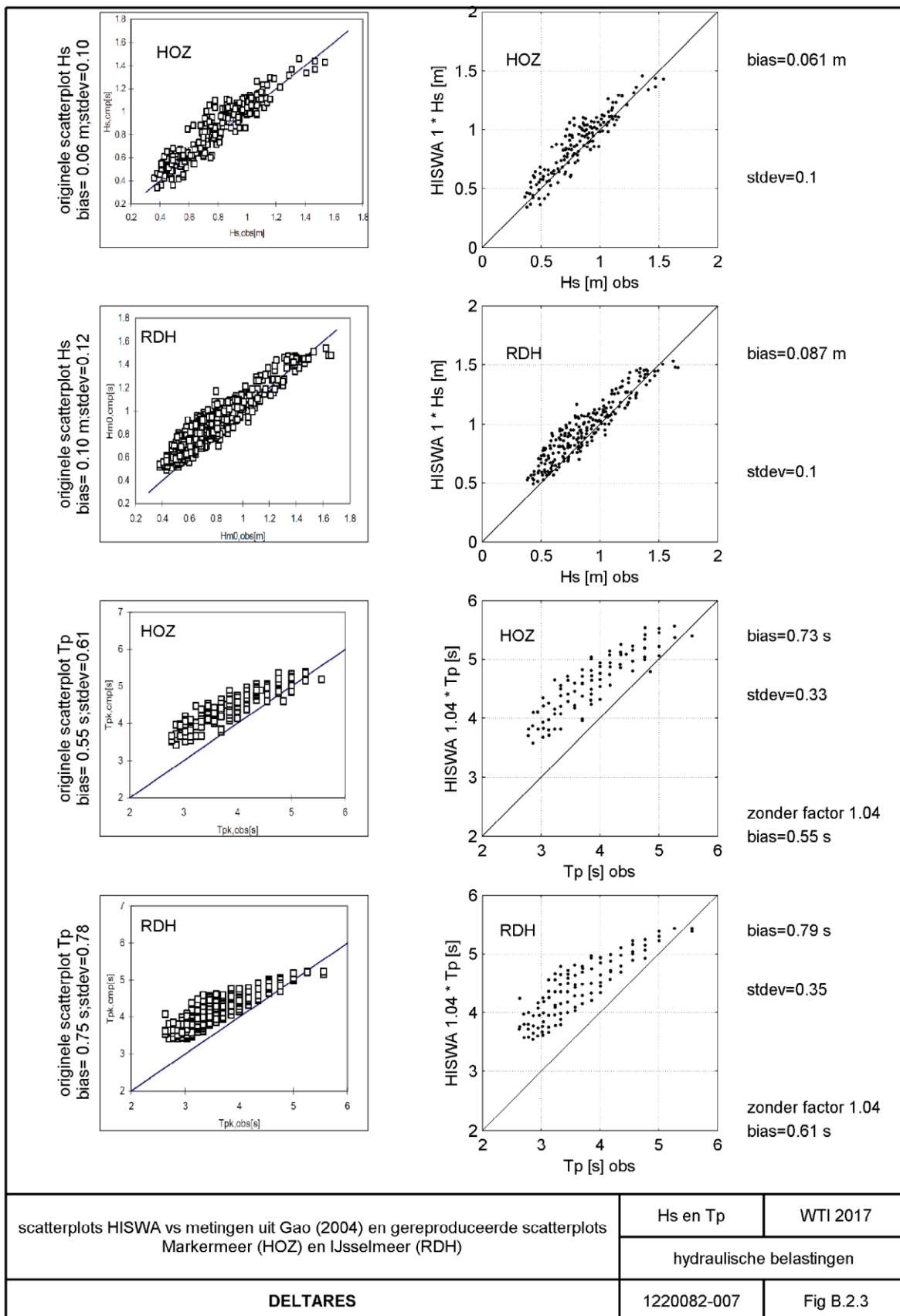
• standaard deviatie van relatieve fout: $S_{d^*} = \sqrt{S_{d^*}^2}$

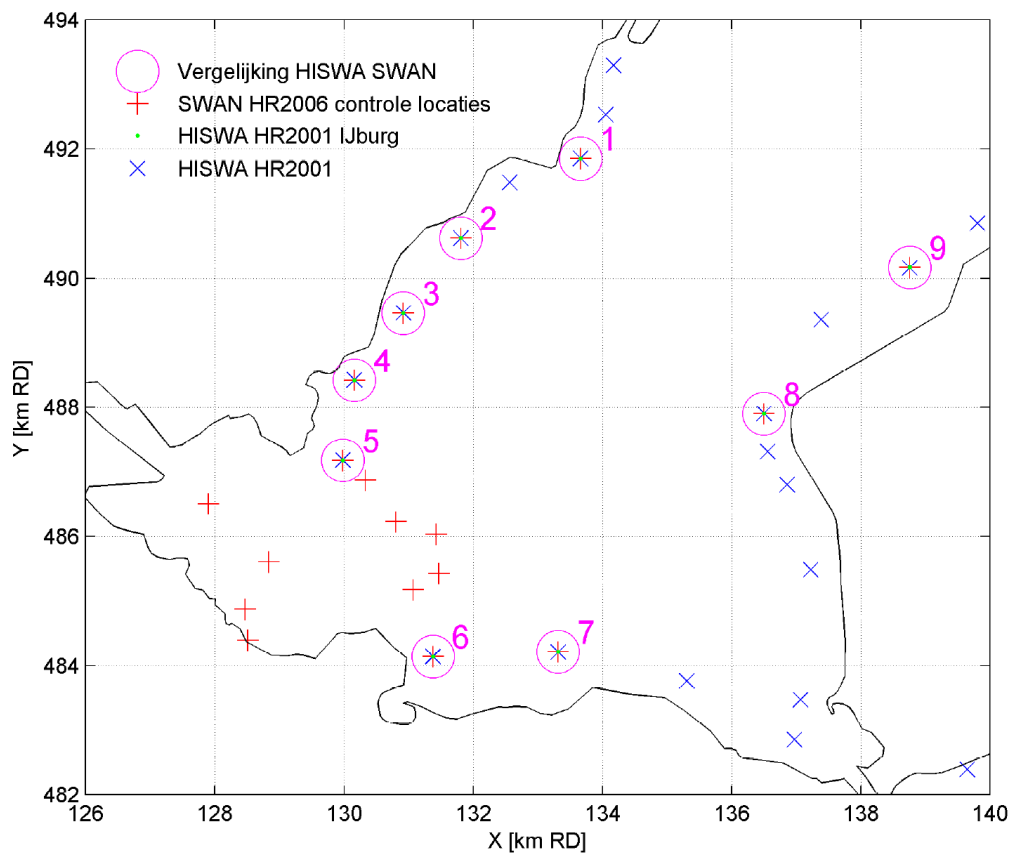
μ	is	$\bar{d}^* = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j^*$
σ	is	$S_{d^*} = \sqrt{S_{d^*}^2}$

B Figuren







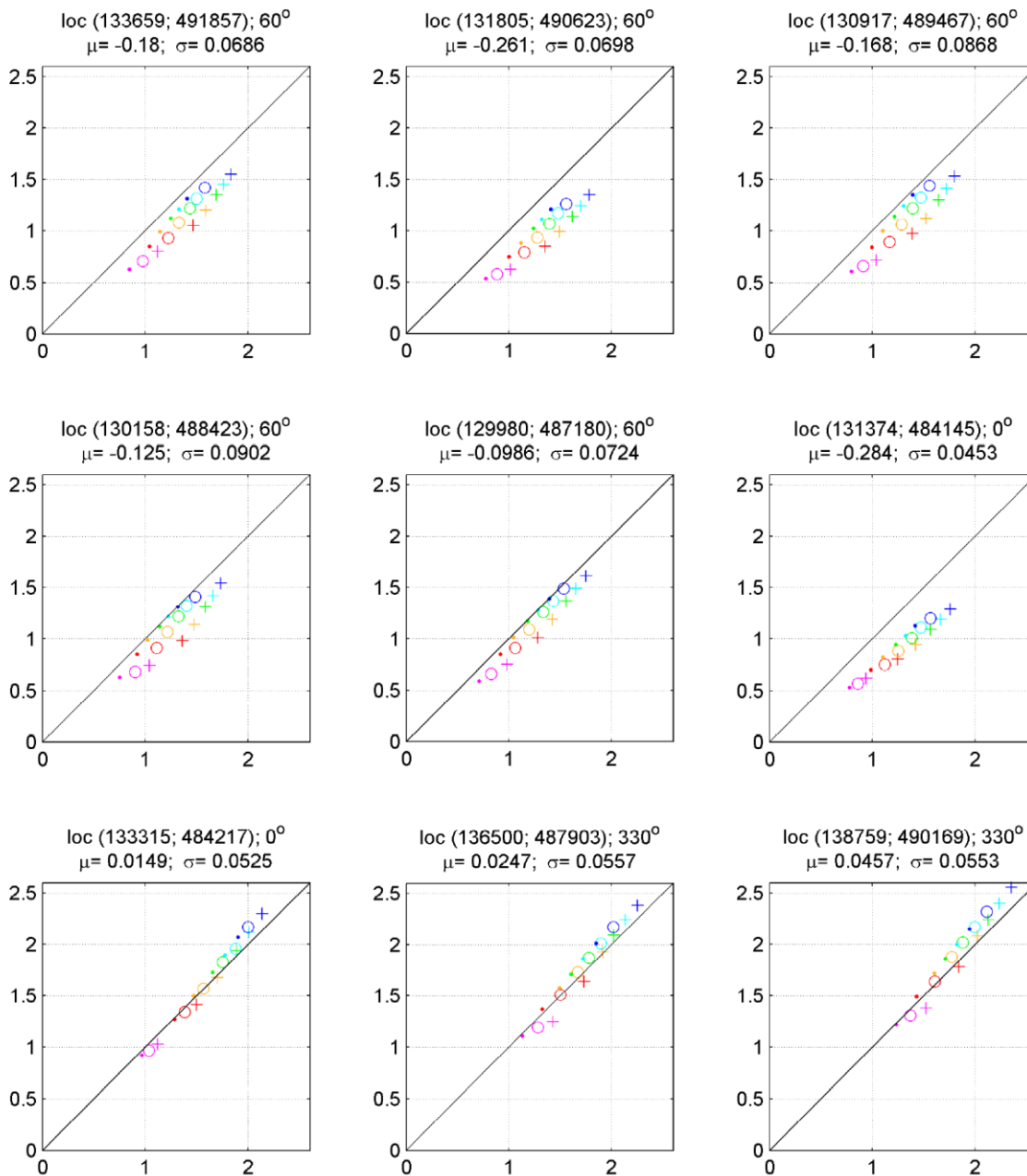


Ligging controle locaties SWAN / HISWA nabij IJburg		WTI 2017
	hydraulische belastingen	
DELTAIRES	1220082-007	Fig B.2.4

X=SWAN H_s incl 0.964 correctie[m]; Y=HISWA H_s [m]

meerpeil: -0.4 m / +0.3 m / +1.3 m NAP

windsnelheid (0° - 180°): 15 / 20 / 23 / 26 / 28 / 30 m/s (210° - 330°): 22 / 28 / 33 / 36 / 39 / 42 m/s



HISWA (Y) vs SWAN (X) voor per locatie maatgevende windrichting
markers onderscheiden de waterstand; kleuren de windsnelheid
overall $\mu = -0.11$; $\sigma = 0.13$

H_s [m]

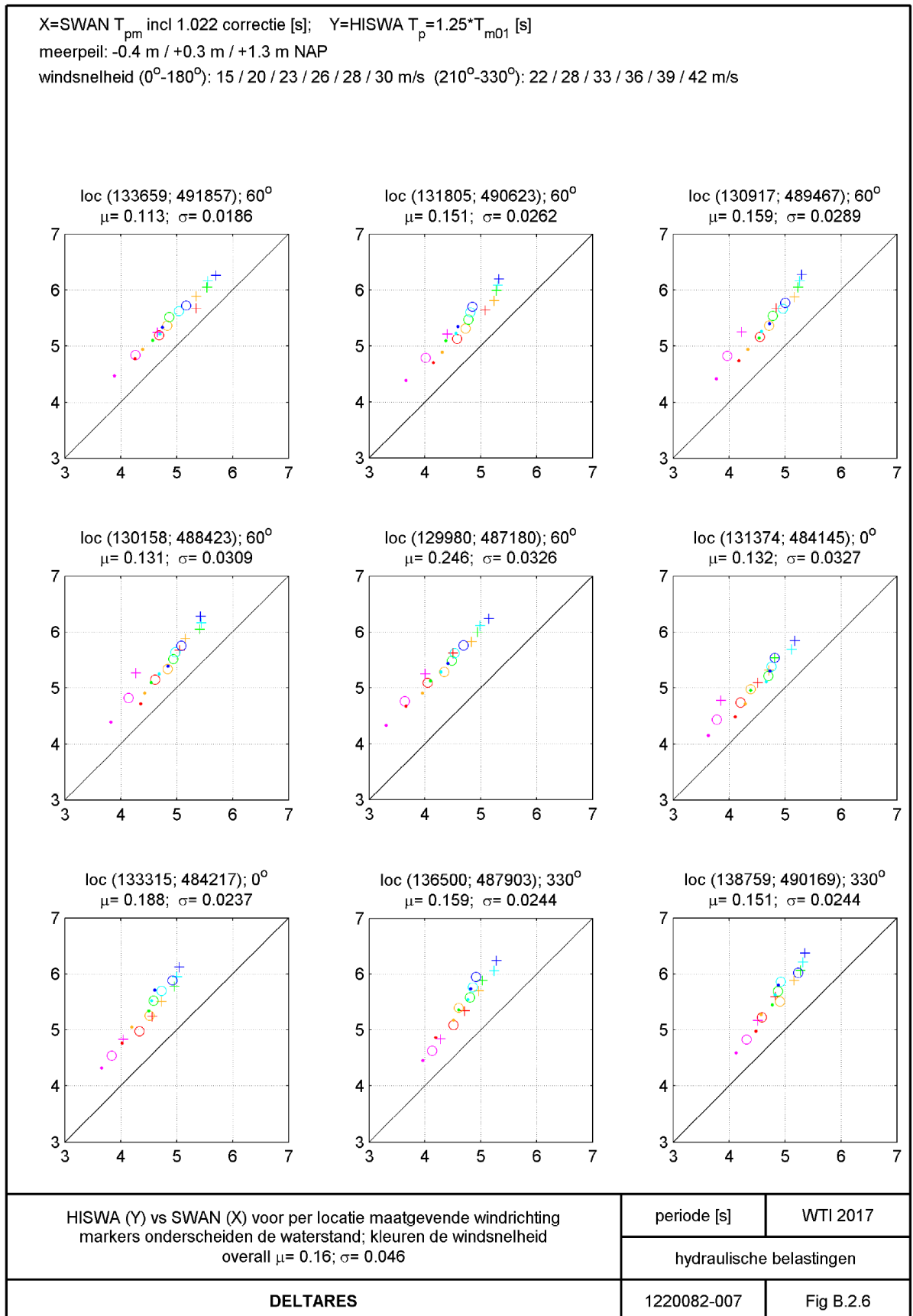
WTI 2017

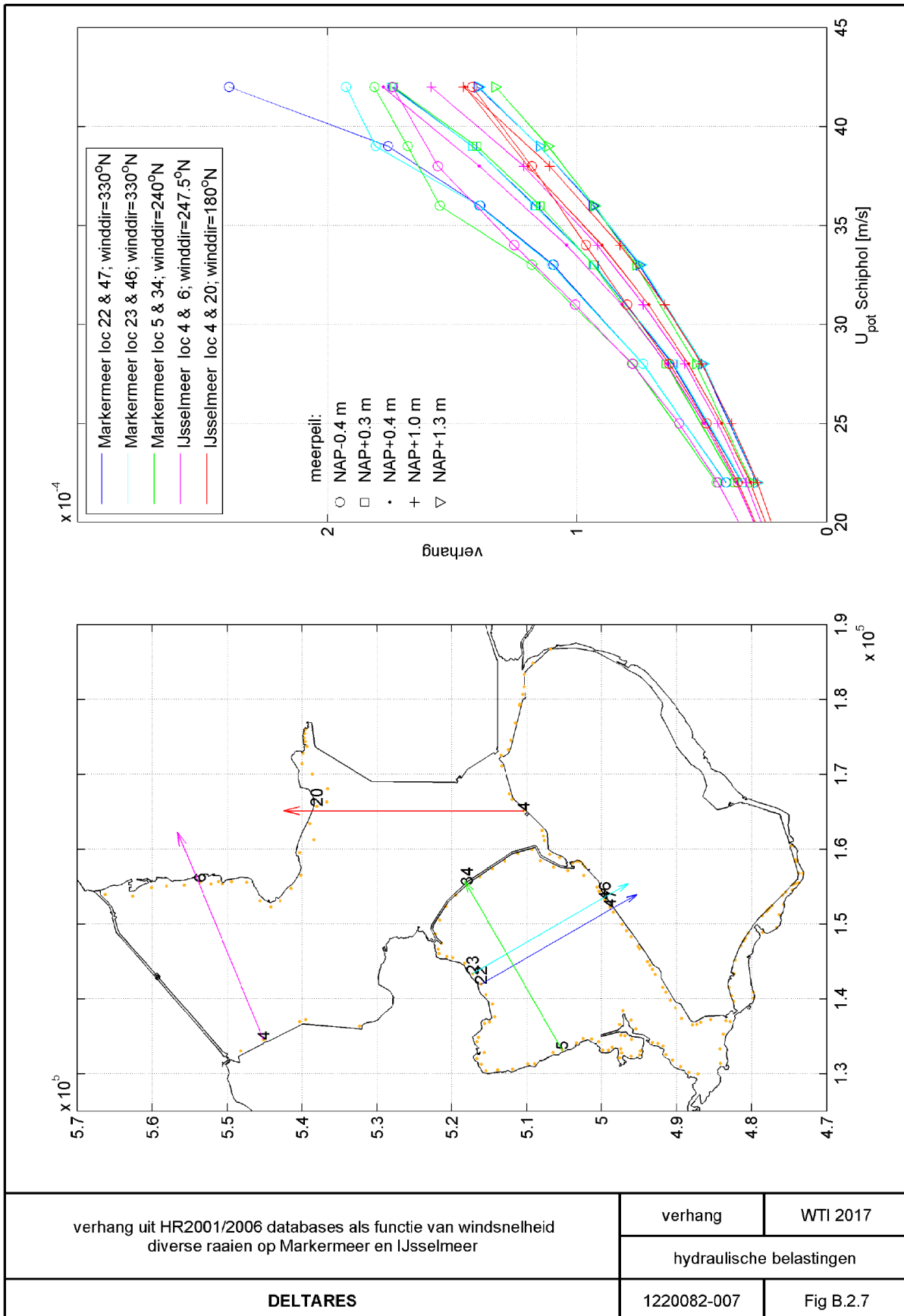
hydraulische belastingen

DELTAIRES

1220082-007

Fig B.2.5





C Bepalen $\sigma_{\text{HISWA obs}}$ o.b.v. $\sigma_{\text{HISWA SWAN}}$ en $\sigma_{\text{SWAN obs}}$ (“Spoor 2”)

$D = \frac{y_s}{x}$ (SWAN versus observaties) en $R = \frac{y_H}{y_s}$ (HISWA versus SWAN)

$$\mu_{\text{HISWAN}} = 1 + \text{relative bias}_{\text{HISWA SWAN}} = \mu_R = \mu_y = 1 - 0.0498 = 0.95$$

$$\mu_{\text{SWANOBS}} = 1 + \text{relative bias}_{\text{SWAN OBS}} = \mu_D = \mu_x = 1 - 0.1145 = 0.89$$

$$\text{var}_{\text{HISWAN}} = \sigma_{\text{HISWAN}}^2 = \text{var}[R] = \text{var}[X] = 0.133^2 = 0.0178$$

$$\text{var}_{\text{SWANOBS}} = \sigma_{\text{SWANOBS}}^2 = \text{var}[D] = \text{var}[Y] = 0.102^2 = 0.0104$$

Met $X=D$ en $Y=R$ zijn via onderstaande formules (Mood, Graybill, Boes, 1974) de waarden te vinden voor relatieve bias respectievelijk relatieve standaard deviatie van HISWA versus metingen. De gevraagde waarde voor μ is gelijk aan onderstaande verwachtingswaarde minus 1, en komt daarmee op -0.16 uit in het voorbeeld voor H_s . Bij gebrek aan informatie over de covariantie beperken we ons tot de termen zonder covariantie.

Voor $\text{var}[X Y]$ beperken we ons tot de eerste twee termen. Let wel dat de gevraagde σ de wortel is van de variantie var . Voor H_s resulteert dat bij bovenstaand voorbeeld in 0.16.

$$\mathcal{E}[X Y] = \mu_X \mu_Y + \text{cov}[X, Y], \quad (12)$$

and

$\text{var}[X Y]$

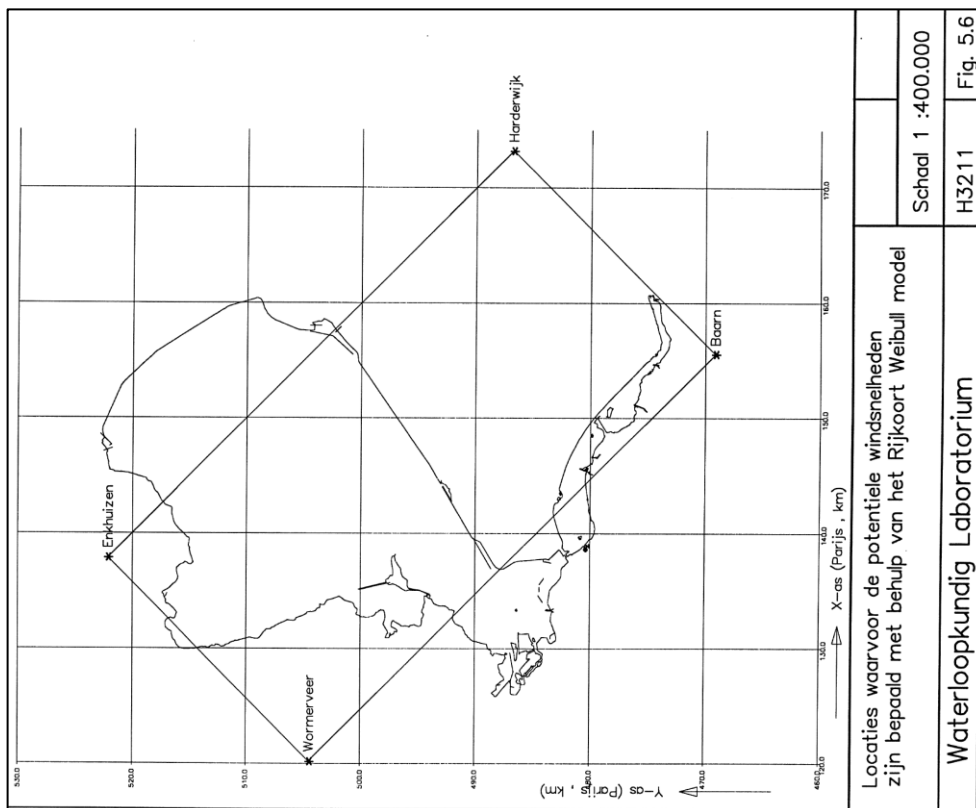
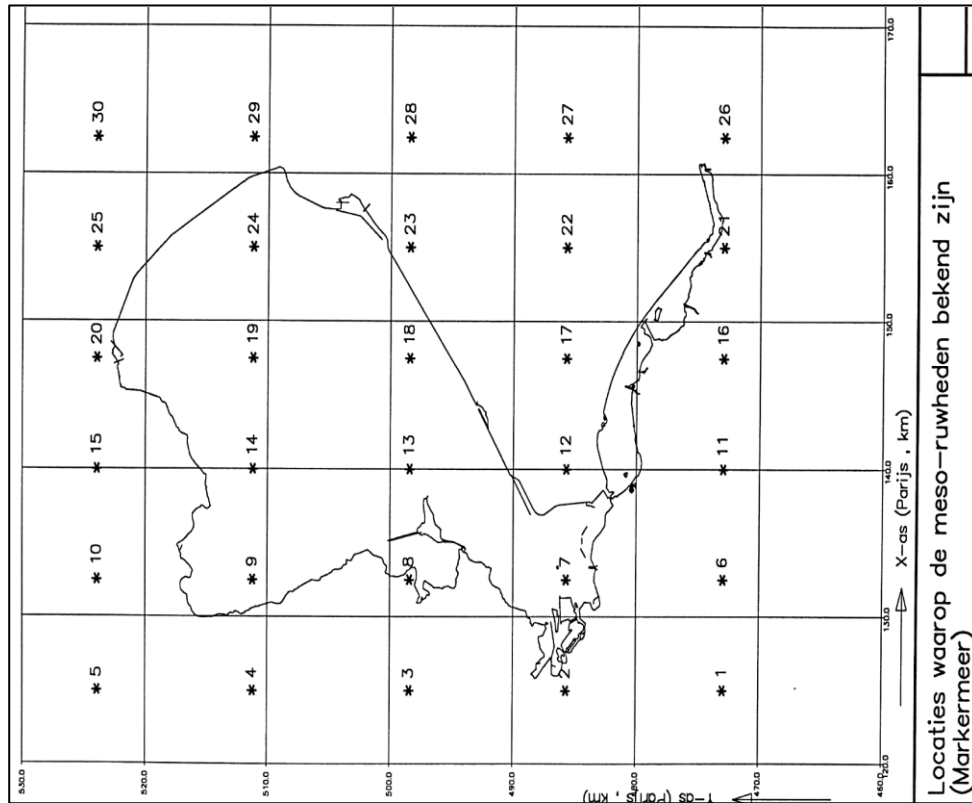
$$\begin{aligned} &= \mu_Y^2 \text{var}[X] + \mu_X^2 \text{var}[Y] + 2\mu_X \mu_Y \text{cov}[X, Y] \\ &\quad - (\text{cov}[X, Y])^2 + \mathcal{E}[(X - \mu_X)^2 (Y - \mu_Y)^2] + \\ &\quad 2\mu_Y \mathcal{E}[(X - \mu_X)^2 (Y - \mu_Y)] + 2\mu_X \mathcal{E}[(X - \mu_X)(Y - \mu_Y)^2]. \end{aligned} \quad (13)$$

D Potentiële windsnelheden op Markermeer windrooster (uit van Haaren (1997))

Tabel BI Potentiële windsnelheden te Schiphol en op de vier windroosterpunten (Harderwijk, Enkhuizen, Wormerveer en Baarn) bij overschrijdingsfrequenties in de range van 10^{-1} tot 10^{-6} , voor 12 windrichtingen (Leeuwestein, 1997).

Wind- richting:							
0	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	15.40	18.70	21.50	24.00	26.30	28.40	Schiphol
	14.50	17.50	20.10	22.50	24.80	26.80	Harderwijk
	16.00	19.30	22.00	24.40	26.60	28.60	Enkhuizen
	15.70	18.90	21.70	24.20	26.40	28.40	Wormerveer
	12.90	15.30	17.70	19.90	22.00	24.00	Baarn
30	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	14.90	17.50	19.70	21.70	23.50	25.20	Schiphol
	14.20	16.40	18.60	20.40	22.10	23.70	Harderwijk
	15.40	18.10	20.30	22.30	24.10	25.80	Enkhuizen
	15.10	17.70	19.90	21.90	23.70	25.40	Wormerveer
	12.90	14.70	16.40	18.10	19.60	21.10	Baarn
60	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	15.50	18.20	20.40	22.30	24.00	25.60	Schiphol
	14.80	17.30	19.30	21.20	22.70	24.20	Harderwijk
	16.00	18.80	21.00	22.90	24.60	26.10	Enkhuizen
	15.70	18.40	20.60	22.40	24.10	25.70	Wormerveer
	13.40	15.40	17.30	19.00	20.30	21.60	Baarn
90	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	15.00	17.50	19.60	21.50	23.10	24.60	Schiphol
	14.20	16.50	18.60	20.30	21.80	23.20	Harderwijk
	15.50	18.00	20.20	22.00	23.70	25.20	Enkhuizen
	15.10	17.70	19.80	21.60	23.30	24.80	Wormerveer
	12.90	14.80	16.60	18.30	19.70	21.00	Baarn
120	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	14.20	16.40	18.50	20.20	21.70	23.10	Schiphol
	13.60	15.60	17.50	19.20	20.60	21.80	Harderwijk
	14.80	17.20	19.10	20.80	22.20	23.60	Enkhuizen
	14.40	16.60	18.70	20.30	21.80	23.20	Wormerveer
	12.30	13.90	15.50	17.20	18.50	19.70	Baarn

150	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	14.60	17.10	19.20	21.00	22.60	24.10	Schiphol
	13.80	15.80	17.80	19.60	21.10	22.50	Harderwijk
	15.30	17.80	19.90	21.80	23.40	24.90	Enkhuizen
	14.90	17.40	19.40	21.30	22.90	24.40	Wormerveer
	12.30	13.90	15.40	17.00	18.40	19.60	Baarn
180	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	17.40	20.40	22.90	25.00	26.90	28.60	Schiphol
	16.30	19.30	21.60	23.70	25.50	27.20	Harderwijk
	18.00	21.00	23.30	25.40	27.30	29.00	Enkhuizen
	17.60	20.60	23.00	25.10	27.00	28.70	Wormerveer
	14.60	17.20	19.40	21.30	23.10	24.70	Baarn
210	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	21.10	24.80	28.00	30.90	33.50	35.90	Schiphol
	20.10	23.80	27.00	29.80	32.40	34.80	Harderwijk
	21.40	25.00	28.00	30.70	33.20	35.40	Enkhuizen
	21.20	24.80	27.90	30.70	33.20	35.60	Wormerveer
	18.50	22.10	25.20	28.00	30.60	32.90	Baarn
240	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	22.70	27.10	30.90	34.30	37.50	40.40	Schiphol
	21.80	26.20	29.90	33.40	36.50	39.40	Harderwijk
	22.90	27.10	30.70	33.90	36.90	39.60	Enkhuizen
	22.70	27.00	30.70	34.00	37.10	39.90	Wormerveer
	20.30	24.60	28.40	31.80	34.90	37.80	Baarn
270	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	23.10	27.90	32.20	36.20	39.90	43.30	Schiphol
	22.20	27.00	31.30	35.30	39.10	42.50	Harderwijk
	23.30	27.80	31.80	35.40	38.70	41.80	Enkhuizen
	23.10	27.80	31.90	35.80	39.30	42.60	Wormerveer
	20.80	25.50	29.80	33.90	37.80	41.40	Baarn
300	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	21.30	26.30	30.60	34.40	37.90	41.10	Schiphol
	20.30	25.30	29.60	33.50	37.00	40.20	Harderwijk
	21.40	26.10	30.10	33.60	36.70	39.60	Enkhuizen
	21.30	26.10	30.30	34.00	37.30	40.40	Wormerveer
	18.80	23.70	28.10	32.00	35.70	39.00	Baarn
330	1E-01	1E-02	1E-03	1E-04	1E-05	1E-06	
	18.60	22.50	25.80	29.00	31.80	34.40	Schiphol
	17.60	21.40	24.60	27.70	30.50	33.20	Harderwijk
	19.00	22.60	25.80	28.70	31.30	33.70	Enkhuizen
	18.80	22.50	25.80	28.80	31.50	34.00	Wormerveer
	15.90	19.50	22.60	25.60	28.40	31.00	Baarn



Additional information m.b.t. generating wind fields (source: van Haaren, 1997)