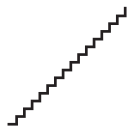


RIZA

**Advies golfrandvoorwaarden
IJburg**

Witteveen+Bos
Heemraadssingel 319
postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
telefoon 010 244 28 00
telefax 010 244 28 88



Advies golfrandvoorwaarden IJburg

referentie	projectcode Rw1352-1	status definitief
projectleider S.T. Pwa	projectdirecteur H.E. Nieboer	datum 22 oktober 2004

autorisatie goedgekeurd	naam S.T. Pwa	Paraaf
-----------------------------------	-------------------------	---------------



INHOUDSOPGAVE	blz.
SAMENVATTING	1
1. INLEIDING	3
1.1. Algemeen	3
1.2. Doel	3
1.3. Leeswijzer	3
2. VALIDATIE SWAN40.31 ABCDEFG	5
2.1. Validatie Slotermeer	5
2.2. Validatie IJsselmeer	7
2.3. Conclusies uit de validaties	10
3. PROEFBEREKENINGEN IJBURG	11
3.1. Vergelijking met golfrandvoorwaarden gebruikt voor ontwerpen	11
3.2. Vergelijking met de theoretische golfgroei-krommen	11
3.3. Ruimtelijke consistentie	17
4. TOEPASBAARHEID VAN HET INSTRUMENT SWAN	20
4.1. Bevindingen uit het onderzoek	20
4.2. Toepasbaarheid van SWAN voor het vaststellen van de golfrandvoorwaarden voor IJburg.	20
5. BENODIGD REKENGEBIED SWAN	23
5.1. Inleiding	23
5.2. Opzet klein rekengebied	23
5.3. Vergelijking grote Markermeer-model en het klein rekengebied	24
5.4. Gevoeligheid voor randvoorwaarden op noordoostelijke modelrand	26
5.5. Gevoeligheid voor afmetingen klein rekengebied	27
5.6. Conclusies en aanbevelingen te gebruiken rekengebied	30
LITERATUURLIJST	31
laatste bladzijde	31

SAMENVATTING

De Wet op de Waterkering schrijft voor dat de primaire waterkeringen eens per vijf jaar worden getoetst. Voor het toetsen van de waterkeringen worden door de minister van Verkeer en Waterstaat eens per vijf jaar de Hydraulische Randvoorwaarden gepubliceerd. De Hydraulische Randvoorwaarden 2001 bevatten voor IJburg echter nog geen golfrandvoorwaarden. Er wordt overwogen het numerieke model SWAN (Simulating WAVes Nearshore) in te zetten om deze golfrandvoorwaarden voor IJburg te bepalen. Kenmerkend voor IJburg is echter het ondiepe water (van het Markermeer en het IJ-meer). Eerdere onderzoeken hebben aangetoond dat de toepasbaarheid van SWAN voor situaties met waterdiepte van dergelijke omvang, niet zondermeer een gegeven is. Er is derhalve nader onderzoek naar de toepasbaarheid van SWAN uitgevoerd. Het voorliggende document is de weerslag van dit onderzoek.

Het doel van de studie is tweeledig:

- een deskundig oordeel vormen over de toepasbaarheid van SWAN voor het vaststellen van de golfrandvoorwaarden voor IJburg;
- het vaststellen van het benodigde rekengebied.

toepasbaarheid van SWAN

Om de toepasbaarheid van SWAN te onderzoeken zijn een aantal analyses uitgevoerd

1. analyse van de kwaliteit (nauwkeurigheid en betrouwbaarheid) van de voorspelling van SWAN. Aan de hand van reconstructies van stormen en vergelijkingen met metingen is dit gevalideerd. Het is gebleken dat SWAN de *golfhoogte* redelijk nauwkeurig voorspeld voor situaties waar aan voorwaarden ten aanzien van strijklengte en waterdiepte werd voldaan en waar uitvoerlocaties geen effecten van beschutting uit de omgeving ondervinden. De *golfperiode* wordt systematisch door SWAN onderschat. Het toepassen van een aangepaste whitecapping formulering in SWAN blijkt in dit verband een aanmerkelijke verbetering in de golfperiodevoorspelling te geven.
2. onderzoek naar de samenhang met de golfrandvoorwaarden voor aansluitende dijkeringen (uit HYDRA-M op basis van HISWA berekeningen). HYDRA-M waarden zijn op locaties in de omgeving van IJburg vergeleken met SWAN uitkomsten. Golfhoogtes worden door SWAN berekend die gemiddeld een vergelijkbare trend vertonen met HYDRA-M, voor de golfperioden worden systematisch (veel) lager waarden berekend.
3. onderzoek naar de beschikbaarheid van andere methoden als alternatief op SWAN. In dit verband zijn de golfgroekrommen van Brestscheider en Young&Verhagen afgespiegeld tegen SWAN. Met betrekking tot de golfhoogte is op basis van de analyse geen voorkeur voor de golfgroekrommen te geven boven het gebruik van SWAN. Voor de golfperiodevoorspelling kan worden beredeneerd dat de golfgroekrommen beter presteren dan SWAN. Met een aangepaste whitecapping formulering vervalt echter naar verwachting de voorsprong van golfgroekrommen;
4. onderzoek naar de aansluiting op reeds gebruikte randvoorwaarden voor ontwerpen. SWAN-berekeningen (met een standaard whitecapping formulering) zijn uitgevoerd en vergeleken met ontwerpcondities die in 1998 reeds zijn bepaald met een oudere SWAN-versie. De condities die met het recente SWAN-model zijn berekend, blijken goed aan te sluiten op de eerder berekende randvoorwaarden.

Op grond van het onderzoek wordt geadviseerd om het SWAN-model als instrument in te zetten om de golfcondities en golfrandvoorwaarden voor IJburg te bepalen. SWAN geldt als state-of-the-art voor golfmodellering. Gebruik van dit model is in lijn met de bepaling van de golfrandvoorwaarden langs andere oevers en langs kusten. Het onderhavig onderzoek lijkt dit gebruik te rechtvaardigen mits aan een aantal belangrijke voorwaarden wordt gehouden:

- er dient te worden gerekend met een aangepaste whitecapping formulering;
- op de uitkomsten voor $T_{m-1,0}$ dient een correctiecoëfficiënt te worden toegepast. In eerste instantie wordt orde 10% hiervoor voorgesteld, maar aanbevolen wordt deze coëfficiëntwaarde te onderwerpen aan een nadere afweging;
- de golfcondities worden alleen berekend voor locaties en situaties waarbij:
 - er sprake is van een strijklengte groter dan orde 1000m en van dieper water.
 - er geen sprake is van een beschutte positie van de uitvoerlocatie.

- er is nader onderzoek gewenst naar het fenomeen van golfgroeilimiet. Hieruit dient de invloed op de uitkomsten van SWAN voor de golfhoogte te worden bepaald en dient een correctiefactor te worden overwogen;
- de consequenties voor reeds opgestelde ontwerpen van keringen dienen nader te worden bepaald.

benodigde rekengebied

De berekeningen in de voorgenoemde analyses zijn uitgevoerd met een model waarin het volledige Markermeer is geschematiseerd. Met het oog op de productieberekeningen in een later stadium en maximale reductie in benodigde rekestijd, is een studie verricht om een rekengebied vast te stellen dat enerzijds zo compact mogelijk is, en anderzijds dezelfde performance levert als het grote Markermeer-model.

Als basis voor het kleine rekengebied diende het grote Markermeer-model waarbij de noordelijke grens dicht bij IJburg is geplaatst. Een optimale positie van deze modelrand werd uiteindelijk gevonden ter hoogte van Marken (oost-west georiënteerd). Om te beoordelen of het kleine rekengebied vergelijkbare resultaten oplevert als het grote Markermeer-model is een serie van vergelijkbare modelberekeningen uitgevoerd. Het kleine rekengebied geeft modeluitkomsten bij IJburg die minder dan 1% afwijken van het grote rekengebied en heeft ongeveer 20% van de rekestijd van het grote model nodig. Het model lijkt hiermee een goed alternatief voor het grote Markermeer-model. Gebruik van een kleiner rekengebied levert als gevolg van discretisatiefouten grotere afwijkingen.

1. INLEIDING

1.1. Algemeen

De Wet op de Waterkering schrijft voor dat de primaire waterkeringen eens per vijf jaar worden getoetst. Voor het toetsen van de waterkeringen worden door de minister van Verkeer en Waterstaat eens per vijf jaar de Hydraulische Randvoorwaarden gepubliceerd. Deze Hydraulische randvoorwaarden omvatten de waterstanden en golfcondities waarmee de primaire waterkeringen getoetst dienen te worden.

Voor de eerstvolgende versie van het Hydraulische Randvoorwaardenboek (2006) worden waarschijnlijk meerdere randvoorwaarden van 2001 gebruikt. De Hydraulische Randvoorwaarden 2001 bevatten echter nog geen golftrandvoorwaarden voor IJburg. Er wordt overwogen het numerieke model SWAN (Simulating WAVes Nearshore) in te zetten om de golftrandvoorwaarden voor IJburg te bepalen.

SWAN is een numeriek model dat in staat is om golfgroei en golfvoortplanting te voorspellen in gebieden waar diffractie en reflectie een beperkte bijdrage leveren aan de golfcondities. Derhalve is in beginsel het gebruik van SWAN een optie om de golfcondities langs de contour (randen) van het projectgebied van IJburg te bepalen. Kenmerkend voor IJburg is echter ook het ondiepe water (van het Markermeer en het IJ-meer). Eerdere onderzoeken hebben aangetoond dat de toepasbaarheid van SWAN voor situaties met waterdiepte van dergelijke omvang, niet zondermeer een gegeven is. Er is derhalve nader onderzoek naar de toepasbaarheid van SWAN uitgevoerd. Het voorliggende document is de weerslag van dit onderzoek. Er wordt opgemerkt dat de golfcondities binnen in het projectgebied, tussen de eilanden, buiten beschouwing zijn gelaten; het model is voor dit binnengebied per definitie niet geschikt.

1.2. Doel

Het doel van de studie gepresenteerd in het voorliggend document, is tweeledig:

- een deskundig oordeel vormen over de toepasbaarheid van SWAN voor het vaststellen van de golftrandvoorwaarden voor IJburg;
- het vaststellen van het benodigde rekengebied.

Binnen dit kader zijn de navolgende onderzoeksvragen geformuleerd.

Onderzoek naar toepasbaarheid van het model SWAN:

- a) Levert SWAN4031ABCDEFGH dezelfde resultaten als SWAN4020A?
- b) Wat zijn de verschillen tussen SWAN en metingen?
- c) Hoe verhouden de modelresultaten zich tot randvoorwaarden voor IJburg die reeds voor ontwerpen zijn opgesteld en gebruikt?
- d) Hoe verhoudt het SWAN-model zich tot alternatieve methodieken voor golfconditiebepaling, namelijk gebruik van golfgroeikrommen?
- e) Hoe verhouden de modelresultaten zich tot de HYDRA-M golftrandvoorwaarden langs de omringende dijkeringen van de locatie IJburg?

Het vaststellen van het benodigd rekengebied van SWAN

- f) Kan met een compacter rekengebied worden volstaan dan het grote rekengebied waarin het Markermeer volledig is opgenomen en waarmee in het verleden meerdere onderzoeken zijn uitgevoerd?
- g) Wat is de gevoeligheid van het benodigd rekengebied voor de keuze van randvoorwaarden en voor de positie van de modelrand?

1.3. Leeswijzer

Het onderzoek is uitgevoerd in de voornoemde volgorde van de onderzoeksvragen.

In hoofdstuk 2 wordt de nieuwste versie van SWAN vergeleken met de versie die in eerdere studies van RIZA uitvoerig zijn gebruikt. Verder wordt het validatieonderzoek op basis van meetgegevens van stormen op het Slotermeer en het IJsselmeer beschreven. Hoofdstuk 3 richt zich op de voornoemde onderzoeksvragen c) t/m e). Hoofdstuk 4 sluit het eerste deel van het onderzoek af met conclusies en

advies over de toepasbaarheid SWAN. Hoofdstuk 5 is vervolgens volledig gewijd aan het tweede deel van de studie, het vaststellen van het benodigd rekegebied.

2. VALIDATIE SWAN40.31ABCDEFGF

2.1. Validatie Slotermeer

opzet berekeningen

Als eerste is SWAN gevalideerd voor een viertal cases op het Slotermeer. Deze berekeningen zijn ontleend aan Bottema (2003). Het betreffende document geeft de prestatie van SWAN40.20a weer voor vier geselecteerde tijdstippen met constante windsnelheid en windrichting (stationaire situatie). Het betreft de volgende tijdstippen (run code tussen haakjes):

- 27 oktober 2002, 15-16 uur (SL-A);
- 26 februari 2002, 14-15 uur (SL-B),
- 12 februari 2002, 13-14 uur (SL-C);
- 10 februari 2002, 4-5 uur (SL-D).

De zogenoemde aansturingscondities zijn in de onderstaande tabel gegeven.

Tabel 2.1. Aansturingscondities cases Slotermeer

Meetserie	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [° t.o.v. Noord]	Waterstand [m+NAP]
SL-A	21.4	252 (WZW)	-0.45
SL-B	20.8	243 (WZW)	-0.29
SL-C	15.0	253 (WZW)	-0.43
SL-D	11.0	245 (WZW)	-0.47

SWAN versie

Alle berekeningen in de onderhavige studie zijn uitgevoerd met SWAN versie 40.31. Hierbij zijn de bugfixes A tot en met G meegenomen in het compileren van de executable. De gebruikte executable is direct gedownload van de SWAN internetsite: www.fluidmechanics.tudelft.nl/swan.

uitvoerlocaties

Voor een afbeelding van het Slotermeer wordt verwezen naar de bijlagen. Op het Slotermeer ligt één meetpunt, SL29. Dit meetpunt ligt in het noordoosten van het meer. Het Slotermeer heeft een relatief vlakke bodem en zonder windopzet een uniforme waterdiepte. De strijklengte tot aan het meetpunt is voor zuidwestelijke richtingen is ongeveer 3000 meter. Vanwege de eenvoudige geometrie is het Slotermeer geschikt om met name 1D golfvoorspellingen te valideren. Een figuur van het Slotermeer is in de bijlagen opgenomen.

verschillen tussen SWAN-versies

Binnen het huidig onderzoek zijn berekeningen beoogd met versie SWAN4031ABCDEFGF. Eén van de onderzoeksvragen is of deze recentere SWAN-versie op dezelfde resultaten komen als de berekeningen met SWAN4020a. Derhalve zijn voor de voornoemde tijdstippen berekeningen uitgevoerd met de nieuwe versie. Voor alle cases is in versie SWAN4031ABCDEFGF gebruik gemaakt van een uniform ruimtelijk windveld en een uniforme waterstand.

Naast de standaardinstellingen zijn cases ook doorgerekend met een aangepaste whitecapping formulering. De macht in de whitecapping formulering van Komen is gelijk gesteld aan 2, in plaats van de standaardwaarde van 1 (commando WCAP KOM 2.36e-5 3.02E-3 2.0 1.0 1.0). Aanleiding tot deze variatie zijn de gunstige resultaten (in termen van betere voorspellingen van de golfperiodematen) die in het onderzoek *Functionality, computational grids en resolution of the wave model SWAN* (Witteveen+Bos, 2004) zijn gevonden met deze instelling. Fysisch betekent deze instelling dat meer energie door het proces van whitecapping in de hogere frequenties wordt gedissipeerd.

De resultaten van deze berekeningen zijn gepresenteerd in tabellen 2.2 tot en met 2.5 in de bijlagen. Hierin zijn verschillende golfparameters, waaronder H_{m0} en $T_{m-1,0}$, gegeven die met het oog op het Hydraulische Randvoorwaardenboek 2006 relevant kunnen zijn.

Vergelijking van de resultaten van SWAN4031 met de resultaten van SWAN4020 laat zien dat er slechts minimale verschillen zijn: qua golfperiode van orde (10^{-3}) en qua golfrichting van orde (10^{-1}). Deze verschillen kunnen door afrondingsfouten zijn ontstaan. Daarnaast heeft het onderzoek *Functionality, computational grids en resolution of the wave model SWAN* (Witteveen+Bos, 2004) aangetoond dat SWAN4020 in zekere mate platformafhankelijk is, hetgeen eveneens een verklaring voor de verschillen kan zijn.

verschillen uitkomsten SWAN en metingen

In de onderstaande tabel 2.6 zijn voor verschillende golfparameters de procentuele *verschillen* gepresenteerd tussen berekeningen en metingen. Het betreft hier de verschillen van de berekende waarden ten opzichte van gemeten waarden; een negatief verschil betekent hier dat de berekende waarde kleiner is dan de gemeten waarde. De resultaten van de berekeningen zelf zijn opgenomen in de tabellen 2.2 tot en met 2.5 in de bijlagen. De gemeten waarden zijn gemiddelden (en dus géén extremen) over een periode van 60 minuten (meetintensiteit 4 Hz).

De vergelijking met metingen geeft het beeld dat SWAN4031 resultaten geeft die significant verschillen van gemeten waarden. De grootste verschillen treden op bij harde wind van 20 [m/s] (cases SL-A en SL-B), de kleinste bij gematigde snelheden van 10-15 [m/s] (cases SL-C en SL-D). Verder valt het op dat de golfhoogte door SWAN in gevallen met matige wind vrij goed voorspeld wordt, in deze gevallen zijn de verschillen van orde 5%.

De door SWAN4031 berekende periodes komen slecht overeen met de metingen; voor $T_{m-1,0}$ varieerde de afwijking tussen 15 en 30%. Op de prestaties van SWAN betreffende golfperiodevoorspellingen wordt in dit en in het volgend hoofdstuk teruggekomen.

Tabel 2.6. Relatieve verschillen van berekeningen SWAN4031 t.o.v. metingen Sloterveer

Case	SL-A	SL-B	SL-C	SL-D	Range
H_{m0} (m)	-20%	-14%	-5%	-4%	-4% / -20%
H_{m0} /diepte	-20%	-14%	-6%	-4%	-4% / -20%
T_p (s)	-24%	-21%	-20%	-11%	-11% / -24%
$T_{m-1,0}$ (s)	-28%	-27%	-19%	-17%	-17% / -28%
T_{m01} (s)	-29%	-29%	-23%	-22%	-22% / -29%
T_{m02} (s)	-35%	-35%	-31%	-31%	-31% / -35%

De slechte uitkomsten voor met name de verschillende golfperiodematen geven aanleiding om ook berekeningen met een aangepaste whitecapping formulering uit te voeren. In de onderstaande tabel 2.7 zijn de uitkomsten van deze berekeningen gegeven. De golfperiodes T_p , T_{m01} , T_{m02} en $T_{m-1,0}$ zijn nu over het algemeen hoger berekend. Vergelijken met de metingen is de maximale onderschatting nu van orde 15%. Er is sprake van een aanmerkelijke verbetering.

Voor de golfhoogte levert de aangepaste whitecapping formulering eveneens een sterke verbetering. Voor de gematigder cases (2 stuks) werd zelfs een afwijking van 1% verkregen.

Tabel 2.7 Relatieve verschillen van berekeningen SWAN4031 t.o.v. metingen Slotermeer; aangepaste whitecapping formulering

Case	SL-A	SL-B	SL-C	SL-D	Range
H _{m0} (m)	-17%	-10%	1%	1%	-17% / 1%
H _{m0} /diepte	-17%	-10%	0%	1%	-17% / 1%
T _p (s)	-16%	-14%	-13%	-2%	-16% / -2%
T _{m-1,0} (s)	-16%	-14%	-5%	-4%	-16% / -4%
T _{m01} (s)	-12%	-10%	-2%	-2%	-12% / -2%
T _{m02} (s)	-8%	-8%	0%	-2%	-8% / -0%

2.2. Validatie IJsselmeer

opzet berekeningen

Als tweede caseserie zijn gemeten stormen op het IJsselmeer gebruikt. SWAN is gevalideerd met een zestal cases voor dit meer. Deze validatieberekeningen zijn ontleend aan Bottema (2003). Onderstaand wordt ingegaan op het onderzoek naar de prestaties van SWAN40.20a voor zes geselecteerde tijdstippen. Er is hierbij sprake van een constante windsnelheid en windrichting (quasi-stationaire situatie) en een uniform windveld. Het betreft de volgende tijdstippen:

- 2 februari 1999, 3-4 uur;
- 27 oktober 2002, 14:20-15:20 uur
- 12 november 2002, 13-14 uur
- 2 april 2003, 14-15 uur
- 22 februari 2002, 5-6 uur
- 22 oktober 2002, 19-20 uur

De berekeningen uit Bottema (2003) waren uitgevoerd met de oudere versie SWAN4020a. In de onderhavige studie zijn deze berekeningen herhaald met de meest recente versie SWAN4031ABCDEFGF. De berekeningen zijn hierbij uitgevoerd met zowel de standaard als de aangepaste whitecapping formulering.

Voor alle cases is gebruik gemaakt van een uniform ruimtelijk windveld en een uniforme waterstand. De zogenoemde aansturingscondities zijn in de onderstaande tabel 2.8 gegeven.

Tabel 2.8. Aansturingscondities cases IJsselmeer

Meetserie	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [° t.o.v. Noord]	Waterstand [m+NAP]
Y-A	15.2	215 (ZW)	-0.12
Y-B	23.8	249 (WZW)	+0.23
Y-C	10.3	192 (ZZW)	-0.25
Y-D	15.1	325 (NW)	-0.11
Y-E	18.7	210 (ZZW)	+0.25
Y-F	10.1	180 (Z)	-0.37

uitvoerlocaties

Op het IJsselmeer zijn 5 meetpunten beschikbaar: FL2, FL9, FL5, FL25 en FL26. In de bijlagen is een overzichtskaart van het IJsselmeer opgenomen, met deze locaties hierin afgebeeld.

De meetlocaties hebben sterk variërende eigenschappen qua diepte en mogelijke strijklengten. Wanneer gekeken wordt naar de overeenkomsten met IJburg kan gesteld worden dat op de locaties FL2 en FL26 bij noordwesten wind sprake is van een situatie (strijklengte) die redelijk vergelijkbaar is met een

NO wind bij IJburg. De waterdiepte op het IJsselmeer is globaal orde 50% groter dan op het Markermeer.

De beschikbare meetgegevens voor het IJsselmeer (zie volgend hoofdstuk) hebben voornamelijk betrekking op situaties met zuidelijke en noordwestelijke winden; bij de zuidelijke winden hebben de meetpunten FL5 en FL9 dan een relatief lange strijklengte, bij noordwestelijke wind geldt dit voor FL2 en FL26. De waterdiepte bij FL5 en ook FL25 is zeer beperkt, FL25 onderscheidt zich ook door haar beschutte positie ten opzichte van Enkhuizen. Voor meer uitgebreide informatie wordt verwezen naar de Testmemo SWAN40.20a (Bottema, 2003).

verschillen tussen SWAN-versies

Analyse van de resultaten van SWAN4031ABCDEFGH laat zien dat de verschillen met die van SWAN4020 marginaal zijn. De trend is vergelijkbaar met die van de eerdere validatie voor het Slotermeer. Net als voor het Slotermeer het geval is, leidt SWAN met een aangepaste whitecapping formulering tot hogere golfperioden.

verschillen uitkomsten SWAN en metingen

De uitkomsten van de berekeningen zijn opgenomen in tabel 2.9 t/m 2.14 in de bijlagen. Uit de berekeningen blijkt dat SWAN de golfhoogte H_{m0} en de twee golfperiodematen op de meetlocatie FL25 zeer slecht voorspelt. De uitkomsten wijken ook sterk af van die op de andere uitvoerlocaties. De afwijking kan voornamelijk worden toegeschreven aan de beschutte ligging van het meetpunt. Geconcludeerd dient te worden dat aan de uitkomsten van deze meetlocatie geen waarde gehecht dient te worden. In de navolgende beschouwingen is deze locatie dan ook niet verder meegenomen.

Tabel 2.15 in het onderstaande geeft een overzicht van de verschillen tussen berekeningen en metingen. De verschillen zijn ook grafisch afgebeeld in de onderstaande figuren 2.1 t/m 2.3.

De volgende zaken vallen op ten aanzien van de verschillen in respectievelijk golfhoogte en golfperiode tussen SWAN berekeningen en metingen:

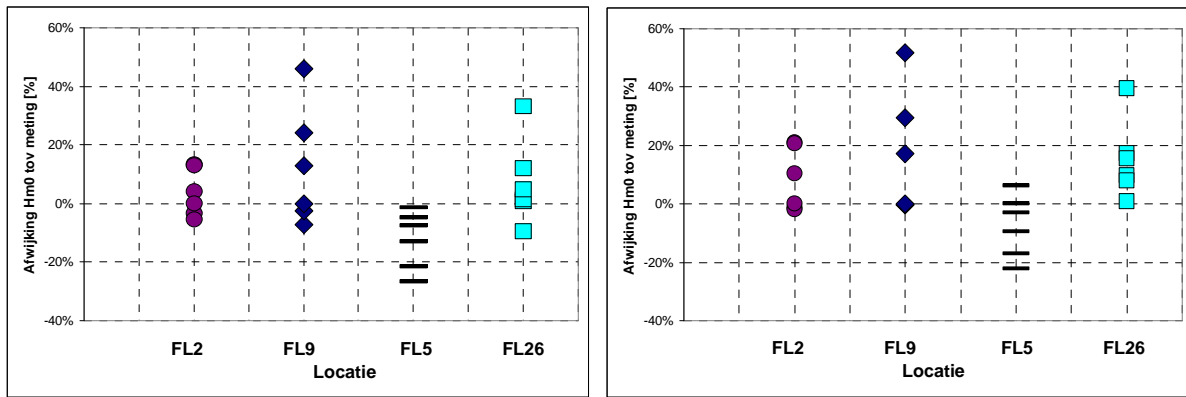
- Vergelijking met de metingen geven te zien dat in sommige gevallen de *golfhoogte* door SWAN wordt overschat (tot ca 50%) terwijl in andere gevallen de golfhoogte wordt onderschat (ca 25%); Gemiddeld kan worden gesteld dat H_{m0} door SWAN redelijk goed (met een lichte mate van overschatting) kan worden voorspeld voor situaties met grote strijklengtes en dieper water. Representatief voor dit beeld zijn de uitkomsten voor locatie FL2 waar, op een enkele case na, de verschillen met waarnemingen kleiner dan 10% waren;
- op de locatie FL5, waar de waterdiepte beperkt is, wordt de H_{m0} ten gevolge van te sterke golfbreken door SWAN onderschat;
- ook bij kortere strijklengten kan SWAN de golfhoogte redelijk goed voorspellen. Dit illustreert FL26 waar voor 5 van de 6 validatiecases sprake is van korte fetches.
- de alternatieve whitecapping formulering in SWAN leidt tot iets hogere golven dan bij default instelling van dit dissipatieproces (zie de rechterfiguren in afbeeldingen 2.1 t/m 2.3);
- De voorspelling van de *golfperiode* geeft een meer eenduidige foutentrend, namelijk die van onderschatting. $T_{m-1,0}$ wordt door SWAN structureel onderschat met gemiddeld 13% en met uitschieters naar 25%. De piekperiode T_p wordt ook structureel door SWAN onderschat maar de afwijkingen zijn kleiner (gemiddeld 8%).
- de alternatieve whitecapping formulering geeft aanmerkelijke verbeteringen van de voorspellingen van beide periodematen. De afwijkingen ten opzichte van metingen variëren van onderschatting (8% voor T_p en 13% voor $T_{m-1,0}$ tot overschatting -van 15%-, en bedragen gemiddeld 1% voor zowel T_p als $T_{m-1,0}$).

De resultaten voor de IJsselmeercases zijn overigens in het algemeen minder consistent dan die voor het Slotermeer. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk het feit dat de SWAN-berekeningen uitgaan van uniforme wind en waterstandsvelden. Op het grote IJsselmeer gaat dit minder op dan op het kleinere Slotermeer waar ruimtelijke variaties van veel kleinere omvang zijn.

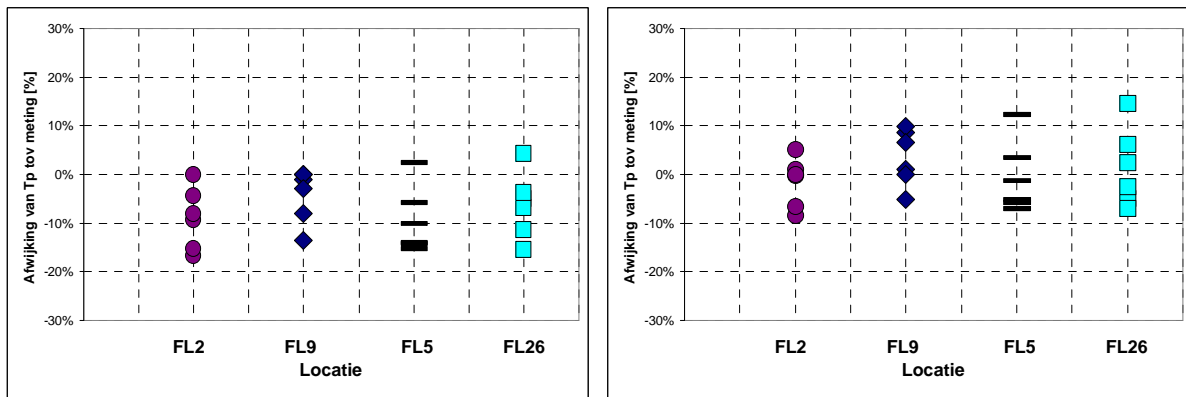
Tabel 2.15. Verschillen (%) tussen rekenresultaten en metingen- IJsselmeer

Case	SWAN4031		SWAN4031 met aangepaste whitecapping	
	Gemiddelde	Range	Gemiddelde	Range
H_{m0} (m)	3%	-27% tot 46%	9%	-22% tot 52%
T_p (s)	-8%	-17% tot 4%	1%	-8% tot 15%
$T_{m-1,0}$ (s)	-13%	-25% tot -6%	1%	-13 tot 15%
T_{m01} (s)	-16%	-8% tot -7%	5%	-8% tot 11%
T_{m02} (s)	-24%	-35% tot -11%	6%	-6% tot 27%

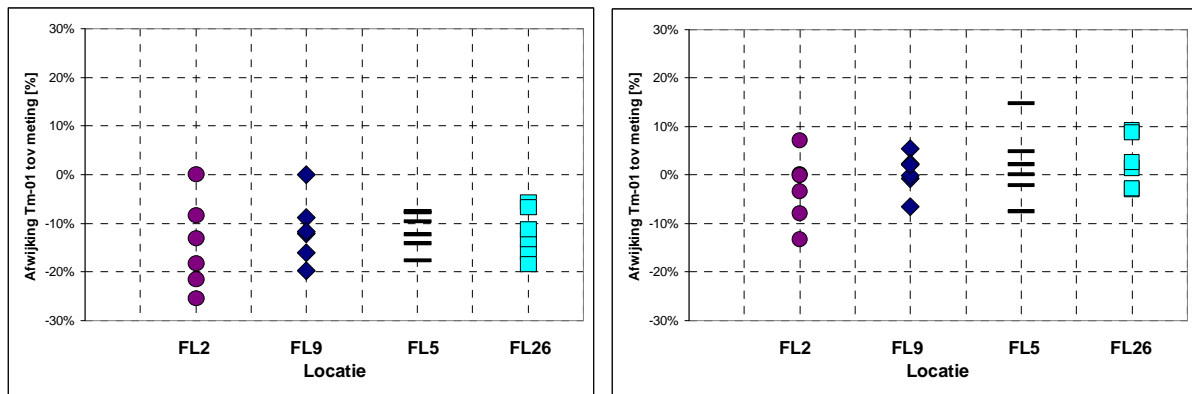
Afbeelding 2.1 SWAN vrs meting IJsselmeer : H_{m0} (rechts aangepaste whitecapping)



Afbeelding 2.2 SWAN vrs meting IJsselmeer : T_p (rechts aangepaste whitecapping)



Afbeelding 2.3 SWAN vrs meting IJsselmeer : $T_{m-1,0}$ (rechts aangepaste whitecapping)



2.3. Conclusies uit de validaties

Op basis van de validaties kan in relatie tot het vraagstuk (de toepasbaarheid van SWAN voor IJburg) het navolgende worden gesteld:

- de kwaliteit van de voorspellingen van de golfhoogte H_{m0} kan variëren. Dit is zowel bij de cases van het IJsselmeer in sterkere mate het geval dan bij de cases van het Slotermeer.
- in de Slotermeer-cases geeft SWAN een onderschatting van de golfhoogte. In de IJsselmeer-cases was sprake van zowel onderschattingen als overschattingen (met gemiddeld een lichte overschatting).
- in het geval van grote strijklengtes en een grotere waterdiepte is SWAN wel in staat om een goede voorspelling van de H_{m0} te geven. Toepassingen in andere gevallen (vooral bij zeer beperkte waterdiepte) dienen op grond van de validaties afgeraden te worden.
- Bij een aangepaste whitecapping formulering (die een gunstig effect op de perioden heeft) worden hogere golven gevonden. Bij het Slotermeer leidde dit tot zeer goede benadering van de metingen (vooral voor de cases met gematigder condities); bij het IJsselmeer ontstonden door de aanpassing juist wat grotere afwijkingen van de metingen (overschattingen).
- in de extrapolatie naar maatgevende condities waarvoor de randvoorwaarden van IJburg moeten worden bepaald, dient rekening te worden gehouden met het fenomeen van golfgroeilimiet: het SWAN model zal H_{m0} onderschatten bij extreme combinaties van geringe waterdiepten en hoge windsnelheden. In het geval van IJburg is onder maatgevende conditie sprake van orde 4 m waterdiepte bij windsnelheden van boven 30 m/s. Er is een kans op onderschatting maar er bestaat geen inzicht in de mate waarin onder deze omstandigheden het fenomeen zich zal manifesteren.
- de energieperiode $T_{m-1,0}$ blijft achter bij de metingen; orde 15% voor de IJsselmeercases tot orde 30% voor de Slotermeercases;
- het toepassen van SWAN4031 met een aangepaste whitecapping formulering resulteert in hogere golfperioden en leidt daardoor tot uitkomsten die aanmerkelijk beter overeenkomen met de metingen. Dit manifesteert zich in kleinere afwijkingen van de metingen (voor het Slotermeer neemt de onderschatting van de $T_{m-1,0}$ af tot orde 5 tot 15%) of in het verdwijnen van het trendmatig karakter van de afwijkingen (dus geen systematisch onderschatting meer voor de IJsselmeer-cases, het gemiddelde van alle berekende waarden is nagenoeg gelijk aan die van de metingen).

3. PROEFBEREKENINGEN IJBURG

3.1. Vergelijking met golfrandvoorwaarden gebruikt voor ontwerpen

In het kader van het ontwerp van IJburg zijn in 1998 door WL|Delft Hydraulics golfrandvoorwaarden voor het ontwerp van IJburg vastgesteld. In deze studie werd SWAN30.75 gebruikt. In de modelschematisatie was het gehele Markermeer opgenomen. Verder zijn waterstandsvelden tijdens ontwerpomstandigheden vastgesteld die vervolgens in het SWAN-model zijn opgelegd. De studie heeft geresulteerd in golfrandvoorwaarden langs de randen van het projectgebied en in het projectgebied (tussen de eilanden).

In het kader van het onderzoek naar de toepasbaarheid van SWAN zijn opnieuw berekeningen uitgevoerd met de nieuwe SWAN-versie met als doel de uitkomsten voor IJburg te vergelijken met de golfrandvoorwaarden uit de studie van WL|Delft Hydraulics. In de door RIZA aangeleverde bodemschematisatie zijn hiertoe eerst de eilanden van IJburg in het SWAN-model geschematiseerd. Verder zijn dezelfde modelinstellingen aangehouden als de door RIZA aangeleverde commandobestand. De berekeningen zijn vervolgens uitgevoerd met dezelfde waterstand en windcondities als in de studie van WL|Delft Hydraulics; tot slot zijn 2 uitvoerlocaties aan de rand van het projectgebied gekozen waar de modeluitkomsten onderling worden vergeleken. De onderstaande tabel geeft de aansturingcondities weer.

Tabel 3.1a. Aansturingcondities: vergelijking met eerder bepaalde golfrandvoorwaarden

Codering	Meerpeil [m+NAP]	Windrichting [° tov N]	Windsnelheid [m/s]	Waterstand [m+NAP]
C002	-0.4	30	30	1.00

De resultaten van de huidige berekeningen, alsmede de reeds bestaande randvoorwaarden voor IJburg zijn samengevat in tabel 3.1. De tabel laat zien dat ten opzichte van de reeds bestaande golfrandvoorwaarden door SWAN4031 iets lagere golfhoogte maar iets grotere periode wordt voorspeld. Het aantal vergelijkingen is beperkt. Voor het trekken van conclusies ten aanzien van de ontwerpen die zijn opgesteld op basis van de randvoorwaarden destijds, is een uitgebreider onderbouwing gewenst met vergelijking van berekeningen voor meerdere aansturingcondities dan die uit Tabel 3.1a. Deze uitgebreidere beschouwing kon hier niet gemaakt worden doordat de uitkomsten van de berekeningen voor de andere aansturingcondities niet zijn opgenomen in het rapport van het WL|Delft Hydraulics (1998).

Tabel 3.1b. Bestaande golfrandvoorwaarden versus SWAN4031

Case	WL19		WL 32	
	WL	SWAN4031	WL	SWAN4031
H_{m0} (m)	1.6	1.49	1.5	1.45
T_p (s)	3.8	4.1	3.9	4.1
Golfrichting [°]	45	35	40	42

3.2. Vergelijking met de theoretische golfgroeikrommen

Het onderzoek richt zich op de vraag of SWAN geschikt is om hiermee de randvoorwaarden IJburg te bepalen. Dit roept de wedervraag op of in dit verband er ook alternatieven voor handen zijn. Anticiperend hierop is de toepassing van golfgroeicurven van Bretschneider en Young&Verhagen als alternatief op SWAN nader beschouwd. De formulering van beide golfgroeikrommen is in de bijlagen opgenomen. Voor een negental proefberekeningen zijn voor IJburg de prestaties van de golfgroeikrommen vergeleken met SWAN-berekeningen. De aansturingcondities van deze berekeningen zijn samengevat in tabel 3.2. De berekeningen zijn uitgevoerd met de SWAN-schematisatie zoals beschreven in het voor-

gaande hoofdstuk. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de genoemde windsnelheid is vertaald naar een open-water-windsnelheid. De windopzet is als een uniforme waterstandsverhoging opgelegd.

Tabel 3.2. Aansturingscondities: vergelijking met golfgroei krommen

Codering	Meerpeil [m+NAP]	Windrichting [° tov N]	Windsnelheid [m/s]	Waterstand [m+NAP]
A001	0.3	0	15	0.52
A002	0.3	60	15	0.50
A003	0.3	120	15	0.30
A004	0.3	180	15	0.11
B001	0.3	0	30	1.34
B002	0.3	60	30	1.29
B003	0.3	120	30	0.34
B004	0.3	180	30	-0.73
C002	-0.4	30	30	1.00
B008	0.3	90	30	0.65

Per case zijn voor de twee locaties WL19 en WL 32 (uit de WL|Delft Hydraulics studie) de berekende golfrandvoorwaarden met SWAN vergeleken met schattingen van Bretschneider en Young&Verhagen; in elke case is een passende strijklengte en bijbehorende gemiddelde waterdiepte vastgesteld. De golfgroei krommen hebben de piekperiode als periodemaat. Ten behoeve van de vergelijking zijn de piekperiodes ook getransformeerd tot $T_{m-1,0}$. Hiertoe zijn het TMA spectrum en vervolgens de spectrale momenten m_{-1} en m_0 bepaald. $T_{m-1,0}$ wordt gevonden door deze waarden op elkaar te delen. Deze exercitie is uitgevoerd voor een aantal waterdiepten en strijklengten. Dit leidt uiteindelijk tot een globale omrekenfactor van 1.35 waarmee de uitkomsten van T_p zijn verrekend.

De resultaten zijn gepresenteerd in de tabellen 3.3a en 3.3b. Hierin zijn ook de procentuele verschillen weergegeven van de uitkomsten van SWAN ten opzichte van die van golfgroei krommen; een negatief verschil betekent dus dat de met SWAN berekende waarde kleiner is. In Afbeelding 3.1 is op de horizontale as de H_{m0} berekend door SWAN4031 uitgezet tegen de uitkomsten volgens Bretschneider en Young&Verhagen op de verticale as. De resultaten laten het volgend beeld zien:

- voor H_{m0} worden zowel hogere als lagere waarden door SWAN4031 berekend dan met Bretschneider en Young&Verhagen;
- qua trend valt Bretschneider samen met SWAN;
- de verschillen tussen Bretschneider en SWAN zijn kleiner dan die tussen Young&Verhagen en SWAN
- in sommige gevallen berekent SWAN veel grotere golfhoogte als Young&Verhagen. Het blijkt dat het met name gaat om de gevallen met de korte strijklengten.

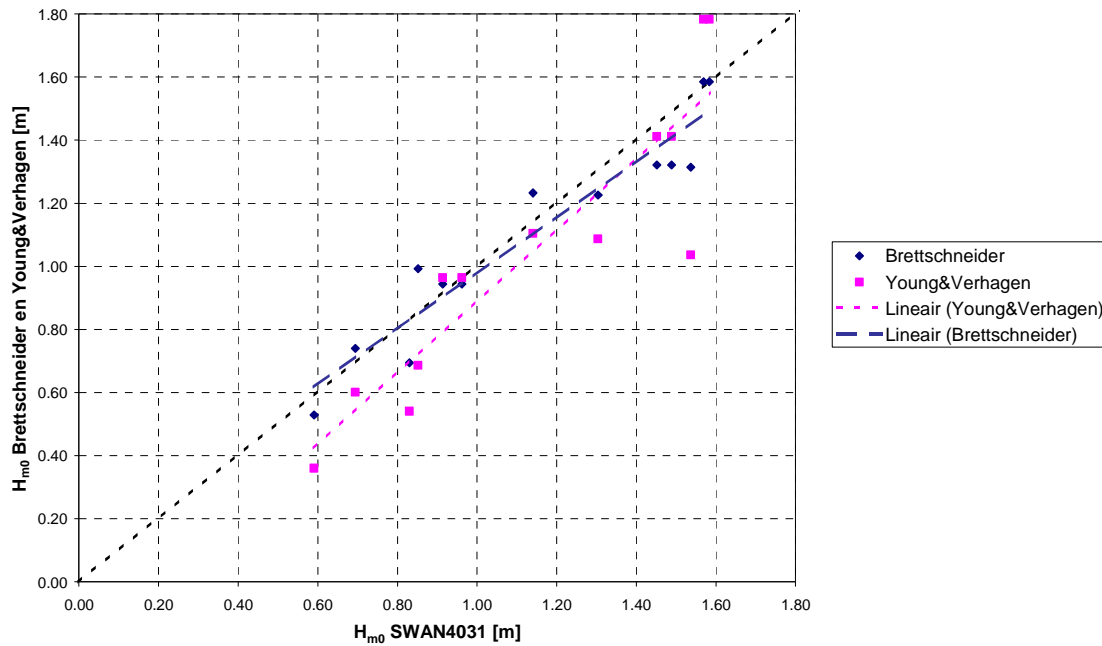
Tabel 3.3a. Vergelijking proefsommen met theoretische golfgroeicurve Bretschneider

Code	Locatie	Strijk- lengte [m]	θ [°]	Bretschneider			SWAN4031			Verschillen		
				H_{m0} [m]	T_p [sec]	$T_{m-1,0}$ [sec]	H_{m0} [m]	T_p [sec]	$T_{m-1,0}$ [sec]	H_{m0} %	T_p %	$T_{m-1,0}$ %
A001	WL19	5000	0	0.69	3.31	2.45	0.83	3.07	2.26	16%	-8%	-8%
A002	WL32	10000	60	0.94	4.46	3.30	0.91	3.37	2.43	-3%	-32%	-36%
A002	WL19	12000	60	0.94	4.46	3.30	0.96	3.70	2.50	2%	-20%	-32%
A003	WL19	6500	120	0.74	3.47	2.57	0.69	2.80	2.05	-7%	-24%	-25%
A004	WL19	2500	180	0.53	2.78	2.06	0.59	2.55	1.88	10%	-9%	-10%
B001	WL19	5000	0	1.31	4.52	3.35	1.54	4.07	2.90	14%	-11%	-16%
B002	WL32	10000	60	1.59	6.00	4.45	1.57	4.47	2.97	-1%	-34%	-50%
B002	WL19	12000	60	1.59	6.00	4.45	1.58	4.47	3.01	0%	-34%	-47%
B003	WL19	6500	120	1.23	4.59	3.40	1.14	3.70	2.41	-8%	-24%	-41%
B004	WL19	2500	180	0.99	3.75	2.78	0.85	2.80	2.06	-17%	-34%	-35%
C002	WL19	9400	30	1.32	5.19	3.85	1.49	4.07	2.90	11%	-28%	-32%
C002	WL32	18000	30	1.32	5.19	3.85	1.45	4.07	2.81	9%	-28%	-37%
B008	WL19	6100	90	1.23	4.56	3.38	1.30	3.70	2.65	6%	-23%	-27%

Tabel 3.3b. Vergelijking proefsommen met theoretische golfgroeicurve Young&Verhagen

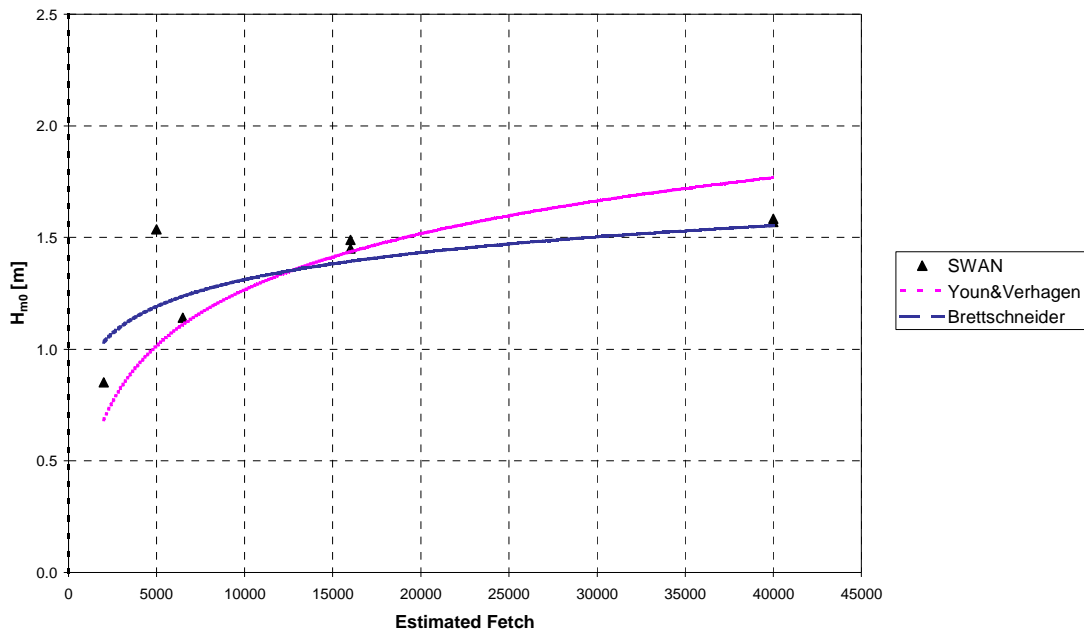
Code	Locatie	Strijk- lengte [m]	θ [°]	Young&Verhagen			SWAN4031			Verschillen		
				H_{m0} [m]	T_p [sec]	$T_{m-1,0}$ [sec]	H_{m0} [m]	T_p [sec]	$T_{m-1,0}$ [sec]	H_{m0} %	T_p %	$T_{m-1,0}$ %
A001	WL19	5000	0	0.54	3.05	2.26	0.83	3.07	2.26	35%	1%	0%
A002	WL32	10000	60	0.96	4.04	2.99	0.91	3.37	2.43	-5%	-20%	-23%
A002	WL19	12000	60	0.96	4.04	2.99	0.96	3.70	2.50	0%	-9%	-20%
A003	WL19	6500	120	0.60	3.24	2.40	0.69	2.80	2.05	13%	-16%	-17%
A004	WL19	2500	180	0.36	2.43	1.80	0.59	2.55	1.88	39%	5%	4%
B001	WL19	5000	0	1.04	4.09	3.03	1.54	4.07	2.90	33%	0%	-4%
B002	WL32	10000	60	1.78	5.20	3.85	1.57	4.47	2.97	-14%	-17%	-30%
B002	WL19	12000	60	1.78	5.20	3.85	1.58	4.47	3.01	-13%	-17%	-28%
B003	WL19	6500	120	1.10	4.21	3.12	1.14	3.70	2.41	3%	-14%	-30%
B004	WL19	2500	180	0.69	3.26	2.42	0.85	2.80	2.06	19%	-17%	-17%
C002	WL19	9400	30	1.41	4.68	3.47	1.49	4.07	2.90	5%	-15%	-19%
C002	WL32	18000	30	1.41	4.68	3.47	1.45	4.07	2.81	3%	-15%	-23%
B008	WL19	6100	90	1.09	4.18	3.09	1.30	3.70	2.65	17%	-13%	-17%

Afbeelding 3.1. Vergelijking H_{m0} proefberekeningen met theoretische golfgroei-curves



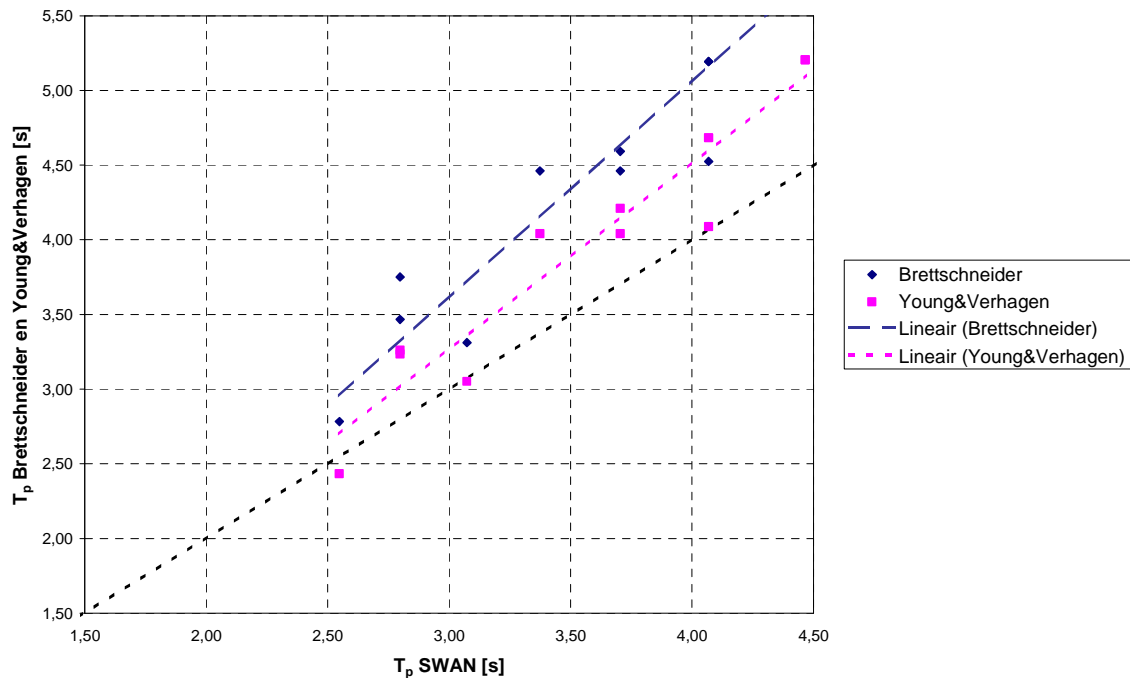
Een andere vergelijking (voor cases met windsnelheid van 30 [m/s]) is weergegeven in Afbeelding 3.2 waar de golfhoogte H_{m0} als functie van de strijklengte wordt gegeven. De afbeelding laat zien dat het SWAN-model uitkomsten geeft die beide golfgroei-curves redelijk benaderen. Een uitzondering ligt bij een strijklengte van 5km. De wind komt bij dit punt uit het noorden. SWAN berekent echter een golfveld die niet uit het noorden maar uit noord-oostelijke richting komt en dat vervolgens refracteert. Deze golven corresponderen feitelijk met grotere strijklengten en derhalve wordt door SWAN een hogere waarde berekend dan met Brettschneider of Young&Verhagen.

Afbeelding 3.2. Vergelijking H_{m0} proefberekeningen met theoretische golfgroei-curve (fetch)



Voor de piekperiode T_p is in Afbeelding 3.3 de verhouding tussen uitkomsten met SWAN en die met golfgroei-curve gegeven. Het bevestigt het beeld dat SWAN lage golfperiodes geeft. Het verschil met de waarden volgens de golfgroei-curve bedraagt orde grootte van 20 tot 30%.

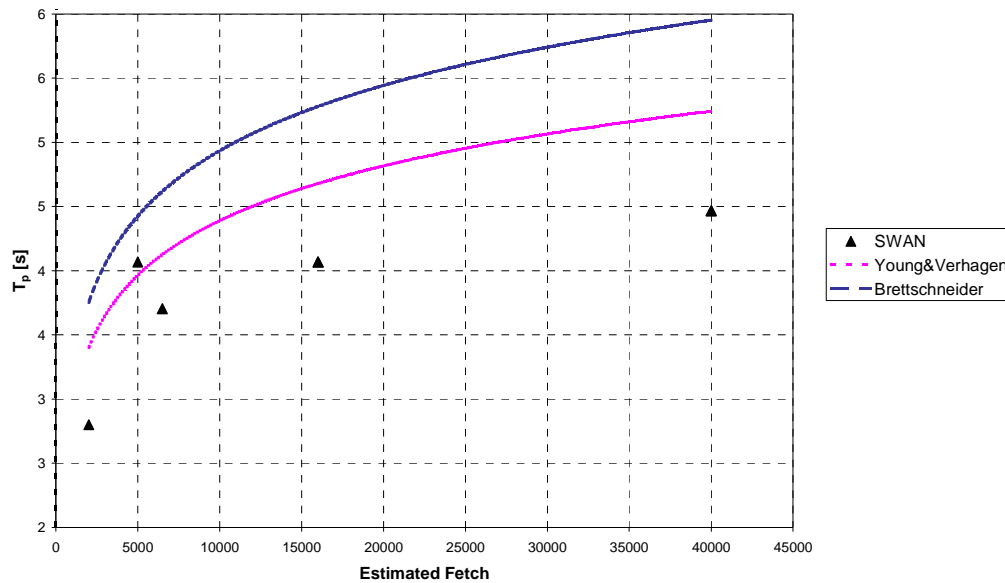
Afbeelding 3.3. Vergelijking T_p proefberekeningen met theoretische golfgroei-curve



Een vergelijking van de piekperiode T_p als functie van de strijklengte is weergegeven in Afbeelding 3.4. De afbeelding laat de SWAN cases met een windsnelheid van 30 [m/s] zien. De berekende golfperiode

met SWAN4031 ligt systematisch ver onder die van de golfgroeicurves. De verklaring voor de uitkomst bij een strijklengte van 5 km is reeds eerder gegeven.

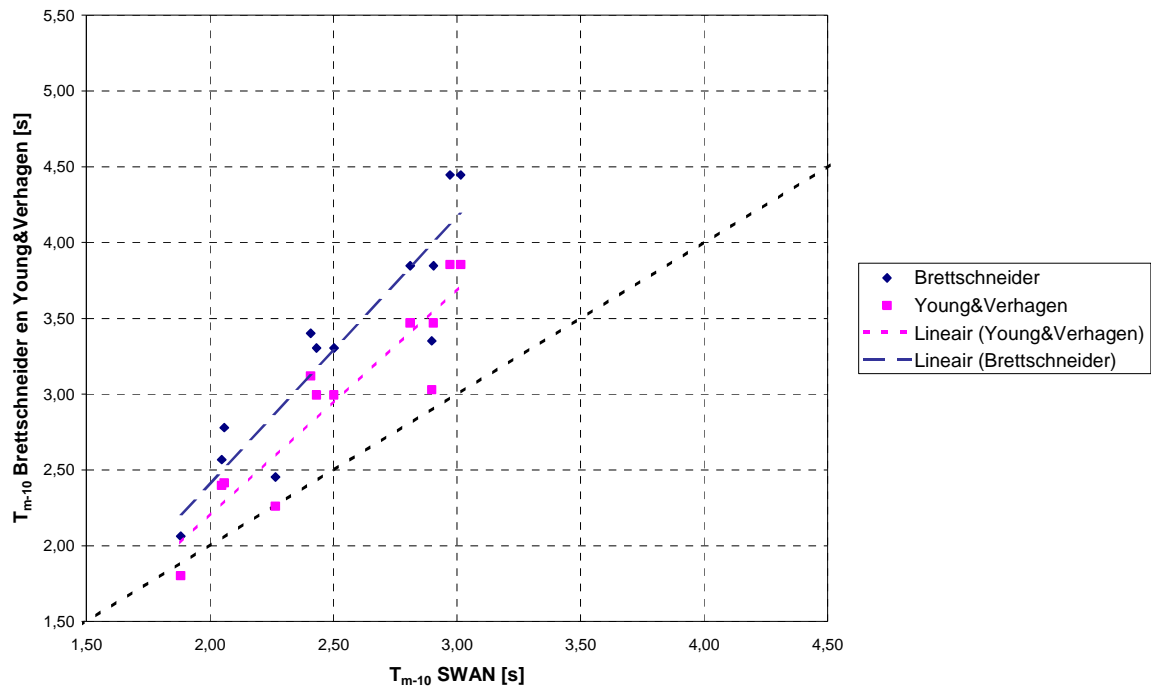
Afbeelding 3.4. Vergelijking T_p proefberekeningen met theoretische golfgroeicurves (fetch)



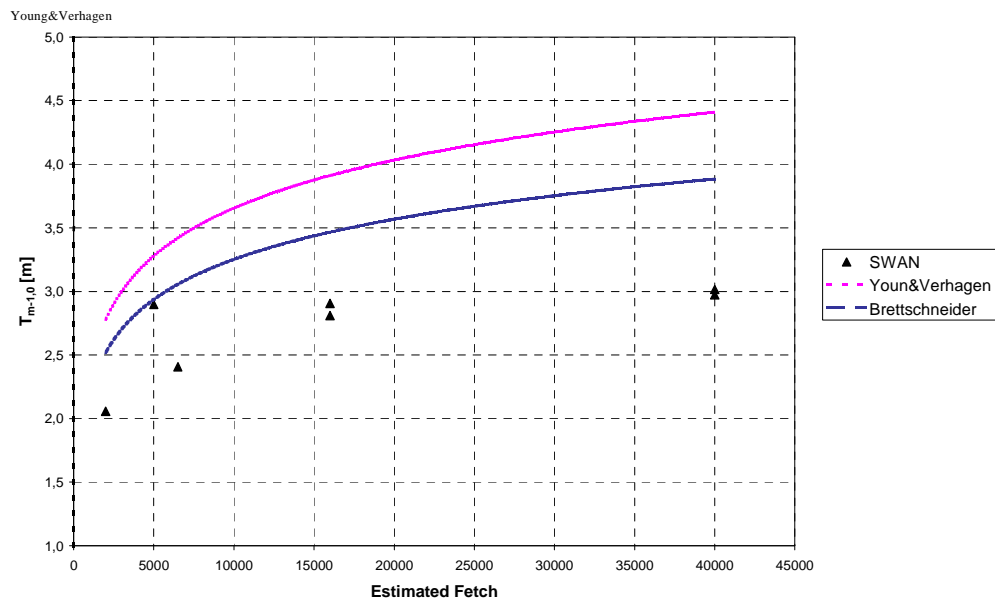
Tot slot is een vergelijking gemaakt voor de gemiddelde golfperiode $T_{m-1,0}$. De resultaten zijn opgenomen in Afbeelding 3.5. Deze afbeelding laat duidelijk zien dat de $T_{m-1,0}$ door SWAN berekend, beduidend lager is dan bij de theoretische golfgroeicurves. Het beeld komt overeen met dat uit de eerdere validatie (forse onderschatting van $T_{m-1,0}$).

In afbeelding 3.5 is ook te zien dat bij langere golven het verschil tussen met SWAN en met de Brettschneider berekende $T_{m-1,0}$ groter is dan met Young&Verhagen. Het verschil varieert tussen 20% bij Young&Verhagen tot 40% bij Brettschneider.

Afbeelding 3.5. Vergelijking $T_{m-1,0}$ proefberekningen met theoretische golfgroeicurves



Afbeelding 3.6. Vergelijking $T_{m-1,0}$ proefberekningen met theoretische golfgroeicurves (fetch)



3.3. Ruimtelijke consistentie

In de beoordeling van de toepasbaarheid van SWAN speelt het praktische aspect dat het model tot golfrandvoorwaarden moet leiden die consistent zijn met de randvoorwaarden, uit HYDRA-M, in de omgeving rond IJburg. Afwijkende waarden leiden tot een inconsistent ruimtelijk beeld en kunnen het gebruik

van verschillende modellen om de condities als input voor HYDRA-M te genereren, ter discussie brengen.

Om deze ruimtelijke consistentie te onderzoeken zijn berekeningen met SWAN4031 uitgevoerd en vergeleken met golfrandvoorwaarden van andere dijkeringen in de omgeving. De aansturingcondities zijn gegeven in tabel 3.4.

Tabel 3.4. Aansturingcondities: controle ruimtelijke consistentie

Codering	Meerpeil [m+NAP]	Windrichting [° tov N]	Windsnelheid [m/s]	Waterstand [m+NAP]
A001	0.3	0	15	0.52
A002	0.3	60	15	0.50
A003	0.3	120	15	0.30
A004	0.3	180	15	0.11
A005	0.3	240	22	-0.22
A006	0.3	300	22	0.30
A007	0.3	30	15	0.55
A008	0.3	90	15	0.42
A009	0.3	150	15	0.19
B001	0.3	0	30	1.34
B002	0.3	60	30	1.29
B003	0.3	120	30	0.34
B004	0.3	180	30	-0.73
B005	0.3	240	42	-2.10
B006	0.3	300	42	0.37
B007	0.3	30	30	1.51
B008	0.3	90	30	0.65
B008	0.3	150	30	-0.26
C001	-0.4	30	15	-0.11
C002	-0.4	30	30	1.00

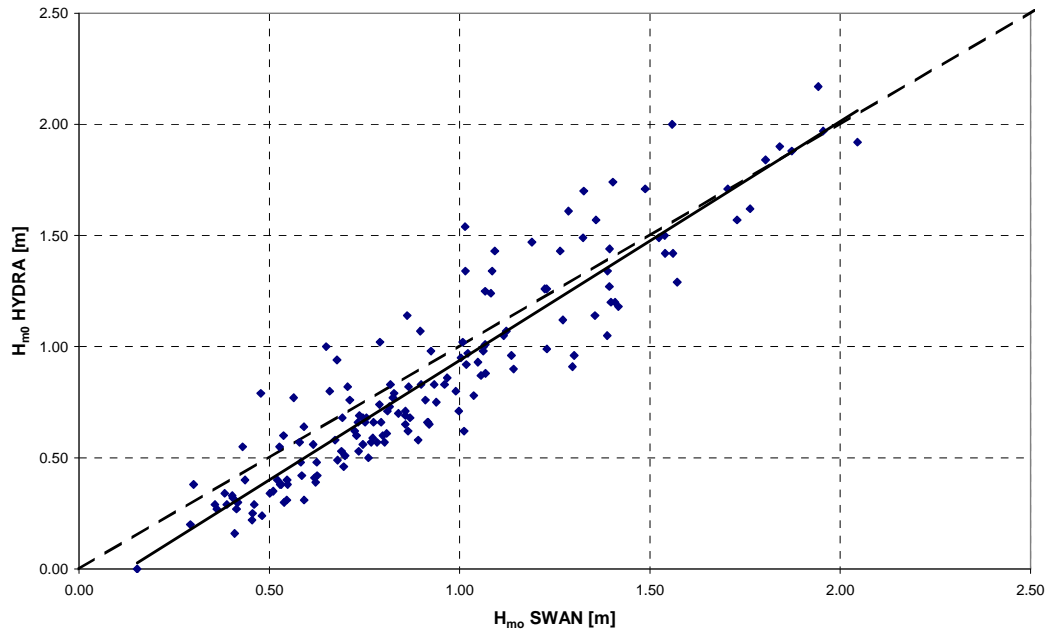
De proefberekeningen zijn zodanig dat de uitkomsten goed kunnen worden vergeleken met de golfcondities uit Hydra-M. Dit betekent dat zorgvuldig een uniform waterstandsveld is samengesteld op basis van de in Hydra-M aangehouden windopzet in de beschouwde uitvoerpunten. Hierbij is rekening gehouden met de geldigheid van het toepassen van een uniform waterstandsveld. De golfcondities op de HYDRA-M locaties 53A, 59D, gav7, gav8, hm08, hm24.9, 51 en hm5.0 zijn voor bovengenoemde cases gereconstrueerd met SWAN4031. Deze uitvoerpunten liggen allen in de zuidwestelijke hoek van het Markermeer langs verschillende dijkeringen.

De resultaten zijn gepresenteerd in Afbeelding 3.6 waar de verhouding tussen de H_{m0} berekend met SWAN4031 en die uit HYDRA-M is weergegeven.

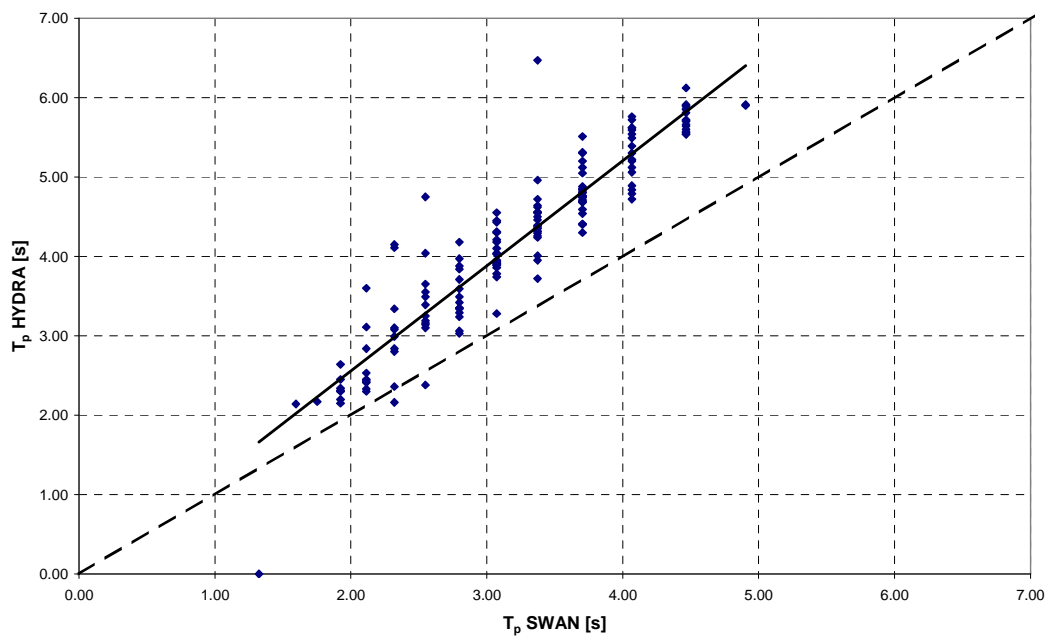
De afbeelding laat zien dat SWAN4031 in golfhoogtes resulteert die gemiddeld gelijk zijn die uit HYDRA-M of iets hoger. De scatter is echter breed, en het beeld is niet eenduidig. De slechte overeenkomst kan vrijwel geheel worden toegeschreven aan het gebruik van verschillende golfmodellen die niet goed met elkaar zijn te vergelijken (verschillende numerieke schema's, HISWA is geen spectraal model, etc).

Afbeelding 3.7 presenteert de verhouding tussen de T_p berekend met SWAN4031 en de T_p zoals nu wordt gebruikt in HYDRA-M. De afbeelding laat de trend zien dat SWAN bij de extremere condities tot 20% lagere waarde voor T_p berekent. Deze trend van onderschatting komt weer overeen met het beeld uit de vergelijking met metingen en uitkomsten van golfgroeikrommen.

Afbeelding 3.6. Vergelijking H_{m0} proefberekningen met HYDRA-M



Afbeelding 3.7. Vergelijking T_p proefberekningen met HYDRA-M



4. TOEPASBAARHEID VAN HET INSTRUMENT SWAN

4.1. Bevindingen uit het onderzoek

In hoofdstuk 2 en 3 zijn de resultaten gepresenteerd van vergelijkingen van de SWAN resultaten met respectievelijk metingen, golfrandvoorwaarden van IJburg die reeds zijn gebruikt in ontwerpen, golf-groei-krommen en HYDRA-M waarden op locaties in de omgeving van IJburg. De bevindingen luiden als volgt.

Validatie met metingen

- In het onderzoek zijn dezelfde validatieberekeningen met SWAN4031 uitgevoerd als in 2003 met SWAN4020. De nieuwere versie SWAN4031 heeft tot uitkomsten geleid met geen tot zeer marginale verschillen.
- vergelijking met metingen op het IJsselmeer en Slotermeer geeft afwijkingen te zien in de voorspelling van zowel de golfhoogte als die van de periode. De foutentrends zijn niet altijd eenduidig. Dit hoeft niet direct op tekortkomingen van het SWAN-model te wijzen maar kan er ook op duiden dat het beschikbaar materiaal niet altijd geschikt is als basis voor validatie.
- In een aantal validatieberekeningen heeft SWAN de golfhoogte met een relatief kleine afwijking voorspeld. SWAN is kennelijk tot nauwkeurige voorspelling van golfhoogten in staat mits aan de volgende voorwaarden worden voldaan:
 - er moet sprake zijn van een grotere strijklengte en dieper water.
 - de uitvoerpunten dienen niet gelegen te zijn in een beschutte positie.
- in SWAN wordt systematisch de golfperioden onderschat. Een alternatieve whitecapping formulering geeft echter aanmerkelijke verbeteringen van de voorspellingen van beide periodematen T_p en $T_{m-1,0}$; voor de Slotemeer-cases namen de afwijkingen (onderschattingen) af tot gemiddeld 10%, die voor de IJsselmeer-cases zelfs tot gemiddeld 1%.

Bestaande randvoorwaarden

- De herberekening van gebruikte ontwerprandvoorwaarden (met SWAN30.75 bepaald) leidt tot vergelijkbare golfhoogtes en golfperiodes; de golfhoogte H_{m0} wordt door de nieuwe SWAN versie iets lager en de piekgolfperiode T_p iets hoger berekend.

Theoretische golfgroei-curve

- Vergelijking van de resultaten van SWAN4031 met theoretische golfgroei-curve laat zien dat de H_{m0} berekend met SWAN4031 bij zwaardere condities afwijkt tot 15% van de theoretische golfgroei-curve, zowel in de zin van groter als van kleiner. Gemiddeld liggen de uitkomsten in dezelfde range, ten opzichte van Bretschneider is de met SWAN berekende golfhoogten trendmatig bijna gelijk;
- De golfperioden berekend met SWAN4031 zijn systematisch kleiner dan die met de golfgroei-modellen berekend.
Bij extreme windvelden (30 m/s) is de trend dat SWAN ten opzichte van Young&Verhagen lagere perioden berekent (10% lagere T_p en 20% lagere $T_{m-1,0}$) en ten opzichte van Bretschneider nog veel lagere perioden (20% lagere T_p en 40% lagere $T_{m-1,0}$).

Ruimtelijke consistentie

- De golfhoogtes berekend door SWAN zijn gemiddeld iets hoger dan of gelijk aan die uit HYDRA-M. Er is echter een grote verscheidenheid in de afwijking (grote scatter) en de verschillen zijn niet eenduidig. De verschillen kunnen voor een belangrijk deel worden toegeschreven aan de verschillende modellen: SWAN versus HISWA dat ten grondslag ligt aan de HYDRA-M data.
- SWAN4031 geeft systematisch een onderschatting van de golfperiode T_p . Gemiddeld is de afwijking 20-30% .

4.2. Toepasbaarheid van SWAN voor het vaststellen van de golfrandvoorwaarden voor IJburg.

De toepasbaarheid van SWAN als instrument om de golfcondities te berekenen die in HYDRA-M als basis voor de randvoorwaarden voor IJburg dienen, is op meerdere gronden beoordeeld:

- *de kwaliteit (nauwkeurigheid en betrouwbaarheid) van de voorspelling van SWAN.* Aan de hand van reconstructies van stormen en vergelijkingen met metingen is dit gevalideerd. Het is mogelijk gebleken om met SWAN de *golfhoogte* redelijk nauwkeurig te voorspellen mits aan voorwaarden ten aanzien van strijklengte en waterdiepte wordt voldaan en mits de uitvoerlocaties geen effecten van beschutting ondervinden.
De *golfperiode* wordt systematisch door SWAN onderschat. Het toepassen van een aangepaste whitecapping formulering levert in dit verband echter een aanmerkelijke verbetering. Met behulp van een correctiecoëfficiënt voor de golfperioden zou in beginsel SWAN voor de golfcondities in IJburg kunnen worden ingezet. Op basis van het uitgevoerde validatie-onderzoek lijkt een eerste schatting van 10% een redelijke correctiefactor voor $T_{m-1,0}$ (correctie op onderschatting).
- *samenhang met de golfrandvoorwaarden voor aansluitende dijkringen (uit HYDRA-M op basis van HISWA berekeningen).* Uit de vergelijking met HYDRA-M waarden op locaties in de omgeving van IJburg volgt dat door SWAN golfhoogtes worden berekend die gemiddeld een vergelijkbare trend vertonen met HYDRA-M. Deze trend heeft overigens wel een brede scatter. De golfperioden die door SWAN zijn berekend, zijn systematisch (veel) lager dan de waarden uit HYDRA-M. Met een aangepaste whitecapping formulering en een correctiecoëfficiënt van 10%, worden echter waarden voor $T_{m-1,0}$ verwacht die in lijn zullen liggen met HYDRA-M.
- *beschikbaarheid van andere methoden als alternatief op SWAN.* In dit verband zijn de golfgroei-krommen van Bretscheider en Young&Verhagen afgespiegeld tegen SWAN; hierbij wordt aangetekend dat alleen berekeningen zijn beschouwd waarin voor whitecapping de default instelling is aangehouden. Met betrekking tot de golfhoogte is op basis van de analyse geen voorkeur voor de golf-groei-krommen boven het gebruik van SWAN aan te geven. Voor de golfperioden kan via een kringredenatie wel worden geconcludeerd dat de golfgroei-krommen beter presteren dan SWAN. Met een aangepaste whitecapping formulering vervalt echter naar verwachting de voorsprong van golfgroei-krommen;
- *de aansluiting op reeds gebruikte randvoorwaarden voor ontwerpen.* SWAN-berekeningen (met een standaard whitecapping formulering) geven uitkomsten die redelijk aansluiten op ontwerpcondities die in 1998 reeds zijn bepaald met een oudere SWAN-versie. Op het eerste gezicht lijken de consequenties voor de ontwerpen beperkt. Ontwerpberekeningen met de herberekende condities zijn echter aanbevolen om deze consequenties goed in beeld te brengen. Dit geldt zeker als de eerdere genoemde aanbeveling wordt opgevolgd en de aangepaste whitecapping formulering en de correctiecoëfficiënt voor de golfperioden worden toegepast.

Op grond van het onderzoek wordt geadviseerd om het SWAN-model als instrument in te zetten om de golfcondities en golfrandvoorwaarden voor IJburg te bepalen. SWAN geldt als state-of-the-art voor golfmodellering. Gebruik van dit model is in lijn met de bepaling van de golfrandvoorwaarden langs andere oevers en langs kusten. Het onderhavig onderzoek lijkt dit gebruik te rechtvaardigen mits aan een aantal belangrijke voorwaarden wordt gehouden:

- er dient te worden gerekend met een aangepaste whitecapping formulering;
- op de uitkomsten voor $T_{m-1,0}$ dient een correctiecoëfficiënt te worden toegepast. In eerste instantie wordt orde 10% hiervoor voorgesteld, maar aanbevolen wordt deze coëfficiëntwaarde te onderwerpen aan een nadere afweging;
- de golfcondities kunnen alleen worden berekend voor de locaties en voor situaties waarbij:
 - er sprake is van een strijklengte groter dan orde 1000m en van dieper water.
 - er geen sprake is van een beschutte positie van de uitvoerlocatie.
 Ook in het binnengebied van IJburg bevinden zich locaties die aan deze eisen voldoen.
- er is nader onderzoek gewenst naar het fenomeen van golfgroeilimiet. Hieruit dient de invloed op de uitkomsten van SWAN voor de golfhoogte te worden bepaald en dient een correctiefactor te worden overwogen;
- de consequenties voor reeds opgestelde ontwerpen van keringen dienen nog nader te worden bepaald.

De veel eenvoudiger golfgroei-krommes lijken een goed alternatief doch nabij IJburg bevindt zich een diepe zandwinput. De mogelijk sterke 2D effecten die hiervan verwacht moeten worden, belemmeren het gebruik van golfgroei-krommes. Tevens zou het gebruik van dit instrument niet in lijn liggen met de

methodieken die worden gehanteerd voor de bepaling van de golfrandvoorwaarden elders langs oevers en kusten. Er wordt derhalve aanbevolen om golfgroeirommes niet in te zetten voor de golfrandvoorwaardenbepaling van IJburg.

5. BENODIGD REKENGEBIED SWAN

5.1. Inleiding

De berekeningen in hoofdstuk 4 zijn uitgevoerd met een model waarin het volledige Markermeer is geschematiseerd (in het vervolg is dit gemakshalve als het grote Markermeer-model aangeduid).

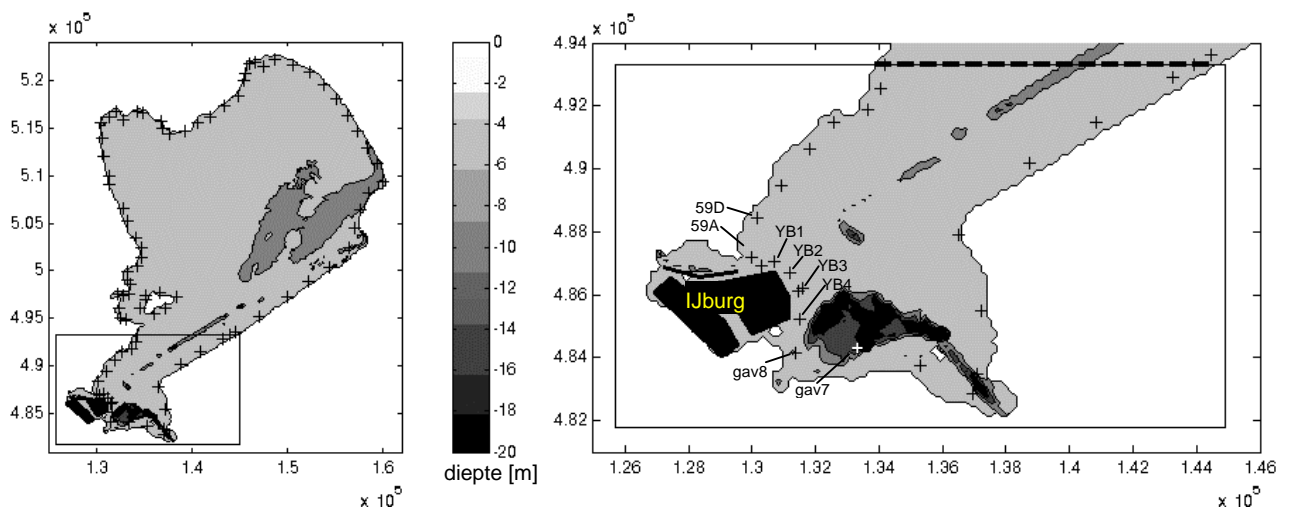
In dit hoofdstuk staat de opgave centraal om een rekengebied vast te stellen waarmee –eventueel– in een later stadium productieberekeningen gedraaid kunnen worden ten behoeve van HYDRA-M. Gegeven de positie van IJburg ten opzichte van het Markermeer (aan het einde van een uitstulping van het meer) rijst de vraag of voor de berekening van de golfrandvoorwaarden hier het gehele Markermeer in de berekeningen meegenomen dient te worden of dat kan worden volstaan met een kleiner model. Het toepassen van een kleiner model leidt tot reductie van de rekentijd.

In dit hoofdstuk wordt uiteengezet hoe dit kleiner rekengebied bepaald wordt. Het streven hierbij is een rekengebied vast te stellen dat enerzijds zo compact mogelijk is, en anderzijds dezelfde performance levert als het grote Markermeer-model. Deze doelstelling, het benodigd rekengebied bepalen, staat dus los van bijvoorbeeld de doelstelling om kwalitatief betere resultaten te verkrijgen (in het licht gezien van het eerste deel van het onderzoek in de voorgaande hoofdstukken).

5.2. Opzet klein rekengebied

Als basis voor het kleine rekengebied wordt het grote Markermeer-model gebruikt. Afbeelding 5.1 laat beide rekengebieden zien, links het grote Markermeer model zoals gebruikt voor de berekeningen in de eerdere hoofdstukken, met hierin omkaderd een eerste opzet voor een kleiner rekengebied; dit laatste is rechts vergroot afgebeeld.

Afbeelding 5.1. Overzicht rekengebied, diepte en uitvoerlocaties (aangeduid met +)



Het kleine rekengebied heeft derhalve dezelfde rekenresolutie (160 m) en oriëntatie (0°N) als het grote Markermeer-model. De grens van het kleine rekengebied is in eerste instantie gelegd op de rand zoals die in de afbeelding met een stippellijn is aangegeven. Het kleine rekengebied betekent een substantiële reductie van het rekenrooster ten opzichte van het grote Markermeer-model.

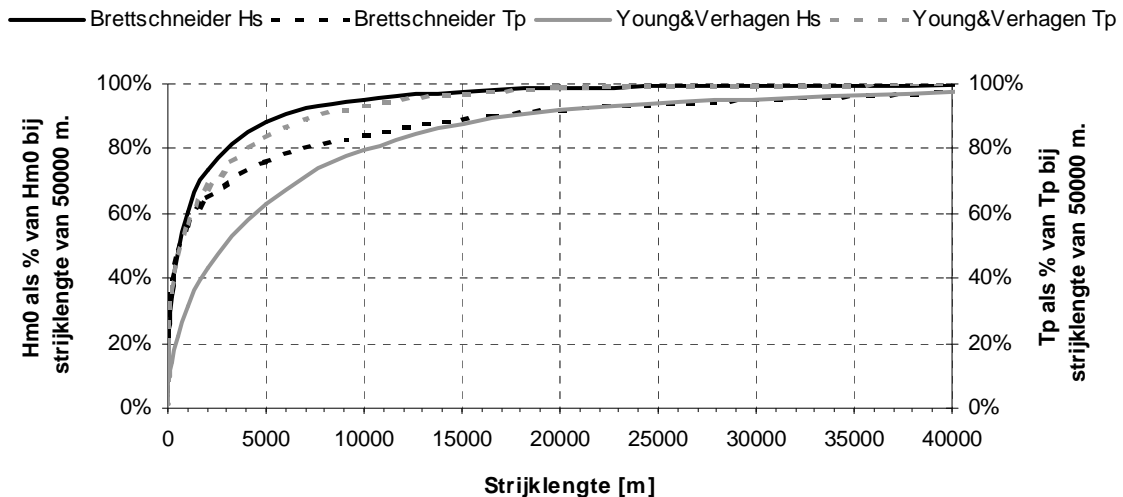
De grens is zodanig gekozen dat het mogelijk is de golfgegevens van de HYDRA-M punten "51" en "Hm18.5" als numerieke randvoorwaarden voor het model te gebruiken.

Een belangrijke voorwaarde is dat de nieuwe grens voldoende ver van IJburg wordt gekozen zodanig dat uitkomsten in IJburg niet gevoelig zijn voor de numerieke randvoorwaarden op de modelgrens. Een eerste indicatie hiervoor is de golfgroei; in het kleinere model zal voldoende golfgroei mogelijk moeten kunnen zijn. Vergelijkende berekeningen zijn hiertoe uitgevoerd met de golfgroei-curven van Bretschneider en Young&Verhagen waarbij is gerekend met een extreme windsnelheid van bijna 32 m/s vanuit noordoostelijke richting. Bij deze richting wordt immers de grootste en daarmee maatgevende strijk-

lengte gevonden. In het grote Markermeer-model bedraagt deze orde 40 km. In het kleine rekengebied bedraagt de strijklengte bij deze richting orde 10 km.

In afbeelding 5.2 zijn de golfgroeicurven opgenomen zoals deze met Bretschneider en met Young&Verhagen zijn berekend. De golfgroei is hierin als functie van de strijklengte afgebeeld waarbij de golfparameters zijn genormaliseerd met de waarde die ze zouden hebben bij een strijklengte van 40 km. Hiermee is een indicatie voor de mate van volgroeidheid gegeven.

Afbeelding 5.2. Golfgroeicurven Bretschneider en Young&Verhagen voor $U = 31.82$ m/s en $d = 4.0$ m.



Aan de hand hiervan kan worden afgeleid dat een strijklengte van 10 km (het kleine rekengebied) volgens model Bretschneider en Young-Verhagen tot een golfveld leidt dat voor 95% respectievelijk 80% volgroeid is. Dit lijkt een redelijk uitgangspunt voor een eerste opzet van het rekengebied. In het navolgende wordt dit rekengebied met deze modelrand verder onderzocht.

5.3. Vergelijking grote Markermeer-model en het klein rekengebied

Om te beoordelen of een klein rekengebied vergelijkbare resultaten oplevert als het grote Markermeer-model is een serie van vergelijkbare modelberekeningen uitgevoerd. Hierbij zijn de uitvoerlocaties beschouwd zoals afgebeeld in de rechter figuur van Afbeelding 5.1 (zie de uitvoerpunten nabij IJburg). Deze uitvoerlocaties betreffen HYDRA-M punten en 4 additionele punten nabij IJburg; de coördinaten zijn in de onderstaande tabel gegeven.

Tabel 5.1. Beschouwde uitvoerlocaties

Codering	X coördinaat	Y coördinaat	Omschrijving locatie
YB1	130680	487050	Extra punt nabij IJburg
YB2	131170	486700	Extra punt nabij IJburg
YB3	131450	486100	Extra punt nabij IJburg
YB4	131500	485200	Extra punt nabij IJburg
GAV7	133315	484217	Bestaan HYDRA-M punt
GAV8	131374	484145	Bestaan HYDRA-M punt
59D	129980	487180	Bestaan HYDRA-M punt
59A	130158	488423	Bestaan HYDRA-M punt

(let op: de coördinaten zijn afkomstig uit het model en kunnen iets afwijken van de officiële HYDRA-M coördinaten)

Met het kleine rekengebied zijn berekeningen uitgevoerd voor dezelfde aansturingcondities (waterstand en windcondities) als die van de eerder uitgevoerde berekeningen met het grote Markermeer-model (uit de vorige hoofdstukken). Tabel 5.2 geeft deze aansturingcondities van deze berekeningen en de numerieke randvoorwaarden op de noordoostelijke modelrand (uit HYDRA-M).

Tabel 5.2. Aansturingcondities en numerieke randvoorwaarden

Case	Meerpeil [m+NAP]	Windrichting [° tov N]	Wind- snelheid [m/s]	Waterstand [m+NAP]	Golfrandvoorwaarden uit HYDRA-M (westelijke en oostelijke oever)					
					H _{m0} [m]	T _p [s]	θ [°N]	H _{m0} [m]	T _p [s]	θ [°N]
SA001	0.3	0	15	0.52	0.4	4.0	39°	1.2	5.0	7°
SA002	0.3	60	15	0.50	0.7	4.8	71°	1.0	5.0	38°
SA003	0.3	120	15	0.30	0.8	4.0	113°	0.3	2.3	102°
SA007	0.3	30	15	0.55	0.6	4.7	65°	1.2	5.1	28°
SA008	0.3	90	15	0.42	0.8	4.4	87°	0.6	4.5	52°
SA009	0.3	150	15	0.19	0.7	3.8	148°	0.2	1.8	148°
SB001	0.3	0	30	1.34	0.8	4.3	26°	1.9	5.8	4°
SB002	0.3	60	30	1.29	1.3	5.6	72°	1.7	5.9	44°
SB003	0.3	120	30	0.34	1.3	4.8	118°	0.7	3.3	103°
SB007	0.3	30	30	1.51	1.0	5.1	60°	1.8	5.4	31°
SB008	0.3	90	30	0.65	1.5	5.2	93°	1.2	5.5	59°
SB009	0.3	150	30	-0.26	1.1	4.5	145°	0.6	2.7	148°

De resultaten geven het navolgend beeld te zien.

In het algemeen kan gesteld worden dat de resultaten van het kleine rekengebied goed in overeenkomst zijn met de proefberekeningen Markermeer. De H_{m0} berekend met het kleine rekengebied wijkt voor de beschouwde uitvoerpunten *gemiddeld* slechts 0.7% af van het resultaat van de berekeningen met het grote Markermeer-model bij een windsnelheid van 15 m/s en slechts 0.1% bij een windsnelheid van 30 m/s.

De resultaten van de berekeningen blijken voor alle cases met de windrichtingen O, Z en W volledig overeen te komen met de uitkomsten van Markermeer-model. Dit is conform verwachtingen aangezien de schematisatie, aansturingcondities en randvoorwaarden identiek zijn.

Verder zijn -zoals verwacht- afwijkingen alleen gevonden voor de cases met de windrichtingen N, NNO en ONO (respectievelijk 00°N, 30°N en 60°N). In tabel 5.3 is een selectie van berekeningen opgenomen waarvan de verschillen voor H_{m01}, T_{m-1,0} en de golfrichting groter zijn dan 1%. Het gaat om uitkomstverschillen van het kleine ten opzichte van het grote model waarbij een negatief verschil betekent dat het kleine model een kleinere uitkomst geeft dan het grote model. De andere berekeningen die kleinere uitkomstverschillen te zien geven, zijn weggelaten. Wat opvalt is dat de grote uitkomstverschillen zijn gevonden in de cases met een windsnelheid van 15 m/s (de SA-serie); voor de cases met een windsnelheid van 30 m/s is slechts één berekening (SB-serie) met een uitkomstverschil groter dan 1% gevonden. Blijkbaar presteert het kleine rekengebied beter naarmate windsnelheid groter is.

Tabel 5.3. Overzicht afwijkende resultaten klein rekengebied

Codering	Windrichting [° tov N]	Locatie	Afwijking resultaat t.o.v. Markermeer-model		
			H _{m01}	T _{m-1,0}	Golfrichting
SA001	00°	GAV7	2.7%	1.7%	-5.4%
SA001	00°	YB2	1.9%	1.7%	2.3%
SA001	00°	YB4	1.6%	1.3%	0.6%
SA001	00°	YB1	1.4%	1.0%	2.7%
SA001	00°	YB3	1.4%	1.2%	-0.3%
SA007	30°	GAV7	2.4%	1.3%	-2.4%
SA007	30°	YB2	2.2%	2.0%	-0.6%
SA007	30°	YB4	2.1%	1.7%	0.4%
SA007	30°	59D	1.9%	1.7%	0.1%
SA007	30°	YB1	1.8%	1.3%	-0.2%
SA007	30°	YB3	1.4%	1.6%	-1.2%
SA002	60°	GAV8	1.5%	0.9%	0.4%
SA002	60°	YB4	1.3%	1.3%	0.4%
SA002	60°	GAV7	1.2%	1.0%	0.0%
SA001	00°	59A	-1.0%	-0.3%	-1.2%
SB001	00°	59A	-1.0%	-1.1%	-1.7%

5.4. Gevoeligheid voor randvoorwaarden op noordoostelijke modelrand

De voorgaande berekeningen tonen aan dat juist voor de meest maatgevende richtingen het kleiner rekengebied afwijkende uitkomsten geeft ten opzichte van het groter Markermeer-model. De vraag dringt zich op of deze verschillen kunnen worden toegeschreven aan de keus van de randvoorwaarden die op de noord-oostelijke rand van het model zijn opgelegd. In de voorgaande berekeningen zijn de condities uit HYDRA-M als randvoorwaarde gebruikt. Om de onderzoeksvraag te beantwoorden zijn 3 extra berekeningen uitgevoerd waarbij de randvoorwaarden zijn gevarieerd:

- geen golven op de rand (T1SA007);
- zwaardere golven op de rand: H_{m0} +50% en T_p +0.5s (T2SA007)
- berekende golfcondities uit het groter Markermeer-model; het kleiner model kan dan als een soort genest model worden beschouwd (T3SA007).

De aansturingcondities en de randvoorwaarden op de zijranden van het model zijn in onderstaande tabel gegeven. De cases zijn vergelijkbaar met case A007 (het groter Markermeer-model) en SA007 (kleiner rekengebied).

Tabel 5.4. Aansturingcondities en numerieke randvoorwaarden

Case	Meerpeil	Windrichting	Wind-snelheid	Waterstand	Golfrandvoorwaarden (westelijke en oostelijke oever)					
	[m+NAP]	[° tov N]	[m/s]	[m+NAP]	H _{m0} [m]	T _p [s]	θ [°N]	H _{m0} [m]	T _p [s]	θ [°N]
SA007	0.3	30	15	0.55	0.6	4.7	65°	1.2	5.1	28°
T1SA007	0.3	30	15	0.55	0.0	0.0	-	0.0	0.0	-
T2SA007	0.3	30	15	0.55	0.9	5.4	65°	1.8	5.6	28°
T3SA007	0.3	30	15	0.55	Uit A007, variërend langs rand					

De uitkomsten van de berekeningen zijn samengevat in Tabel 5.5. Hierin zijn voor alle vier typen randvoorwaarden de afwijking van het kleine rekengebied (in %) in H_{m01} en T_{m-1,0} ten opzichte van de uitkomsten met het grote Markermeer-model weergegeven voor verschillende uitvoerlocaties.

Tabel 5.5. Uitkomstverschillen klein rekengebied t.o.v. Markermeer-model voor verschillende randvoorwaarden.

Randvoorwaarde	HYDRA-M		Geen golven (T1SA007)		zwaardere golven (T2SA007)		uit groter model (T3SA007)	
	H _{m01} [m]	T _{m-1,0} [s]	H _{m01} [m]	T _{m-1,0} [s]	H _{m01} [m]	T _{m-1,0} [s]	H _{m01} [m]	T _{m-1,0} [s]
59a	0.5%	1.8%	-14.8%	-12.7%	7.1%	9.8%	1.9%	2.4%
YB1	1.8%	1.3%	-5.9%	-4.9%	5.5%	4.5%	2.2%	2.1%
YB2	2.2%	2.0%	-9.4%	-7.3%	7.1%	6.6%	3.4%	2.9%
YB3	1.4%	1.6%	-9.4%	-7.2%	4.9%	4.6%	2.5%	2.4%
YB4	2.1%	1.7%	-8.2%	-6.9%	5.3%	4.5%	2.9%	2.3%
gav7	2.4%	1.3%	-11.1%	-7.7%	6.3%	4.0%	3.6%	2.3%

* De golfrichtingen zijn niet vermeld vanwege zeer geringe verschillen. De maximale gevonden afwijking is 1.3°.

De volgende opmerkelijke resultaten kunnen worden genoemd:

- De verschillen tussen het grote Markermeer-model en het kleine rekengebied waar golfcondities uit het grote model als randvoorwaarden zijn opgelegd, zijn opmerkelijk groot. Klaarblijkelijk zijn er andere fenomenen die –mede- een verklaring voor de uitkomstverschillen kunnen geven (zie volgende paragraaf);
- De berekening met de verhoogde golfrandvoorwaarden en de berekening zonder golfrandvoorwaarden resulteren in grote afwijkingen in de range van 5% tot 15%;
- Het gebruik van HYDRA-M golfgegevens als randvoorwaarden geeft de kleinste uitkomstenverschillen; deze zijn kleiner dan bij het gebruik van golfcondities uit berekeningen met het groter Markermeer-model. Dit is opmerkelijk aangezien HYDRA-M condities uitkomsten zijn van een oudere generatie golfvoortplantingsmodel HISWA. Dat de golfcondities op de modelrand sterk kunnen verschillen blijkt uit tabel 5.6. Hierin zijn voor de locaties Hm18.5 en 51 de HYDRA-M uitvoer vergeleken met de SWAN golfcondities uit de grote Markermeer-modelberekening.

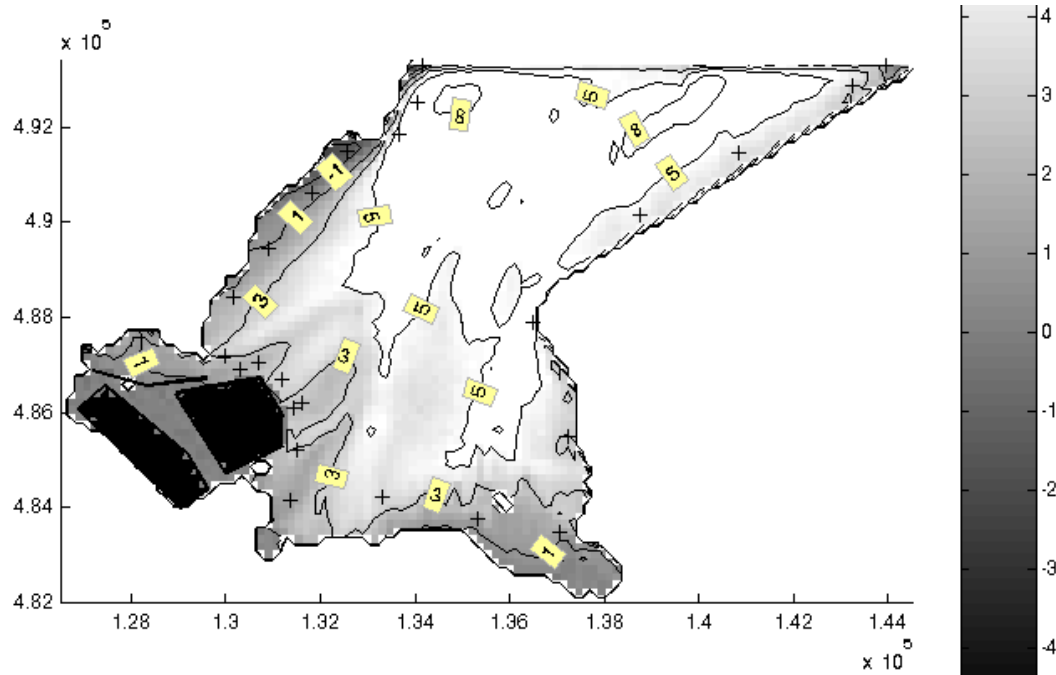
Tabel 5.6. Vergelijking HYDRA-M versus SWAN op de noordoostelijke modelrand

Locatie	randvoorwaarde	Wind 30° t.o.v. N			wind 60° t.o.v. N		
		H _{m0} [m]	T _p [s]	θ [°N]	H _{m0} [m]	T _p [s]	θ [°N]
51	HYDRA-M	0.6	4.7	65	0.7	4.8	71
	SWAN	0.8	3.7	65	0.9	4.1	76
	<i>Vershil</i>	<i>29.0%</i>	<i>-27.1%</i>	<i>-0.5%</i>	<i>28.1%</i>	<i>-17.7%</i>	<i>7.1%</i>
Hm18.5	HYDRA-M	1.2	5.1	28	1.0	5.0	38
	SWAN	1.2	4.1	23	1.0	3.7	38
	<i>Vershil</i>	<i>-1.7%</i>	<i>-24.6%</i>	<i>-20.6%</i>	<i>3.6%</i>	<i>-35.8%</i>	<i>0.9%</i>

5.5. Gevoeligheid voor afmetingen klein rekengebied

Uit de voorgaande analyse blijkt dat de keus van de randvoorwaarden niet altijd de verklaring geeft voor uitkomstverschillen tussen het kleine rekengebied en het grote Markermeer-model. Discretisatiefouten zouden ook als een mogelijke bron kunnen worden aangewezen. Om inzicht hierin te verkrijgen zijn in eerste instantie de ruimtelijke verdeling van de uitkomstenverschillen beschouwd. Afbeelding 5.3 geeft dit beeld voor de case met een windsnelheid van 15 m/s en windrichting 30°N.

Afbeelding 5.3. Ruimtelijk verdeling uitkomstenverschil (case A007)



Uit afbeelding 5.3 blijkt dat de verschillen ruimtelijk sterk kunnen variëren. Op de noordoostelijke rand zijn de afwijkingen vanzelfsprekend per definitie 0. Direct na de rand loopt het uitkomstenverschil op tot 8% of groter. Richting IJburg worden de afwijkingen weer kleiner, tot 2 a 3% bij IJburg.

Een mogelijke verklaring is dat als gevolg van de rand van het model er afwijkingen ontstaan die waarschijnlijk het gevolg van discretisatie fouten zijn. In de rapportage lit [RI4125] is dit fenomeen onderkend. Hieruit blijkt dat het minimaal benodigde aantal 'bovenwindse' rekencellen dat nodig is om de onnauwkeurigheid terug te dringen tot circa 10, 5 of 2%, ongeveer gelijk is aan respectievelijk 15, 32 en 100 cellen. Voor het onderhavige rekengebied (met een roosterafstand van 160m) is een afstand van minimaal 16 km benodigd om een onnauwkeurigheid van 2% te bereiken.

Om de uitkomstverschillen bij IJburg te verkleinen is het kleine rekengebied met 24 rekencellen uitgebreid in noord-zuid richting. Het kleine rekengebied is hiermee van 72 rekencellen (overeenkomend met onnauwkeurigheden in de orde 3 a 4%) uitgebreid naar 96 rekencellen. Met dit aangepaste kleine rekengebied zijn opnieuw berekeningen uitgevoerd, wederom met op de modelrand condities berekend met het grote Markermeer-model enerzijds (T4SA007) en HYDRA-M condities anderzijds (T5SA007). De aansturingcondities en randvoorwaarden op de zijranden zijn onderstaande tabel weergegeven.

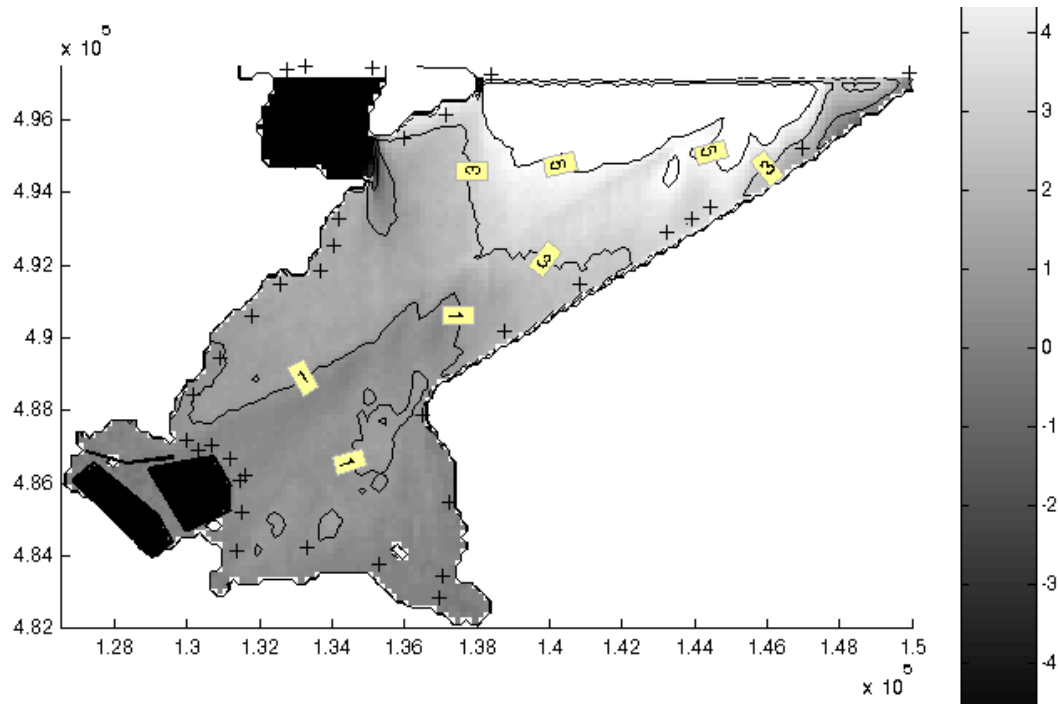
Tabel 5.7. Aansturingcondities en numerieke randvoorwaarden

Case	Meerpeil [m+NAP]	Windrichting [° tov N]	Wind- snelheid [m/s]	Waterstand [m+NAP]	Golfrandvoorwaarden (linker en rechteroever)					
					H_{m0} [m]	T_p [s]	θ [°N]	H_{m0} [m]	T_p [s]	θ [°N]
T4SA007	0.3	30	15	0.55	uit groter Markermeer-model					
T5SA007	0.3	30	15	0.55	0.8	4.4	87°	0.6	4.5	52°

De uitkomsten zijn weergegeven in Tabel 5.8 voor de uitvoerlocaties HYDRA-M punten hm11.7 en 46. Afbeelding 5.4 presenteert de ruimtelijke verdeling van de uitkomstenverschillen in golfhoogte (voor case T4SA007). Hieruit blijkt dat ook in het vergrote kleine rekengebied verschillen ontstaan direct na de model rand. Deze zijn nu echter kleiner en bedragen bij IJburg minder dan 1%.

Over het algemeen gesteld lijken de resultaten van het verlengde kleine rekenmodel significant beter. Dit aangepast klein rekengebied lijkt een goed uitgangspunt indien voor de inzet van SWAN wordt gekozen bij de randvoorwaardenbepaling van IJburg.

Afbeelding 5.4. Uitkomstverschil H_{m01} (in %) aangepast klein rekengebied vrs Markermeer-model



Tabel 5.8. Uitkomstenverschillen H_{m0} en $T_{m-1,0}$ aangepast klein rekengebied vrs Markermeer-model.

Locatie	Domein 96 cellen randvoorwaarde A007 (T4SA007)		Domein 72 cellen randvoorwaarde A007 (T3SA007)	
	Afw. H_{m01} %	Afw. $T_{m-1,0}$ %	Afw. H_{m01} %	Afw. $T_{m-1,0}$ %
59a	0.9%	1.1%	1.9%	2.4%
YB1	0.2%	0.2%	2.2%	2.1%
YB2	0.5%	0.5%	3.4%	2.9%
YB3	0.4%	0.5%	2.5%	2.4%
YB4	0.5%	0.3%	2.9%	2.3%
gav7	0.7%	0.6%	3.6%	2.3%

Locatie	Domein 96 cellen randvoorwaarde HYDRA-M (T5SA007)		Domein 72 cellen randvoorwaarde HYDRA-M (SA007)	
	Afw. H_{m01} %	Afw. $T_{m-1,0}$ %	Afw. H_{m01} %	Afw. $T_{m-1,0}$ %
59a	1.5%	2.3%	0.5%	1.8%
YB1	0.2%	0.2%	1.8%	1.3%
YB2	0.8%	0.8%	2.2%	2.0%
YB3	0.1%	0.2%	1.4%	1.6%
YB4	0.4%	0.3%	2.1%	1.7%
gav7	0.8%	0.4%	2.4%	1.3%

* De golfrichtingen zijn niet vermeld vanwege zeer geringe verschillen. De maximale gevonden afwijking is 1.3°.

5.6. Conclusies en aanbevelingen te gebruiken rekengebied

Rekentijd : Een kleiner rekengebied dan het grote Markermeer-model heeft als voordeel dat de rekestijd van het model kleiner wordt. Het onderzochte kleine rekengebied (de verlengde versie) heeft ongeveer 20% van de rekestijd van het grote Markermeer-model nodig.

Nauwkeurigheid: Voor windrichtingen W, ZW, Z en O) waarbij de rand van het kleine rekengebied geen invloed heeft op de resultaten bij IJburg, geeft het kleine rekengebied uitkomsten die (nagenoeg) identiek zijn aan die van het grote rekengebied (afwijkingen van kleiner dan 0.86%). Voor de windrichtingen N en NO luistert de keus van de randvoorwaarden op de noord-oostelijke grens van het model nauw. Uit de berekeningen blijkt dat het gebruik van HYDRA-M uitvoer als randvoorwaarden tot acceptabel resultaten leidt mits het rekengebied de goede omvang heeft.

Aanbevelingen gebruik rekengebied: Een klein rekengebied wordt beoogd in verband met de reductie in benodigde rekestijd. Gebruik van een te klein rekengebied geeft aanleiding tot discretisatiefouten die de resultaten bij IJburg zullen beïnvloeden. Geadviseerd wordt om een rekengebied te gebruiken dat ca 100 rekenpunten bovenwinds van IJburg heeft. In het geval van IJburg betekent dit een rekengebied zoals in paragraaf 5.5 beschreven: de afwijkingen in uitkomsten bij IJburg t.o.v. die van een groot rekengebied zijn kleiner dan 1%. Dit kleine rekengebied lijkt een acceptabel alternatief voor het grote Markermeer-model.

LITERATUURLIJST

M. Bottema (2003), *Testmemo SWAN40.20a*;

F. den Heijer (1998) *Hydraulische randvoorwaarden voor IJburg*, WL-projectnummer H3274, deelrapport A: Dataset met waterstanden en golven;

F. den Heijer (1998) *Hydraulische randvoorwaarden voor IJburg*, WL-projectnummer H3274, deelrapport B: Gereedschappen voor het gebruik van Hydra_M voor IJburg;

M. de Kant (1997) *Ontwerpplan waterkering IJburg*, IBA projectnummer 280206.02;

R. Hoogeveen (1998) *IJburg – 1^e uitvoeringseenheid, Voorontwerp waterkeringen*, IBA projectnummer 110152;

E. Blaakman (1999) *Second opinion ontwerpberoeeningen waterkeringen IJburg met Hydra-M*.

Witteveen+Bos (2004) *Functionality, computational grids en resolution of the wave model SWAN*

BIJLAGE TABELLEN EN FORMULES

Tabel 2.2. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, 27 oktober 2002, 15-16 uur

Case	SL-A			
datum	27/10/2002			
tijd (MET)	15-16h			
INVOER				
waterstand	-0,45 m NAP			
windsnelheid	21,4 m/s			
windrichting	252° (WZW)			
RESULTAAT	SWAN40.20	SWAN40.31	SWAN40.31 WCAP n=2	meting
diepte (m)	1.614	1.614	1.614	-
H _{m0} (m)	0.570	0.570	0.589	0.71
H _{m0} /diepte	0.353	0.353	0.365	0.44
T _p (s)	2.470	2.460	2.710	3.23
T _{m-1,0} (s)	2.118	2.118	2.496	2.96
T _{m01} (s)	1.794	1.793	2.228	2.53
T _{m02} (s)	1.490	1.490	2.130	2.30
richting (°)	249	249	248	-
richtingspreiding (°)	31.6	31.6	25.1	-

Tabel 2.3. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, 26 februari 2002, 14-15 uur

Case	SL-B			
datum	26/02/2002			
tijd (MET)	14-15h			
INVOER				
waterstand	-0.29 m NAP			
windsnelheid	20,8 m/s			
windrichting	243° (WZW)			
RESULTAAT	SWAN40.20	SWAN40.31	SWAN40.31 WCAP n=2	meting
diepte (m)	1.774	1.774	1.774	-
H _{m0} (m)	0.605	0.605	0.630	0.7
H _{m0} /diepte	0.341	0.341	0.355	0.395
T _p (s)	2.710	2.710	2.980	3.45
T _{m-1,0} (s)	2.173	2.174	2.566	2.98
T _{m01} (s)	1.850	1.850	2.356	2.61
T _{m02} (s)	1.542	1.540	2.210	2.39
richting (°)	243	243	243	-
richtingspreiding (°)	31.3	31.3	24.6	-

Tabel 2.4. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, 12 februari 2002, 13-14 uur

Case	SL-C			
datum	12/02/2002			
tijd (MET)	13-14h			
INVOER				
waterstand	-0,43 m NAP			
windsnelheid	15,0 m/s			
windrichting	253° (WZW)			
RESULTAAT	SWAN40.20	SWAN40.31	SWAN40.31 WCAP n=2	meting
diepte (m)	1.634	1.634	1.634	-
H _{m0} (m)	0.445	0.445	0.473	0.47
H _{m0} /diepte	0.272	0.272	0.289	0.288
T _p (s)	2.270	2.274	2.500	2.86
T _{m-1,0} (s)	1.892	1.891	2.223	2.33
T _{m01} (s)	1.618	1.616	2.054	2.09
T _{m02} (s)	1.353	1.351	1.942	1.95
richting (°)	250	250	249	-
richtingspreiding (°)	31.9	32.0	25.2	-

Tabel 2.5. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, 12 februari 2002, 13-14 uur

Case	SL-D			
datum	10/02/2002			
tijd (MET)	4-5h			
INVOER				
waterstand	-0.47 m NAP			
windsnelheid	11,0 m/s			
windrichting	245° (WZW)			
RESULTAAT	SWAN40.20	SWAN40.31	SWAN40.31 WCAP n=2	meting
diepte (m)	1.594	1.594	1.594	-
H _{m0} (m)	0.327	0.327	0.342	0.47
H _{m0} /diepte	0.205	0.205	0.215	0.288
T _p (s)	2.02	2.019	2.222	2.86
T _{m-1,0} (s)	1.669	1.668	1.931	2.33
T _{m01} (s)	1.427	1.425	1.785	2.09
T _{m02} (s)	1.193	1.190	1.691	1.95
richting (°)	245	245	245	-
richtingspreiding (°)	32.2	32.2	25.1	-

Tabel 2.9. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, case Y-A

CASE		Y-A				
datum		02/10/1999				
tijd (MET)		3-4h				
waterstand (NAP)		-12 cm				
windsnelheid (m/s)		15,2				
windrichting (°)		215° (ZW)				
				SWAN4031		
		SWAN4020	SWAN4031	WCAP n=2	meting	Verschil
FL2	diepte	4.31	4.31	4.06	-	-
FL9	diepte	4.06	4.06	3.81	-	-
FL5	diepte	1.57	1.57	1.58	-	-
FL25	diepte	2.50	2.50	2.21	-	-
FL26	diepte	5.38	5.38	5.13	-	-
FL2	H _{m0}	1.01	1.01	0.61	0.89	13%
FL9	H _{m0}	1.01	1.01	0.67	1.09	-7%
FL5	H _{m0}	0.69	0.69	0.53	0.95	-27%
FL25	H _{m0}	0.33	0.33	0.36	0.21	58%
FL26	H _{m0}	0.70	0.69	0.54	0.69	1%
FL2	T _p	3.73	3.73	3.37	3.90	-4%
FL9	T _p	3.73	3.73	3.37	4.06	-8%
FL5	T _p	3.73	3.73	3.37	4.35	-14%
FL25	T _p	1.78	1.78	2.80	1.59	12%
FL26	T _p	2.83	2.83	3.07	2.97	-5%
FL2	T _{m-1,0}	3.06	3.06	2.82	3.90	-22%
FL9	T _{m-1,0}	3.08	3.08	2.96	3.67	-16%
FL5	T _{m-1,0}	3.15	3.15	2.90	3.67	-14%
FL25	T _{m-1,0}	1.56	1.56	2.24	1.70	-8%
FL26	T _{m-1,0}	2.37	2.38	2.57	2.83	-16%
FL2	T _{m01}	2.61	2.62	2.59	3.07	-15%
FL9	T _{m01}	2.63	2.63	2.73	3.30	-20%
FL5	T _{m01}	2.71	2.71	2.61	3.07	-12%
FL25	T _{m01}	1.34	1.34	1.91	1.53	-12%
FL26	T _{m01}	2.06	2.06	2.35	2.60	-21%
FL2	T _{m02}	2.18	2.18	2.42	3.37	-35%
FL9	T _{m02}	2.20	2.20	2.58	3.07	-28%
FL5	T _{m02}	2.32	2.31	2.41	2.80	-17%
FL25	T _{m02}	1.14	1.14	1.64	1.50	-24%
FL26	T _{m02}	1.73	1.74	2.20	2.50	-30%

Tabel 2.10. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, case Y-B

CASE		Y-B				
datum		24/10/2002				
tijd (MET)		14h20-15h20				
waterstand (NAP)		+23 cm				
windsnelheid (m/s)		23,8				
windrichting (°)		249° (WZW)				
		SWAN4031				
		SWAN4020	SWAN4031	WCAP n=2	meting	Vershil
FL2	diepte	4.65	4.66	4.66	-	-
FL9	diepte	4.41	4.41	4.41	-	-
FL5	diepte	2.18	2.18	2.18	-	-
FL25	diepte	2.81	2.81	2.81	-	-
FL26	diepte	5.73	5.73	5.73	-	-
FL2	H _{m0}	1.55	1.55	1.59	1.61	-3%
FL9	H _{m0}	1.48	1.48	1.52	1.52	-2%
FL5	H _{m0}	1.02	1.02	1.06	1.17	-13%
FL25	H _{m0}	0.51	0.50	0.55	0.19	166%
FL26	H _{m0}	1.22	1.22	1.36	1.35	-10%
FL2	T _p	4.47	4.47	4.91	5.36	-17%
FL9	T _p	4.47	4.47	4.91	5.17	-14%
FL5	T _p	4.47	4.47	4.91	5.27	-15%
FL25	T _p	2.11	2.11	2.11	1.82	16%
FL26	T _p	3.37	3.37	3.70	3.80	-11%
FL2	T _{m-1,0}	3.73	3.73	4.34	5.00	-25%
FL9	T _{m-1,0}	3.63	3.63	4.23	4.53	-20%
FL5	T _{m-1,0}	3.68	3.68	4.14	4.47	-18%
FL25	T _{m-1,0}	1.77	1.77	2.08	2.17	-18%
FL26	T _{m-1,0}	3.02	3.01	3.60	3.70	-19%
FL2	T _{m01}	3.16	3.16	3.97	4.33	-27%
FL9	T _{m01}	3.07	3.07	3.86	3.90	-21%
FL5	T _{m01}	3.13	3.13	3.67	3.47	-10%
FL25	T _{m01}	1.53	1.53	1.83	1.57	-3%
FL26	T _{m01}	2.60	2.60	3.34	3.40	-24%
FL2	T _{m02}	2.62	2.62	3.72	2.93	-11%
FL9	T _{m02}	2.55	2.55	3.59	3.53	-28%
FL5	T _{m02}	2.62	2.62	3.33	3.07	-15%
FL25	T _{m02}	1.30	1.29	1.59	1.47	-12%
FL26	T _{m02}	2.19	2.19	3.16	3.20	-32%

Tabel 2.11. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, case Y-C

CASE		Y-C				
datum		12/11/2002				
tijd (MET)		13-14h				
waterstand (NAP)		-25 cm				
windsnelheid (m/s)		10,3				
windrichting (°)		192° (ZZW)				
		SWAN4031				
		SWAN4020	SWAN4031	WCAP n=2	meting	Vershil
FL2	diepte	4.32	4.32	4.32	-	-
FL9	diepte	4.07	4.07	4.07	-	-
FL5	diepte	1.84	1.84	1.84	-	-
FL25	diepte	2.47	2.47	2.47	-	-
FL26	diepte	5.39	5.39	5.39	-	-
FL2	H _{m0}	0.64	0.64	0.67	0.68	-6%
FL9	H _{m0}	0.68	0.68	0.70	0.60	13%
FL5	H _{m0}	0.57	0.57	0.60	0.62	-8%
FL25	H _{m0}	0.31	0.31	0.34	0.22	41%
FL26	H _{m0}	0.50	0.51	0.54	0.50	1%
FL2	T _p	3.07	3.07	3.37	3.38	-9%
FL9	T _p	3.07	3.07	3.37	3.10	-1%
FL5	T _p	3.07	3.07	3.37	3.41	-10%
FL25	T _p	2.11	2.11	2.55	2.28	-7%
FL26	T _p	2.55	2.55	2.80	2.73	-7%
FL2	T _{m-1,0}	2.54	2.55	2.93	2.93	-13%
FL9	T _{m-1,0}	2.61	2.61	3.03	2.87	-9%
FL5	T _{m-1,0}	2.65	2.65	2.99	2.93	-10%
FL25	T _{m-1,0}	1.68	1.68	2.08	2.03	-17%
FL26	T _{m-1,0}	2.17	2.17	2.51	2.30	-6%
FL2	T _{m01}	2.15	2.15	2.70	2.60	-17%
FL9	T _{m01}	2.22	2.22	2.80	2.60	-15%
FL5	T _{m01}	2.25	2.25	2.71	2.63	-15%
FL25	T _{m01}	1.40	1.40	1.77	1.63	-14%
FL26	T _{m01}	1.86	1.85	2.32	2.17	-15%
FL2	T _{m02}	1.78	1.78	2.54	2.43	-27%
FL9	T _{m02}	1.84	1.85	2.65	2.43	-24%
FL5	T _{m02}	1.87	1.87	2.51	2.47	-24%
FL25	T _{m02}	1.16	1.16	1.53	1.53	-24%
FL26	T _{m02}	1.56	1.55	2.18	2.10	-26%

Tabel 2.12. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, case Y-D

CASE		Y-D				
datum		02/04/2003				
tijd (MET)		14-15h				
waterstand (NAP)		-11 cm				
windsnelheid (m/s)		15,1				
windrichting (°)		325° (NW)				
		SWAN4031				
		SWAN4020	SWAN4031	WCAP n=2	meting	Vershil
FL2	diepte	4.18	4.18	4.18	-	-
FL9	diepte	3.93	3.93	3.93	-	-
FL5	diepte	1.51	1.51	1.51	-	-
FL25	diepte	2.45	2.45	2.45	-	-
FL26	diepte	5.25	5.25	5.25	-	-
FL2	H _{m0}	0.93	0.93	0.98	0.89	4%
FL9	H _{m0}	0.75	0.75	0.78	0.60	24%
FL5	H _{m0}	0.38	0.38	0.41	0.39	-1%
FL25	H _{m0}	0.66	0.66	0.69	0.57	15%
FL26	H _{m0}	1.10	1.09	1.15	0.98	12%
FL2	T _p	3.40	3.40	3.73	3.70	-8%
FL9	T _p	3.10	3.10	3.40	3.10	0%
FL5	T _p	2.83	2.83	3.10	2.76	2%
FL25	T _p	3.73	3.73	4.10	4.35	-14%
FL26	T _p	3.73	3.73	4.10	4.41	-15%
FL2	T _{m-1,0}	2.90	2.90	3.40	3.17	-8%
FL9	T _{m-1,0}	2.52	2.52	2.94	2.87	-12%
FL5	T _{m-1,0}	2.05	2.05	2.56	2.23	-8%
FL25	T _{m-1,0}	2.86	2.85	3.51	3.10	-8%
FL26	T _{m-1,0}	3.20	3.20	3.75	3.70	-13%
FL2	T _{m01}	2.48	2.48	3.13	2.90	-15%
FL9	T _{m01}	2.15	2.15	2.68	2.60	-17%
FL5	T _{m01}	1.64	1.64	2.13	1.93	-15%
FL25	T _{m01}	2.26	2.26	2.99	2.47	-8%
FL26	T _{m01}	2.72	2.72	3.45	3.33	-18%
FL2	T _{m02}	2.07	2.07	2.96	2.73	-24%
FL9	T _{m02}	1.80	1.80	2.50	2.43	-26%
FL5	T _{m02}	1.33	1.33	1.77	1.83	-27%
FL25	T _{m02}	1.80	1.80	2.54	2.23	-19%
FL26	T _{m02}	2.26	2.26	3.26	3.10	-27%

Tabel 2.13. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, case Y-E

CASE		Y-E				
datum		22/02/2002				
tijd (MET)		5-6h				
waterstand (NAP)		+ 25 cm				
windsnelheid (m/s)		18,7				
windrichting (°)		210° (ZZW)				
		SWAN4031				
		SWAN4020	SWAN4031	WCAP n=2	meting	Vershil
FL2	diepte	4.68	4.68	4.68	-	-
FL9	diepte	4.43	4.43	4.43	-	-
FL5	diepte	2.20	2.20	2.20	-	-
FL25	diepte	2.83	2.83	2.83	-	-
FL26	diepte	5.75	5.75	5.75	-	-
FL2	H _{m0}	1.29	1.29	1.38	1.14	13%
FL9	H _{m0}	1.31	1.31	1.40		
FL5	H _{m0}	0.99	0.99	1.05	1.26	-22%
FL25	H _{m0}	0.46	0.46	0.53	0.32	44%
FL26	H _{m0}	0.90	0.90	0.99	0.86	5%
FL2	T _p	3.92	3.92	4.31	4.62	-15%
FL9	T _p	3.92	3.92	4.31		
FL5	T _p	4.31	4.31	4.75	5.01	-14%
FL25	T _p	1.99	1.99	2.41	1.74	14%
FL26	T _p	2.93	2.93	3.23	3.04	-4%
FL2	T _{m-1,0}	3.40	3.40	4.03	4.17	-18%
FL9	T _{m-1,0}	3.45	3.45	4.11		
FL5	T _{m-1,0}	3.57	3.57	4.07	4.07	-12%
FL25	T _{m-1,0}	1.82	1.82	2.24	1.93	-6%
FL26	T _{m-1,0}	2.64	2.64	3.08	2.83	-7%
FL2	T _{m01}	2.91	2.91	3.74	3.63	-20%
FL9	T _{m01}	2.96	2.96	3.82		
FL5	T _{m01}	3.08	3.08	3.69	3.33	-7%
FL25	T _{m01}	1.56	1.56	1.95	1.63	-4%
FL26	T _{m01}	2.29	2.29	2.89	2.67	-14%
FL2	T _{m02}	2.43	2.43	3.54	3.33	-27%
FL9	T _{m02}	2.46	2.47	3.62		
FL5	T _{m02}	2.61	2.61	3.45	3.03	-14%
FL25	T _{m02}	1.32	1.32	1.71	1.53	-13%
FL26	T _{m02}	1.94	1.94	2.76	2.53	-23%

Tabel 2.14. Resultaten SWAN4020, SWAN4031 versus metingen, case Y-F

CASE		Y-F				
datum		22/10/2002				
tijd (MET)		19-20h				
waterstand (NAP)		-37 cm				
windsnelheid (m/s)		10,1				
windrichting (°)		180° (Z)				
		SWAN4031				
		SWAN4020	SWAN4031	WCAP n=2	meting	Vershil
FL2	diepte	4.06	4.06	4.06	-	-
FL9	diepte	3.81	3.81	3.81	-	-
FL5	diepte	1.58	1.58	1.58	-	-
FL25	diepte	2.21	2.21	2.21	-	-
FL26	diepte	5.13	5.13	5.13	-	-
FL2	H _{m0}	0.59	0.59	0.61		
FL9	H _{m0}	0.64	0.64	0.67	0.44	46%
FL5	H _{m0}	0.50	0.50	0.53	0.53	-5%
FL25	H _{m0}	0.33	0.33	0.36	0.16	109%
FL26	H _{m0}	0.52	0.52	0.54	0.39	33%
FL2	T _p	3.07	3.07	3.37		
FL9	T _p	3.07	3.07	3.37	3.16	-3%
FL5	T _p	3.07	3.07	3.37	3.26	-6%
FL25	T _p	2.32	2.32	2.80	2.22	4%
FL26	T _p	2.80	2.80	3.07	2.68	4%
FL2	T _{m-1,0}	2.44	2.44	2.82		
FL9	T _{m-1,0}	2.56	2.56	2.96	2.90	-12%
FL5	T _{m-1,0}	2.56	2.56	2.90	2.77	-8%
FL25	T _{m-1,0}	1.81	1.82	2.24	2.40	-24%
FL26	T _{m-1,0}	2.22	2.22	2.57	2.50	-11%
FL2	T _{m01}	2.05	2.05	2.59		
FL9	T _{m01}	2.17	2.17	2.73	2.47	-12%
FL5	T _{m01}	2.16	2.16	2.61	2.47	-13%
FL25	T _{m01}	1.48	1.48	1.91	1.73	-14%
FL26	T _{m01}	1.88	1.88	2.35	2.20	-14%
FL2	T _{m02}	1.69	1.69	2.42		
FL9	T _{m02}	1.80	1.80	2.58	2.30	-22%
FL5	T _{m02}	1.79	1.79	2.41	2.30	-22%
FL25	T _{m02}	1.22	1.21	1.64	1.53	-21%
FL26	T _{m02}	1.57	1.57	2.20	2.10	-25%

Golfgroeikrommen

De gebruikelijke dimensieloze maten:

$$\tilde{F} = Fg / U_{10}^2$$

$$\tilde{D} = dg / U_{10}^2$$

$$\tilde{T} = T_p g / U_{10}$$

$$\tilde{H} = H_{m0} g / U_{10}^2$$

$$\tilde{H} = \tilde{H}_\infty \left\{ \tanh(k_3 \tilde{D}^{m3}) \tanh\left(\frac{k_1 \tilde{F}^{m1}}{\tanh(k_3 \tilde{D}^{m3})}\right) \right\} \text{ Bretschneider}$$

$$\tilde{T} = \tilde{T}_\infty \left\{ \tanh(k_4 \tilde{D}^{m4}) \tanh\left(\frac{k_2 \tilde{F}^{m2}}{\tanh(k_4 \tilde{D}^{m4})}\right) \right\} \text{ Bretschneider}$$

Met :

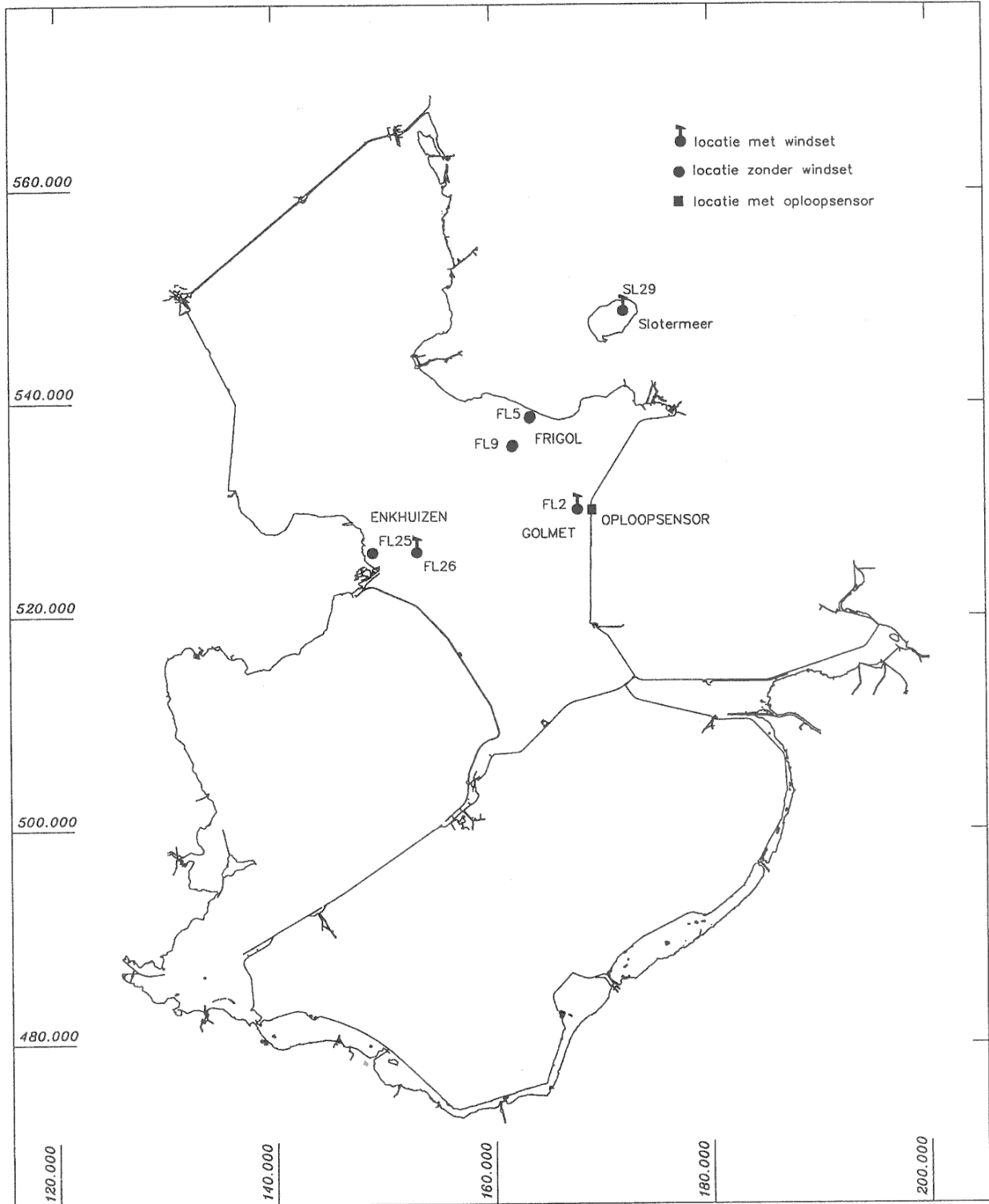
Uitgangspunten Bretschneider					
\tilde{H}_∞	0.283	k1	0.0125	m1	0.42
\tilde{T}_∞	7.54	k2	0.077	m2	0.25
		k3	0.53	m3	0.75
		k4	0.833	m4	0.375

$$\tilde{H} = \tilde{H}_\infty \left\{ \tanh(k_3 \tilde{D}^{m3}) \tanh\left(\frac{k_1 \tilde{F}^{m1}}{\tanh(k_3 \tilde{D}^{m3})}\right) \right\}^p \text{ Young\&verhagen}$$

$$\tilde{T} = \tilde{T}_\infty \left\{ \tanh(k_4 \tilde{D}^{m4}) \tanh\left(\frac{k_2 \tilde{F}^{m2}}{\tanh(k_4 \tilde{D}^{m4})}\right) \right\}^q \text{ Young\&verhagen}$$

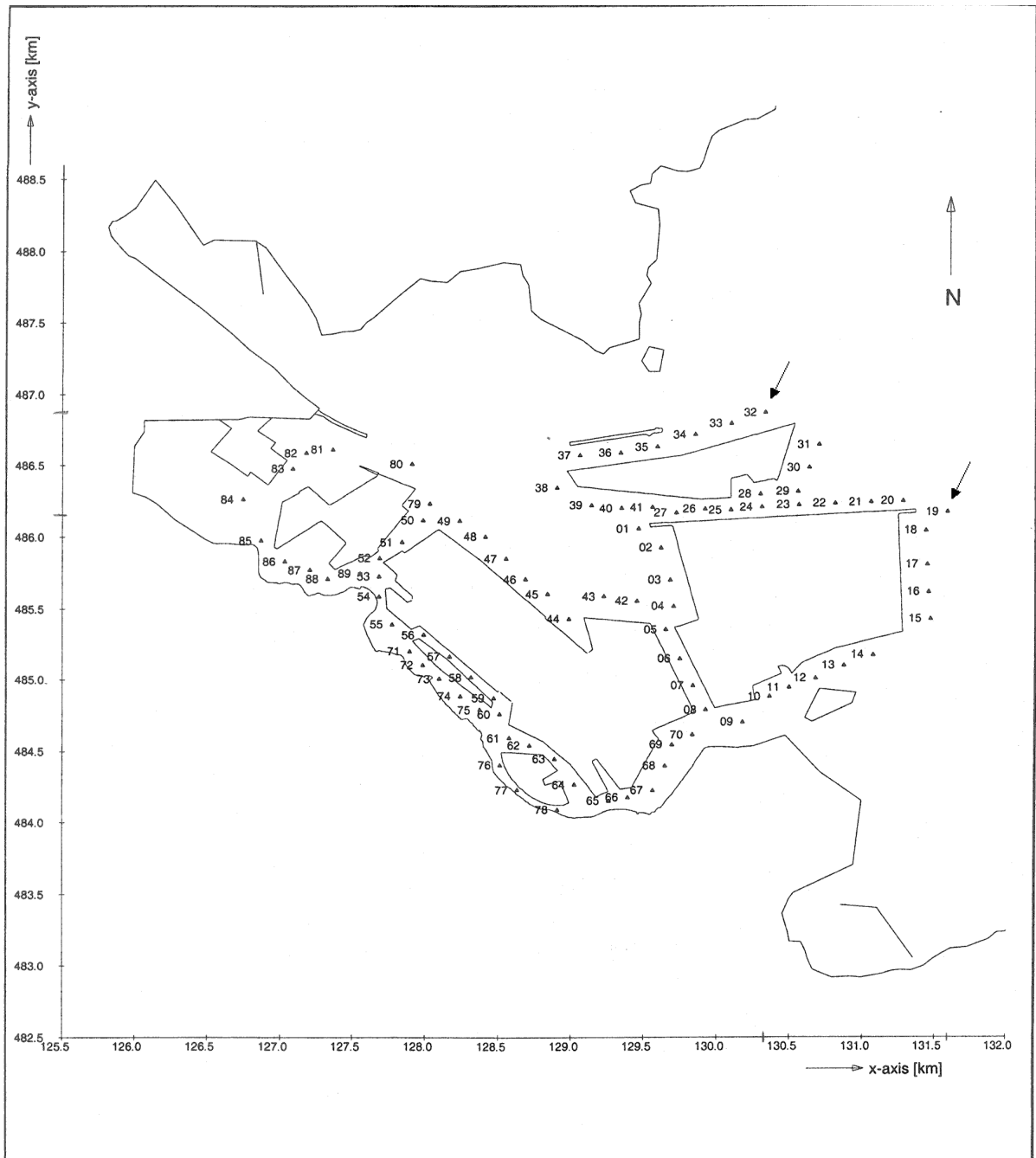
Uitgangspunten Young Verhagen					
Hinf	0.241	k1	0.0031	m1	0.57
			3		
Tinf	7.518	k2	0.0005	m2	0.73
			215		
p	0.87	k3	0.493	m3	0.75
q	0.37	k4	0.331	m4	1.01

BIJLAGE Figuren



Golfmeetlocaties

rijkswaterstaat directie flevoland, afd. ANM.	datum	get.	gez.	gec.	schaal :
	paraaf	30-10-2002			form. : A4
		DJTN			reg. nr. : Golfloc99.dwg



IJburg waterbewegings- en golfmodel Uitvoerpunten Toekomstige situatie	IJburg	
	Delft3D	
WL delft hydraulics	H3274	Fig. 5.1