

Golfhoogte-overschrijdingskromme in Deltagoot en Scheldegoot

M. Klein Breteler

Onlangs is vastgesteld dat de golfhoogte-overschrijdingskrommen van de inkomende golven van de proeven die zijn uitgevoerd in het kader van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen waarschijnlijk niet helemaal correct zijn. Bij sommige proeven in de Deltagoot en Scheldegoot laat de golfhoogte-overschrijdingskromme van de inkomende golven een overmaat aan zeer hoge golven (Scheldegoot) of een tekort aan zeer hoge golven (Deltagoot) zien.

In bijgaande notitie (Wenneker, 10 maart 2008) zijn een aantal mogelijke oorzaken van dit probleem nader geanalyseerd:

- mogelijk zijn de golven wel opgewekt, maar waren ze al gebroken voordat ze de golfhoogtemeters bereikten
- er kan een fout gemaakt zijn bij het uitwerken van de meetsignalen
- de golfhoogtemeters zouden te dicht bij het golfschot of de constructie kunnen hebben gestaan
- de bemonsteringsfrequentie was mogelijk te laag
- in de uitwerking zou de golfhoogte anders gedefinieerd moeten worden
- fout in software
- ruis in de meetsignalen
- de golfhoogte is beperkt door de beperkte slag van het golfschot

Het is gebleken dat een onjuiste definitie van de golfhoogte de belangrijkste oorzaak is van de afwijkende golfhoogte-overschrijdingskromme. In de software van Deltares wordt de golfhoogte berekend door in elke golf het hoogteverschil te bepalen tussen de golftop en het daarop volgende dal. Dit is gebaseerd op de definitie dat een golf begint zodra het wateroppervlak in opwaartse richting door de stilwaterlijn gaat.

Volgens de internationale literatuur zou echter de golf moeten beginnen als het wateroppervlak in neerwaartse richting door de stilwaterlijn gaat. De golfhoogte is dan het hoogteverschil tussen het golfdal en de daarop volgende top.

Hoewel deze twee definities op het eerste gezicht hetzelfde lijken te zijn, blijkt het soms toch meetbare verschillen te geven. Door met de correcte definitie de golven te berekenen, blijkt de golfhoogte-overschrijdingskromme van de twee geanalyseerde proeven wel netjes de verdeling van Rayleigh te volgen.

Het blijkt een verwaarloosbare invloed te hebben op de significante golfhoogte (minder dan 1%), die in het merendeel van de verslagen van het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen gebruikt is om conclusies op te baseren. Het heeft echter wel enige invloed op de maximale golfhoogte, die gebruikt is in de analyse van de proeven die gericht waren op het vaststellen van de Langeduursterkte van steenzettingen. Ondanks dat deze invloed waarschijnlijk slechts een paar procent is, is besloten de proeven uit het verslag "Langeduursterkte van steenzettingen, november 2005" opnieuw door te rekenen. Vervolgens zal het verslag waar nodig aangepast worden.

Het is niet te verwachten dat de conclusie van het verslag hierdoor zal veranderen.

Golfhoogte-overschrijdingskromme in Deltagoot en Scheldegoot

I. Wenneker

1 Samenvatting

In Klein Breteler (2007) staat dat bij sommige proeven de golfhoogte-overschrijdingskromme van de inkomende golven niet correct lijkt. De golfhoogte-overschrijdingskromme laat een overmaat (Scheldegoot) of tekort (Deltagoot) aan zeer hoge inkomende golven zien. In het huidige document is gekeken naar beide situaties: proef P25 in de Deltagoot, en proef T308 in de Scheldegoot. Er is niet naar andere proeven gekeken.

De oorzaak van het probleem voor de Deltagootproef zit in onnauwkeurigheden in de scheiding van inkomende en gereflecteerde golven, uitgaande van het gemeten totale golfsignaal. Deze onnauwkeurigheden zijn te wijten aan de aanwezigheid van ruis ('noise'). De ruisterm bevat zowel meetruis als gevolgen van nietlineaire effecten zoals golfbreken of generatie van hogere en lagere harmonischen. Omdat nietlineaire effecten niet uit te schakelen zijn, betekent dat het niet altijd mogelijk is om de ruis voldoende klein te houden. Men zal hiermee dus moeten leren leven.

De oorzaak voor het probleem voor de Scheldegootproef zit in de gebruikte definitie van de golf. Er is gebruik gemaakt van upcrossings om de golf te definiëren. Als er gebruik gemaakt wordt van downcrossings, is het probleem verdwenen. De precieze oorzaak hiervoor is vooralsnog onbekend. We merken op dat de IAHR (1986) het gebruik van downcrossings aanbeveelt, met als belangrijkste reden dat een golf die de constructie belast gekarakteriseerd kan worden als een muur van water met een bepaalde hoogte, dus van golfdal naar de opvolgende golftop.

Een aspect dat ook speelt, is dat van statistische uitschieters. De waargenomen afwijkingen behelzen slechts de grootste golven; dat zijn typisch een paar procent van alle golven. Met orde 1000 golven betekent dit dat er uitspraken gedaan worden over de statistiek aan de hand van enkele tientallen golven. Met deze uitspraken moet voorzichtig omgegaan worden.

Samenvattend, de bepaling van de grootste golven is gevoelig voor de aanwezigheid van ruis, de precieze definitie van de golf, en van statistische uitschieters. Dat maakt het moeilijk om de hier gevonden conclusies te generaliseren.

De volgende aanbevelingen worden gedaan om de gevoeligheid voor de ruis en de precieze definitie van de golf beter in te schatten:

- Gebruik in de analyse met Auke-process naast upcrossings ook downcrossings. Dit kan door in de invoerfile voor het programma Waves, toegepast op het inkomende signaal, het commando 'zero-

crossing, downwards' te gebruiken (als dit commando er niet is, wordt de default (upcrossings) gebruikt).

- Figuren van de squared coherence dienen standaard uitgevoerd te worden.. Dit is een maat die de kwaliteit van de uitgevoerde scheiding aangeeft. Echter, we dienen nog wel een beter begrip van deze maat te krijgen.
- De maximale golfhoogte in een proef is een onbetrouwbare maat. Deze is gevoelig voor onnauwkeurigheden in de scheidingsprocedure en voor toevallige uitschieters. Het is over het algemeen beter om te kijken naar golfgemiddelde grootheden. Deze zijn, middels de Rayleigh verdeling, te relateren aan de maximaal te verwachten golfhoogte (bijvoorbeeld: $H_{1/1000} = 1.86H_s$, met $H_{1/1000}$ de golfhoogte van de 1-op-1000 golf, en $H_s = H_{1/3}$ de significantie golfhoogte). Als toch de daadwerkelijk opgetreden maximale golfhoogte van belang is, dan is het zinvol te vermelden of deze bepaald is middels upcrossings of downcrossings.

In onderstaande worden de uitgevoerde werkzaamheden beschreven, waarin bovenstaande conclusies en aanbevelingen onderbouwd worden.

2 Deltagoot – proef P25

In Klein Breteler (2007) wordt geconstateerd dat de golfhoogte-overschrijdingskromme van de inkomende golf proef P25 in de Deltagoot een tekort aan zeer hoge inkomende golven laat zien. Enkele figuren afkomstig uit de analyse zijn bijgevoegd. In Figuur 1 staat het spectrum van de inkomende golf. Enkele golfparameters bij het inkomende signaal zijn: $H_s = H_{1/3} = 0.86\text{m}$; $T_p = 9.2\text{s}$; $T_{m-1,0} = 7.9\text{s}$; $T_{m0,2} = 6.6\text{s}$. Het aantal golven bedraagt ongeveer 1060. In Figuur 2 staat de correlatie tussen de golfhoogte en golfperiode van de inkomende golf. In Figuur 3 staan de golfhoogte-overschrijdingskrommes van de inkomende golf en van het totale signaal voor ieder van de drie golfhoogtemeters. Het probleem dat we hier onderzoeken is de aanwezigheid van de 'knik' in het rode lijntje voor lage overschrijdingspercentage in het plaatje linksboven in Figuur 3. De zwarte lijn is de lijn die de Rayleigh-verdeling voorstelt. Dit probleem wordt hieronder geanalyseerd.

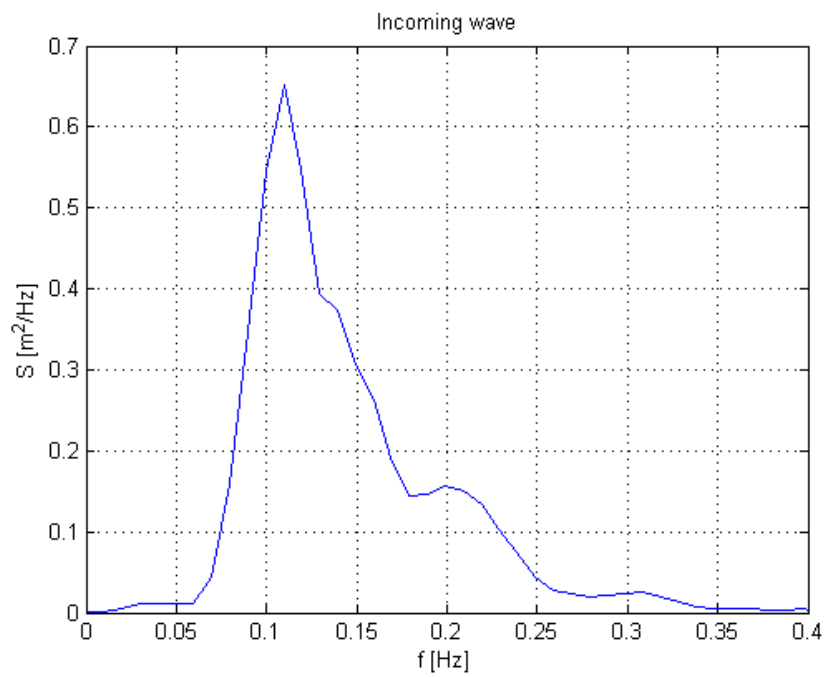
Hypothese 0: Brekende golven

Met name de hoogste golven breken. Hierdoor zal een overschrijdingskromme afvlakken voor de grootste golven (de laagste overschrijdingspercentages). Echter, bij deze proef zijn geen brekende golven waargenomen, dus deze hypothese is daarmee van tafel.

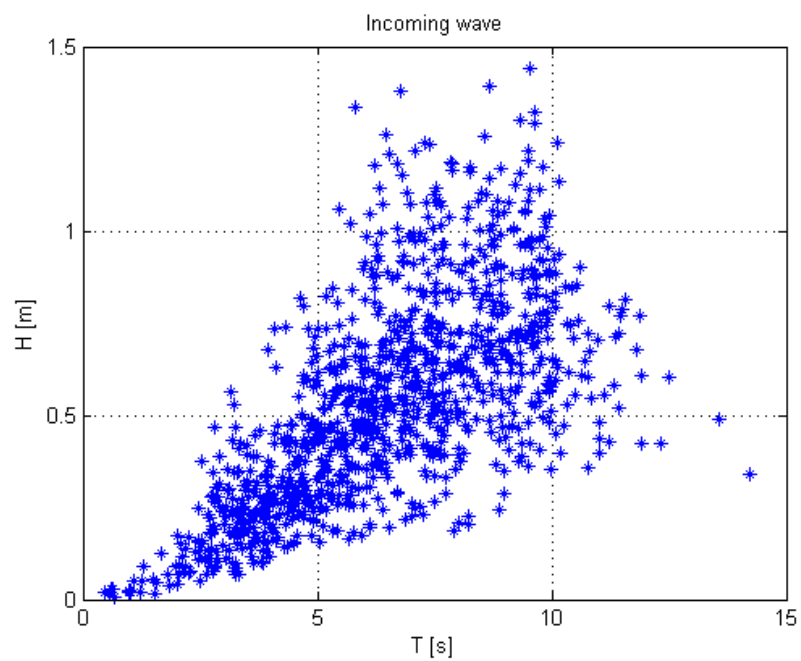
Hypothese 1: Per ongeluk gemaakte fouten in uitwerking meetsignalen

Allereerst is onderzocht of er in de uitwerking van de meetsignalen iets per ongeluk verkeerd is gegaan. Dit blijkt, na controle van de invoerbestanden en vergelijking van de uitvoer waarop voornoemde conclusie is gebaseerd met opnieuw gegenereerde uitvoer, niet het geval te zijn.

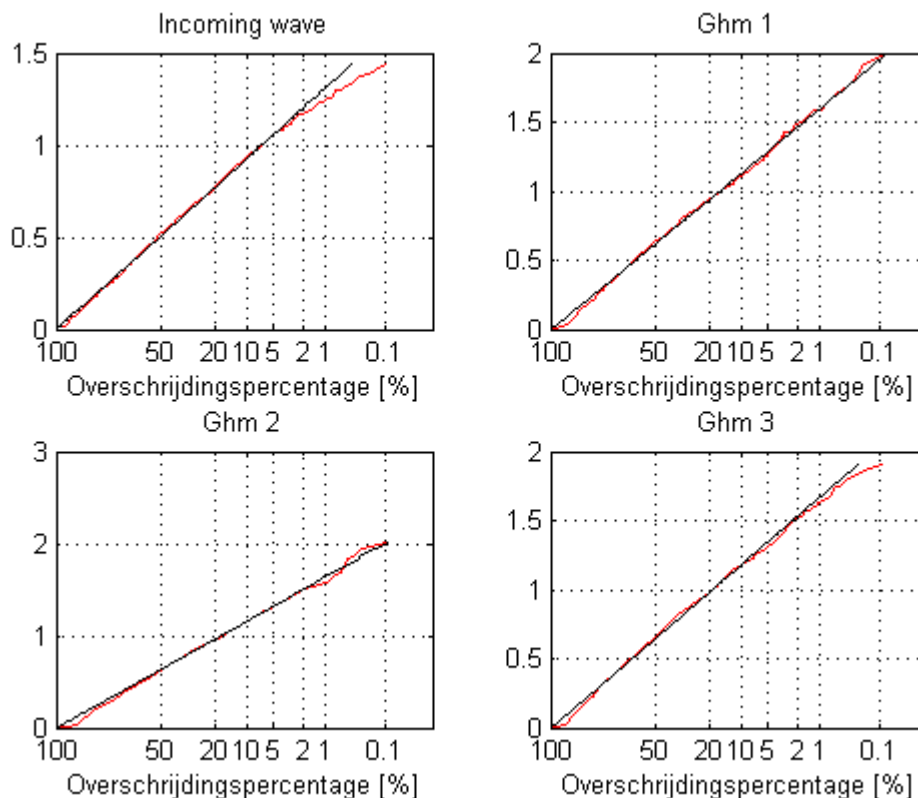
Deze hypothese is daarmee van tafel.



Figuur 1. Spectrum van de inkomende golf.



Figuur 2. Correlatie tussen golfperiode en golfhoopte van de inkomende golf.



Figuur 3. Overschrijdingskromme van de inkomende golf en van het totale signaal voor ieder van de drie golfhoogtemeters. Metingen: rood; Rayleigh-verdeling: zwart.

Hypothese 2: Golfhoogtemeters te dicht bij golfschot of constructie

Zoals reeds is aangetoond in WL (1981), moeten golfhoogtemeters op tenminste ongeveer L_{gp} (ondiepwater golflengte) van het golfschot en van de constructie staan. Voor de gegeven diepte van $h = 4.80\text{m}$ en een typische golfperiode zoals gemeten voor de inkomende golf van $T_p = 9.2\text{s}$ levert toepassing van de lineaire dispersie relatie op: $L_{gp} = 60.7\text{ m}$. De drie golfhoogtemeters die gebruikt zijn voor het scheiden van inkomende en gereflecteerde golven bevinden zich op 90.00 m, 100.50m en 104.00m van het golfschot. Ook bevinden ze zich op meer dan 60 m van de constructie; de teen bevindt zich op 171 meter, en de waterlijn op ca. 185 à 190 m van het golfschot.

Deze hypothese is daarmee van tafel.

Hypothese 3: Fout in berekening van inkomende golf

Deze hypothese lijkt goede papieren te hebben. Het ongewenste gedrag van de golfhoogte-overschrijdingskromme is niet waargenomen in het totale golfsignaal, maar wel in het inkomende signaal, zie Figuur 3. Om tot een scheiding van inkomend en gereflecteerd golfsignaal te komen, wordt het AUKE-PROCESS programma reflecmf gebruikt. Dit programma maakt gebruik van de theorie van Mansard en Funke om de scheiding uit te voeren. Hiervoor zijn drie golfhoogtemeters nodig. In de correcte uitvoering kunnen enkele zaken verkeerd gaan.

Hypothese 3a: Onderlinge afstand tussen de golfhoogtemeters is niet acceptabel

De afstanden tussen de drie golfhoogtemeters zijn 10.5 m en 3.5 m. Op basis van de theorie zijn, gegeven een Pierson-Moscowitz spectrum met $T_p = 9.2$ s en een waterdiepte van $h = 4.8$ m, de optimale afstanden 9.7 m en 5.9 m. Hoewel de verschillen tussen de daadwerkelijke en optimale afstanden misschien groot lijken, valt de nadelige invloed hiervan erg mee. Uit ervaring blijkt namelijk dat het scheidingsalgoritme erg robuust is, dat wil zeggen dat de nauwkeurigheid ervan vrij ongevoelig is voor de grootte van de afstanden tussen de golfhoogtemeters. Dit heeft als voordeel dat er meerdere proeven met verschillende golfcondities uitgevoerd kunnen worden zonder de posities van de golfhoogtemeters te wijzigen. De gebruikte afstanden vallen binnen wat acceptabel is.

Deze hypothese is daarmee van tafel.

Hypothese 3b: Invloed van de tijd-sampling

In de metingen zijn de golfhoogtesignalen met een frequentie van 200 Hz (0.005s) bemonsterd. In de daaropvolgende scheiding is, waarschijnlijk om rekentijd te besparen, een bemonsteringstijd van 0.32s gebruikt. Een ‘gemiddelde’ golf wordt daarmee bemonsterd met 21 ($= T_{m0,2} / dt = 6.6 / 0.32$) samples. Voor de ‘gemiddelde’ golf zal dit misschien voldoende zijn; voor de kortere golven niet. En hoewel de kortere golven niet degenen zijn die de grootste golfhoogte hebben (zie Figuur 2), heeft het al dan niet meenemen hiervan wel invloed op de statistiek. De nabewerking is opnieuw uitgevoerd, maar nu met een bemonsteringstijd van 0.01s. Dit blijkt echter weinig invloed te hebben, zie Figuur 4.

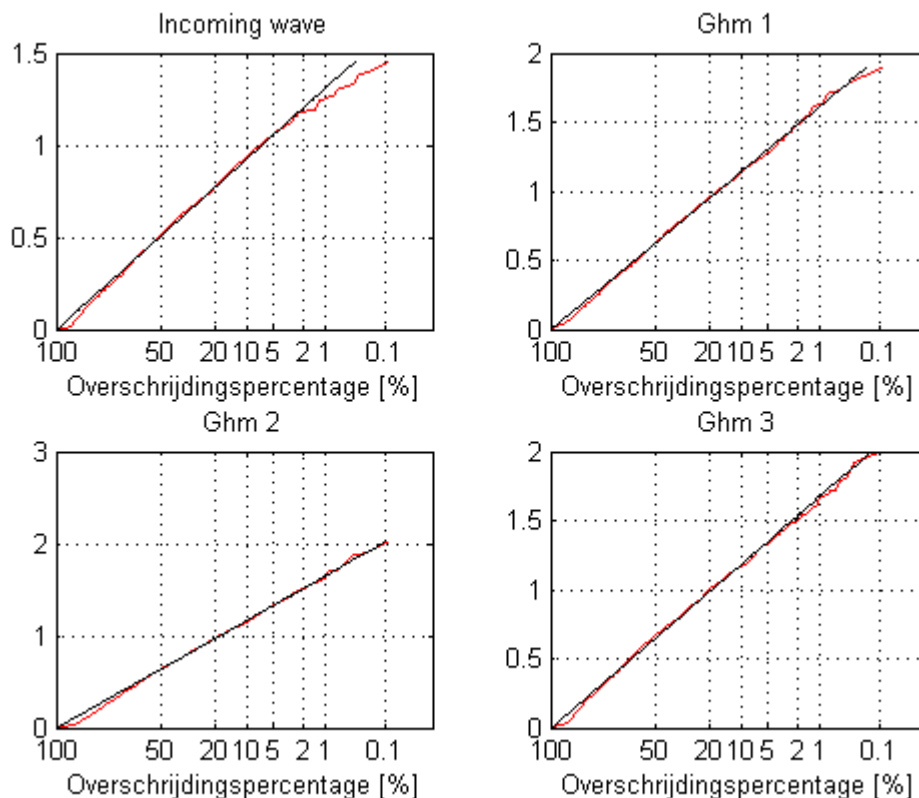
Deze hypothese is daarmee van tafel.

Om eventuele onnauwkeurigheden voor te zijn, wordt in de verdere analyses in dit document vanaf nu een bemonsteringstijd van 0.1s gebruikt.

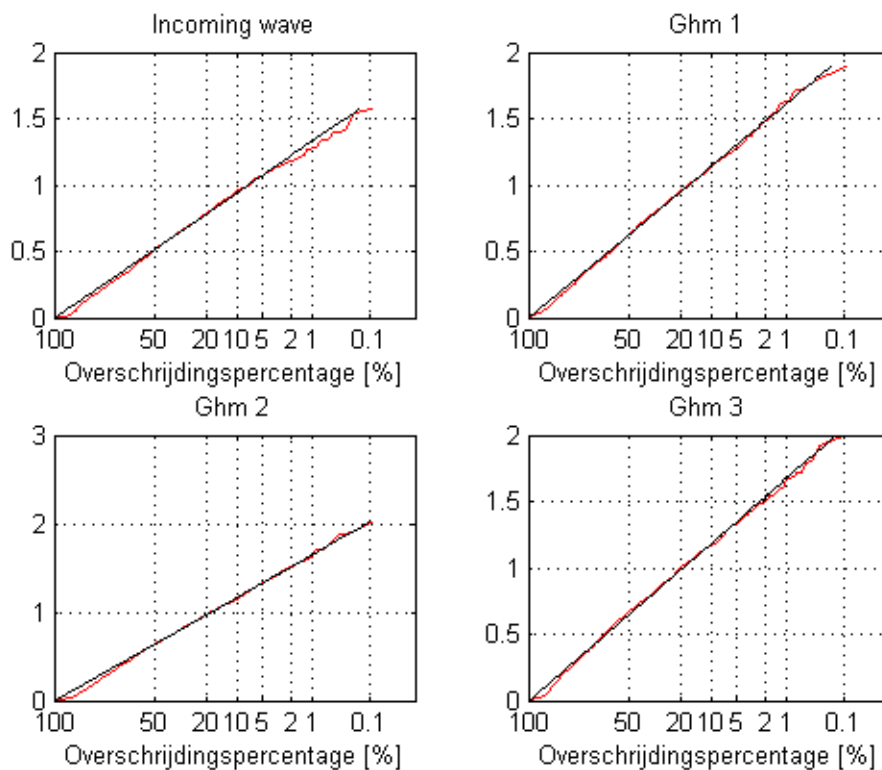
Hypothese 3c: Definitie van golfhoogte

Voor de behaalde resultaten is gebruik gemaakt van golven die bepaald zijn aan de hand van upcrossings. Dat betekent dat een ‘nieuwe’ golf begint zodra het waterniveau van beneden af door de waterlijn gaat. De hierbij horende golfhoogte is gelijk aan de afstand tussen de top, die als eerst optreedt, en het dal, dat daarna optreedt. De golven kunnen ook bepaald worden middels downcrossings. Dit leidt tot (iets) andere waarden voor de golfhoogtes en golfperiodes. Zoals gezegd, een bemonsteringstijd van 0.1 s is gebruikt. Dit leidt tot de resultaten zoals getoond in Figuur 5. Hier zien we een duidelijk verschil voor zeer grote golven. Dit suggereert dat de oorzaak van het probleem kan zitten in individuele uitschieters die de statistiek niet volgen.

Verder merken we op dat de IAHR (1986) het gebruik van downcrossing aanbeveelt. In de analyses in dit document zijn vanaf nu downcrossings gebruikt.



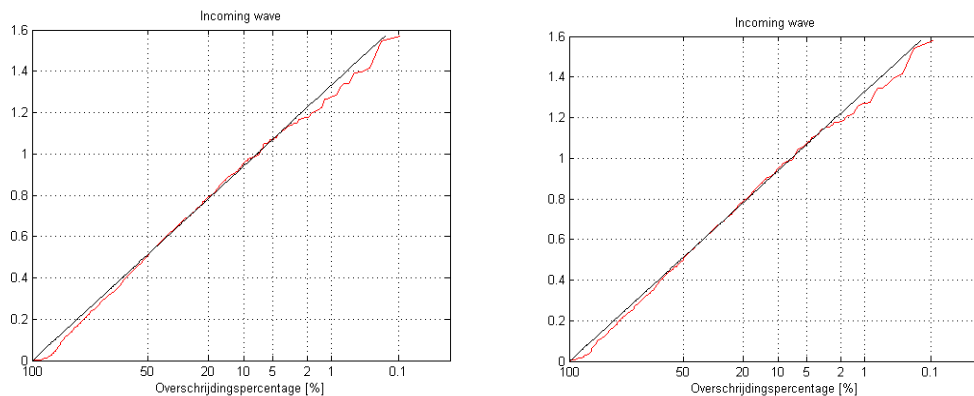
Figuur 4. Overschrijdingskrommen bepaald met een bemonsteringstijd van 0.01s.



Figuur 5. Overschrijdingskrommen bepaald met downcrossings, en een bemonsteringstijd van 0.1s.

Hypothese 3d: Bug in *reflecMF*

Het zou ook mogelijk zijn dat in het AUKE-PROCESS programma *reflecMF* een fout zit. Daartoe hebben we met het Matlab programma *manfunk80.m* (oorspronkelijk geschreven door Ap van Dongeren, met enkele uitbreidingen door Sofia Caires) de scheiding opnieuw uitgevoerd. Uiteraard zijn dezelfde signalen en dezelfde instellingen (waaronder een bemonsteringstijd van 0.1s en downcrossings). De resultaten zijn nagenoeg identiek (zie Figuur 6); de kleine verschillen zijn te wijten aan numerieke details, zoals de precieze berekening van de FFT (Fast Fourier Transform). Merk verder op dat de linkerfiguur in Figuur 6 identiek is aan de figuur linksboven in Figuur 5.



Figuur 6. Overschrijdingskromme van de inkomende golf bepaald met *reflecMF* (links) en met *manfunk80.m* (rechts).

Hypothese 3e: Ruis ('noise') in de meetsignalen

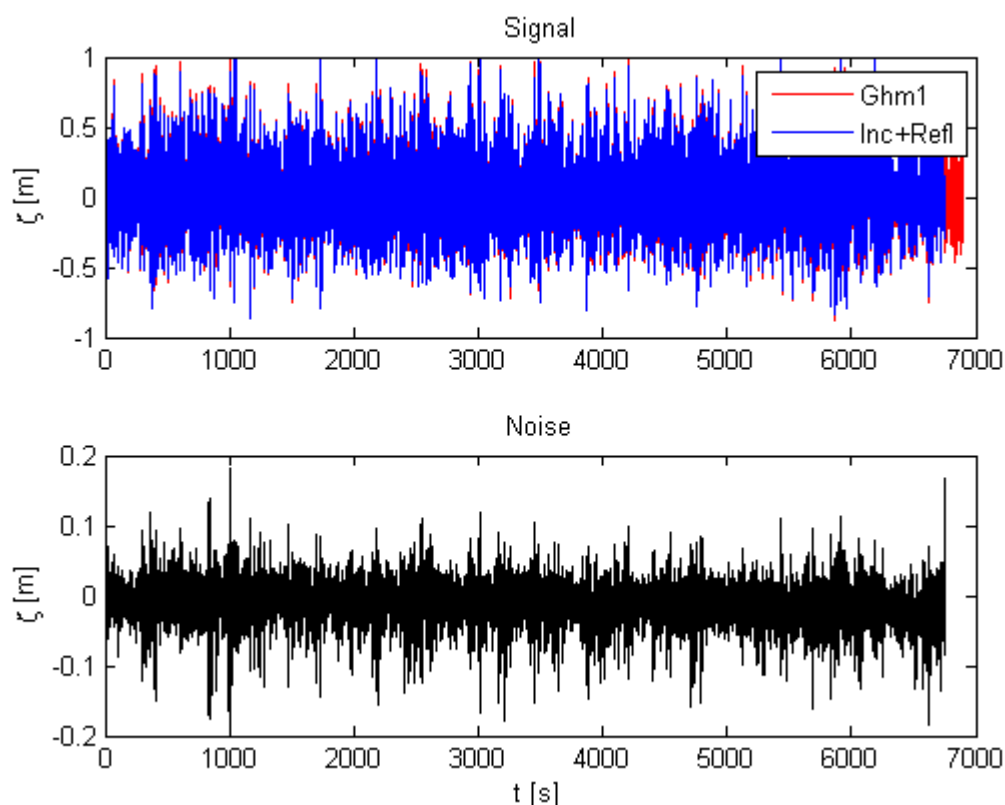
Het zou ook nog kunnen dat er dusdanig veel ruis ('noise') op de meetsignalen zit, dat hierdoor de scheiding tussen inkomende en gereflecteerde golf onnauwkeurig is. In de methode van Mansard en Funke wordt het golfsignaal als volgt gescheiden:

$$\zeta_{\text{gemeten}} = \zeta_{\text{inkomend}} + \zeta_{\text{gereflecteerd}} + \varepsilon$$

waarin ζ_{gemeten} het gemeten golfsignaal, ζ_{inkomend} het inkomende golfsignaal, $\zeta_{\text{gereflecteerd}}$ het gereflecteerde golfsignaal, en ε de ruis is. In de methode van Mansard en Funke wordt de ruisterm geminimaliseerd. Deze ruisterm bevat zowel meetruis als gevolgen van nietlineaire effecten zoals golfbreken of generatie van hogere en lagere harmonischen; de methode van Mansard en Funke houdt namelijk geen rekening met nietlineaire effecten. In Figuur 7 staan in de bovenste figuur de termen ζ_{gemeten} (rode lijn) en $(\zeta_{\text{inkomend}} + \zeta_{\text{gereflecteerd}})$ (blauwe lijn). Het verschil tussen die twee termen is de ruisterm, die in de onderste figuur staat. Aan de hand van deze figuur is het moeilijk om te zeggen of de ruisterm verantwoordelijk is voor het probleem.

Om te onderzoeken of de ruis term de oorzaak is, hebben we nog enkele overschrijdingskrommes gemaakt, te weten van $(\zeta_{\text{inkomend}} + \zeta_{\text{gereflecteerd}})$, $\zeta_{\text{gereflecteerd}}$, ε en $(\zeta_{\text{inkomend}} + \frac{1}{2}\varepsilon)$. Deze staan in Figuur 8. Merk op dat de

golfhoogteoverschrijdingskromme voor de inkomende golf al in Figuur 6 staat, en hier niet herhaald is. Uit deze figuren blijkt dat de som van inkomend en gereflecteerde golf wel het verwachte gedrag vertoont. De ruisterm heeft een ‘golfhoogte H_s ’ (bepaald middels downcrossings) van 0.1 m, maar vertoont veel uitschieters naar boven. Met andere woorden, de ruisterm voldoet niet aan de Rayleigh verdeling (en dat hoeft ook niet). Daarnaast hebben we gekeken naar de term $(\zeta_{inkomend} + \frac{1}{2}\varepsilon)$. Dit is gedaan om de gevoeligheid voor de ruisterm te onderzoeken. Je zou kunnen zeggen dat, naar alle waarschijnlijkheid, de ruisterm een deel van de in het echt opgetreden golfcomponenten bevat. We zien dat dit nauwelijks effect heeft (vgl. het plaatje rechtsonder in Figuur 8 met Figuur 6).

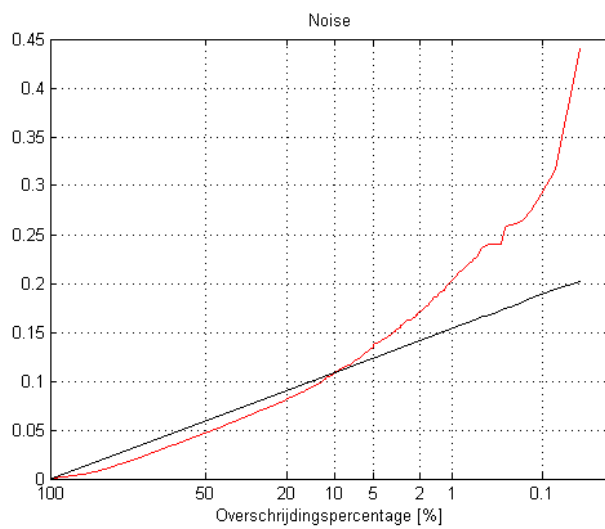
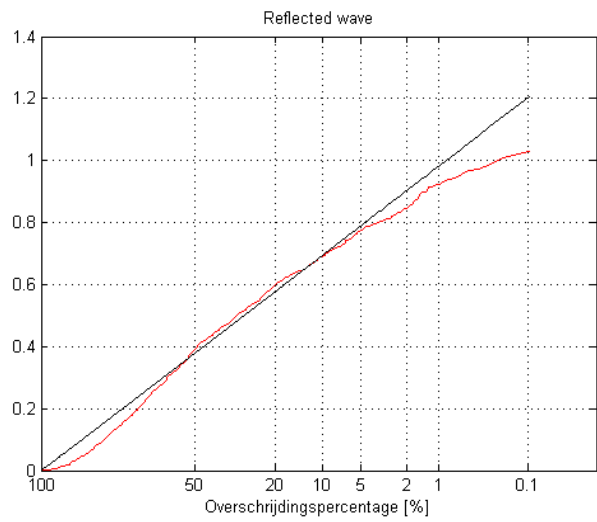
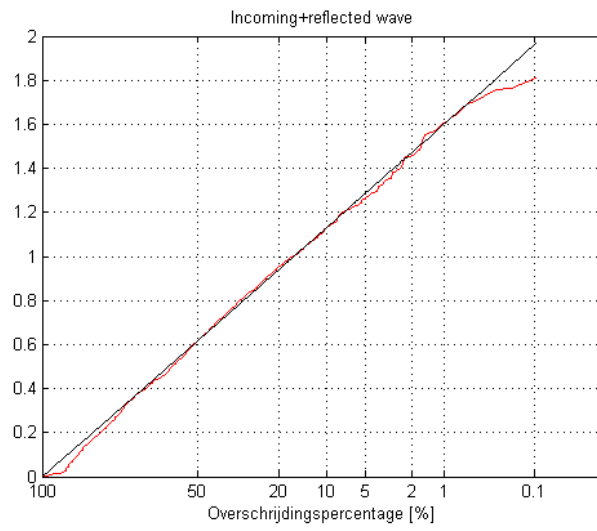


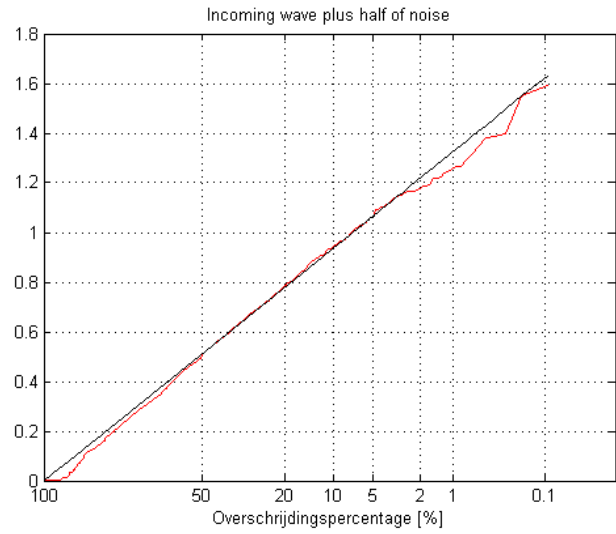
Figuur 7. Ruis in de meetsignalen.

Een nauwkeuriger maat voor de kwaliteit van de scheiding is de zogenaamde squared coherence. Idealiter is deze gelijk aan 1, en hoe kleiner deze waarde, hoe minder nauwkeurig de scheiding. Over het algemeen wordt een waarde lager dan 0.8 als onnauwkeurig bestempeld. In Figuur 9 staat de squared coherence geplotted. Hieruit leiden we af dat de scheiding onnauwkeurig is, omdat de squared coherence in het relevante frequentiegebied (het gebied waar veel golfenergie zit, dus tussen 0.07 Hz en 0.25 Hz) veelvuldig (ver) onder de 0.8 komt.

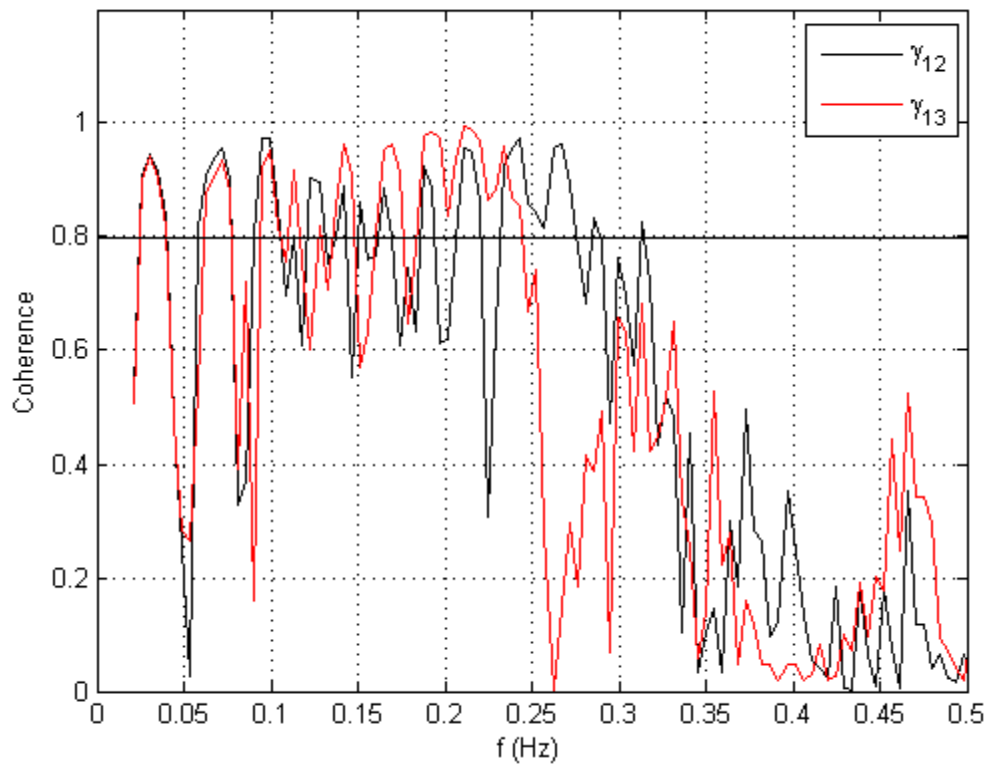
Voor de volledigheid hebben we nog een figuur bijgesloten waaruit gehaald kan worden hoeveel inkomende golven nu eigenlijk ‘niet aan de statistiek voldoen’. Hiertoe is een stuk van de overschrijdingskromme van de inkomende golf (Figuur 6) uitvergroet in Figuur 10. Hieruit leiden we af dat enkele tientallen (op meer dan

duizend) golven ongeveer 5 cm te weinig golfhoogte hebben ten opzichte van wat op basis van Rayleigh verdeling verwacht mag worden.

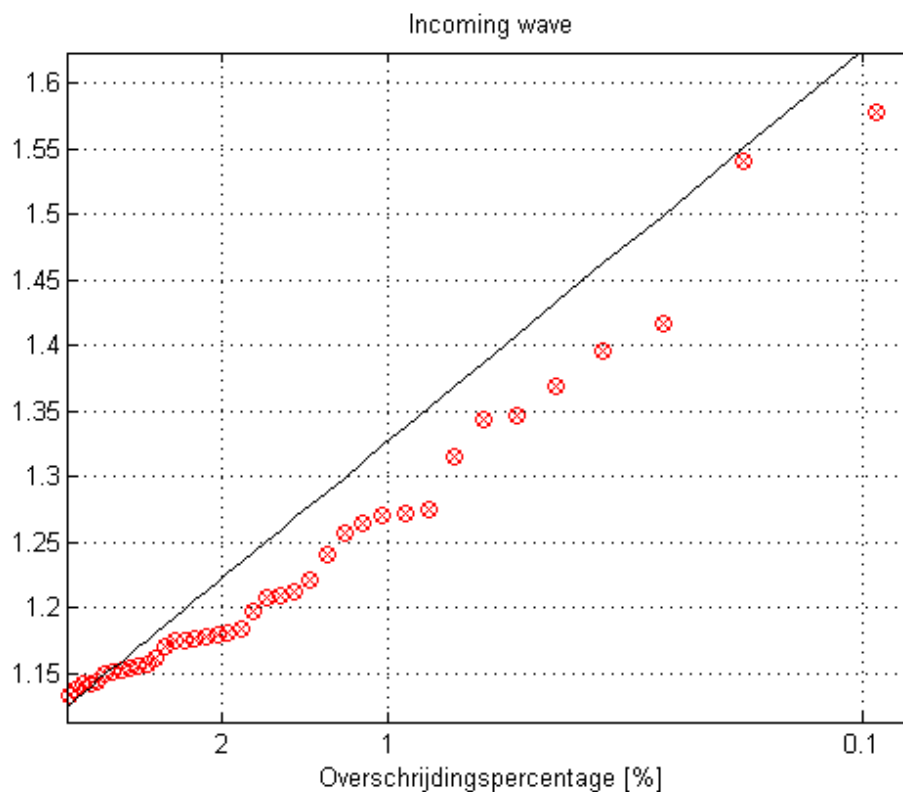




Figuur 8. Overschrijdingskrommen van $(\zeta_{inkomend} + \zeta_{gereflecteerd})$, $\zeta_{gereflecteerd}$, ε en $(\zeta_{inkomend} + \frac{1}{2}\varepsilon)$.



Figuur 9. De squared coherence voor ghm1 en ghm2 (γ_{12}), en voor ghm1 en ghm3 (γ_{13}).



Figuur 10. Overschrijdingskromme van de inkomende golf, voor zeer hoge golven. Ieder individueel punt komt overeen met een golf.

Voor de 10 hoogste inkomende golven hebben we in een tabel ook de uit de metingen afgeleide golfhoogte en de – volgens Rayleigh verdeling – verwachte golfhoogte gegeven.

Tabel 1. De golfhoogte van de 10 hoogste inkomende golven.

Rayleigh	A	B	C	D	E
1.634	1.441	1.456	1.572	1.578	1.594
1.551	1.391	1.403	1.547	1.541	1.551
1.500	1.378	1.391	1.414	1.417	1.397
1.463	1.333	1.335	1.396	1.397	1.389
1.433	1.324	1.324	1.394	1.369	1.379
1.409	1.299	1.316	1.341	1.346	1.342
1.388	1.294	1.304	1.340	1.343	1.311
1.369	1.260	1.271	1.320	1.316	1.291
1.352	1.254	1.267	1.283	1.276	1.264
1.338	1.240	1.259	1.280	1.272	1.264

De betekenis van de kolommen in deze tabel is als volgt:

- **Rayleigh**: de volgens Rayleigh verdeling verwachte golfhoogte voor de 10 hoogste golven.
- **A**. Het signaal volgens de oorspronkelijke verwerking. Dus: bepaald met *reflecMF*, met een bemonsteringstijd van 0.32s en upcrossings. Zie Figuur 3.
- **B**. Bepaald met *reflecMF*, met een bemonsteringstijd van 0.01s en upcrossings. Zie Figuur 4.

- C. Bepaald met *reflecMF*, met een bemonsteringstijd van 0.1s en downcrossings. Zie Figuur 5.
- D. Bepaald met *manfunk80.m*, met een bemonsteringstijd van 0.1s en downcrossings. Zie Figuur 6.
- E. Signaal is $(\zeta_{\text{inkomend}} + \frac{1}{2}\varepsilon)$. Bepaald met *manfunk80.m*, met een bemonsteringstijd van 0.1s en downcrossings. Zie Figuur 8 rechtsonder.

Hypothese 4: de golfhoogte is beperkt door de beperkte slag van het golfschot

Doordat het golfschot een beperkte slag heeft, kan het voorkomen dat de grootste golven niet opgewekt kunnen worden. Voor de onderhavige proef is dit nader geanalyseerd.

Het blijkt dat de maximaal benodigde slag (excl. reflectiecompensatie) voor deze proef slechts ongeveer 3,4 m is, terwijl de maximaal mogelijke slag 5 m is. Daarnaast is er nog slag nodig voor het compenseren van de reflectie.

Deze reflectiecompensatie wordt online berekend, maar wordt zo nodig uitgeschakeld als daardoor de benodigde slag groter wordt dan de mogelijke slag. De zeer grote golven worden dus wel opgewekt, maar tijdelijk worden de inkomende golven niet opgevangen. Door gedurende 1 of 2 golfperiodes geen reflectiecompensatie te hebben, kan de gewenste golf wel goed opgewekt worden, terwijl het voor het algehele golfbeeld nauwelijks consequenties heeft. De golf die reflecteert op het schot heeft waarschijnlijk een andere periode en dus andere voortplantingssnelheid, en is dus bij het schot wel in fase met de opgewekte golf, maar verderop al niet meer.

Aangezien de benodigde slag veel kleiner is dan de maximaal mogelijke slag, kan deze hypothese verworpen worden. Dit sluit ook aan bij de constatering dat de golfhoogte-overschrijdingskromme van de totale golfhoogte wel recht loopt.

3 Scheldegoot – proef T308

In Klein Breteler (2007) wordt geconstateerd dat de golfhoogte-overschrijdingskromme van de inkomende golf proef T308 in de Scheldegoot een overschot aan zeer hoge inkomende golven laat zien. Enkele figuren afkomstig uit de analyse zijn bijgevoegd. In Figuur 11 staat het spectrum van de inkomende golf. Enkele golfparameters bij het inkomende signaal zijn: $H_s = H_{1/3} = 0.17\text{m}$; $T_p = 4.0\text{s}$; $T_{m-1,0} = 3.6\text{s}$; $T_{m0,2} = 2.8\text{s}$. Het aantal golven bedraagt ongeveer 1282. In Figuur 12 staat de correlatie tussen de golfhoogte en golfperiode van de inkomende golf. In Figuur 13 staan de golfhoogte-overschrijdingskrommes van de inkomende golf en van het totale signaal voor ieder van de drie golfhoogtemeters. Het probleem dat we hier onderzoeken is de aanwezigheid van de ‘knik’ in het rode lijntje voor lage overschrijdingspercentage in het plaatje linksboven in Figuur 13. De zwarte lijn is de

lijn die de Rayleigh-verdeling voorstelt. Dit probleem wordt hieronder geanalyseerd op soortgelijke wijze als hierboven voor de Deltagoot.

Hypothese 0: Brekende golven

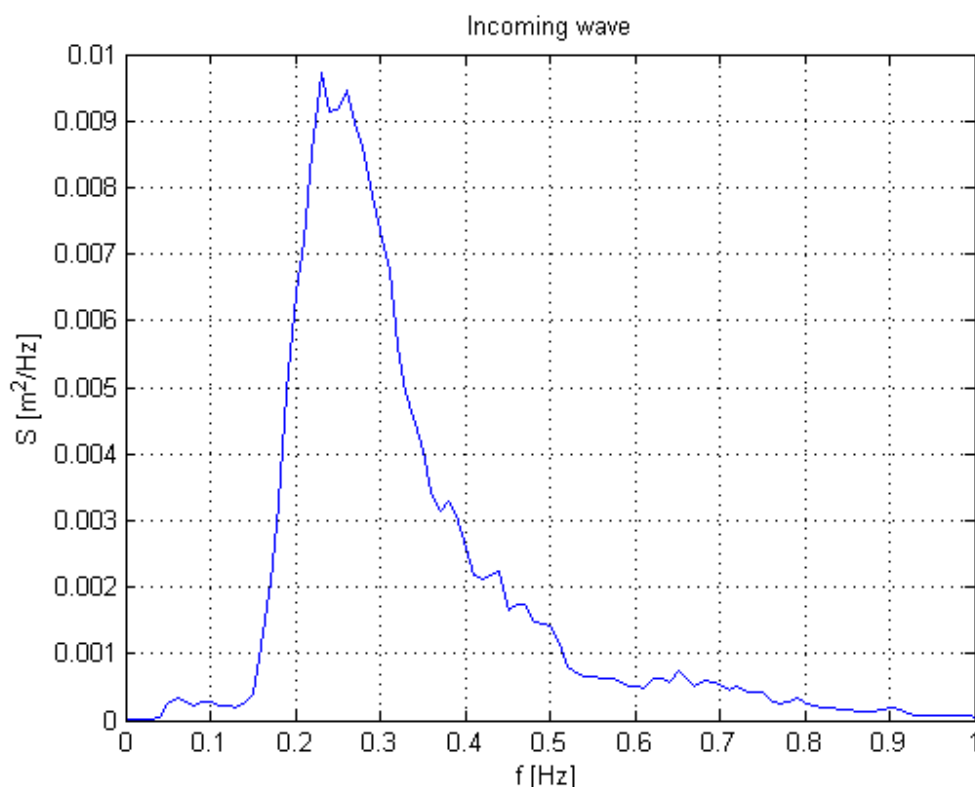
Met name de hoogste golven breken. Hierdoor zal een overschrijdingskromme afvlakken voor de grootste golven (de laagste overschrijdingspercentages). Echter, bij deze proef zijn geen brekende golven waargenomen, dus deze hypothese is daarmee van tafel.

Hypothese 1: Per ongeluk gemaakte fouten in uitwerking meetsignalen

Allereerst is onderzocht of er in de uitwerking van de meetsignalen iets per ongeluk verkeerd is gegaan. Dit blijkt, na controle van de invoerbestanden en vergelijking van de uitvoer waarop voornoemde conclusie is gebaseerd met opnieuw gegenereerde uitvoer, niet het geval te zijn.

Deze hypothese is daarmee van tafel.

Voor de volledigheid wordt het volgende vermeld. De ruwe data is gemeten met een bemonsteringsfrequentie van 1000 Hz. Voor proef T308 staat de ruwe data op DVD 4 van de serie 'Kennisleemtes Steenbekledingen. Golfdrukken op talud t.g.v. lange golven' (MCI_594). Deze data is gefilterd naar 100 Hz. De 100 Hz voor proef T308 staat op DVD 2 van dezelfde serie (MCI_592). De Auke-process verwerking (hier dus gecontroleerd en goed bevonden) is gedaan voor de 100 Hz data en bevindt zich op DVD 1 van dezelfde serie (MCI_591).

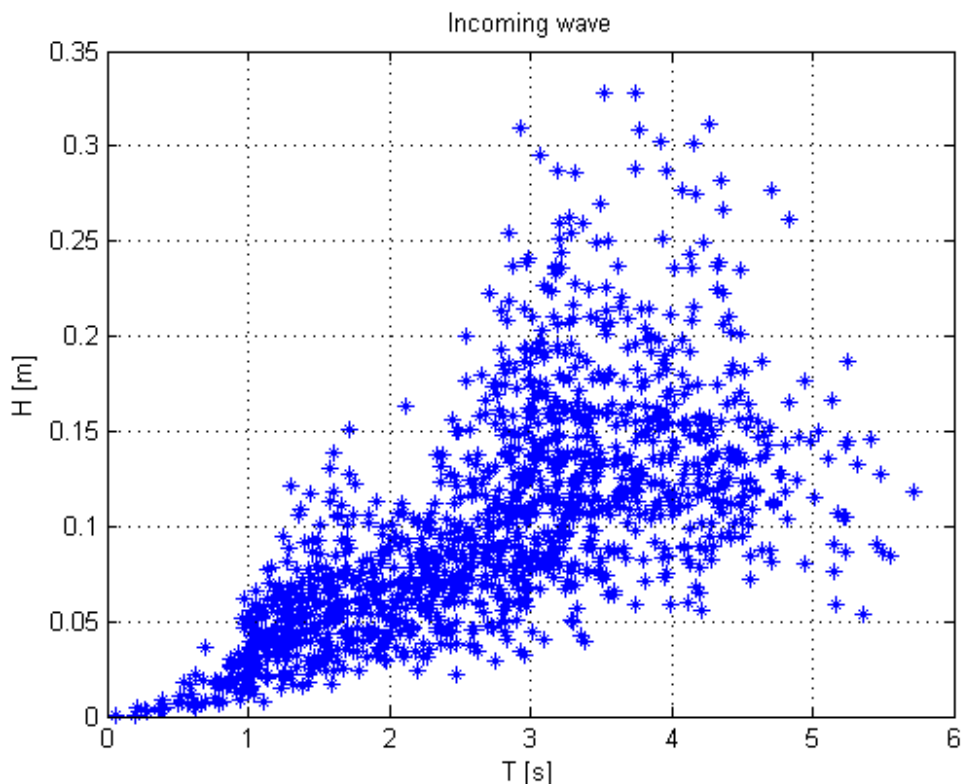


Figuur 11. Spectrum van de inkomende golf.

Hypothese 2: Golfhoogtemeters te dicht bij golfschot of constructie

Zoals reeds is aangetoond in WL (1981), moeten golfhoogtemeters op tenminste ongeveer L_{gp} (ondiepwater golflengte) van het golfschot en van de constructie staan. Voor de gegeven diepte van $h = 0.80\text{m}$ en een typische golfperiode zoals gemeten voor de inkomende golf van $T_p = 4.0\text{s}$ levert toepassing van de lineaire dispersie relatie op: $L_{gp} = 10.8\text{ m}$. De drie golfhoogtemeters (whm1, whm2 en whm3) die gebruikt zijn voor het scheiden van inkomende en gereflecteerde golven bevinden zich op 10.75 m, 12.42m en 13.533m van het golfschot. Ook bevinden ze zich op meer dan 20 m van de constructie; de teen bevindt zich op 37.4 meter.

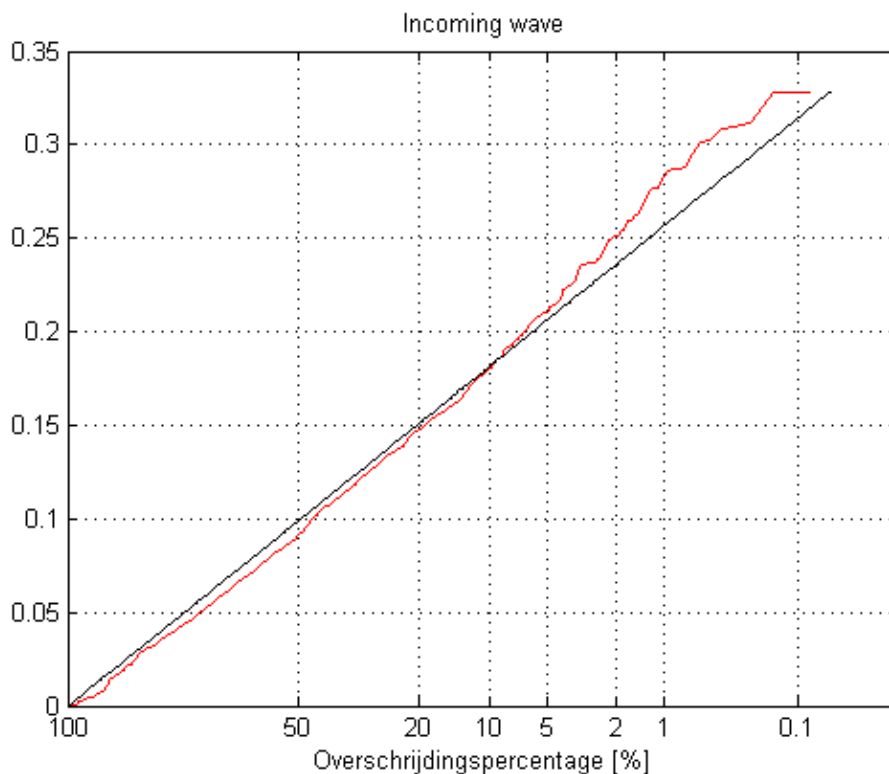
Deze hypothese is daarmee van tafel.



Figuur 12. Correlatie tussen golfperiode en golfhoogte van de inkomende golf.

Hypothese 3: Fout in berekening van inkomende golf

Deze hypothese lijkt goede papieren te hebben. Het ongewenste gedrag van de golfhoogte-overschrijdingskromme is niet waargenomen in het totale golfsignaal, maar wel in het inkomende signaal, zie Figuur 13. Om tot een scheiding van inkomend en gereflecteerd golfsignaal te komen, wordt het AUKE-PROCESS programma `reflecmf` gebruikt. Dit programma maakt gebruik van de theorie van Mansard en Funke om de scheiding uit te voeren. Hiervoor zijn drie golfhoogtemeters nodig. In de correcte uitvoering kunnen enkele zaken verkeerd gaan.



Figuur 13. Overschrijdskromme van de inkomende golf. Metingen: rood; Rayleigh-verdeling: zwart.

Hypothese 3a: Onderlinge afstand tussen de golfhoogtemeters is niet acceptabel

De afstanden tussen de drie golfhoogtemeters zijn 1.67 m en 1.113 m. Op basis van de theorie zijn, gegeven een Pierson-Moscowitz spectrum met $T_p = 4.0s$ en een waterdiepte van $h = 0.8m$, de optimale afstanden 1.61 m en 0.97 m. De gebruikte afstanden wijken niet veel af van de optimale waarden, en zijn dus acceptabel.

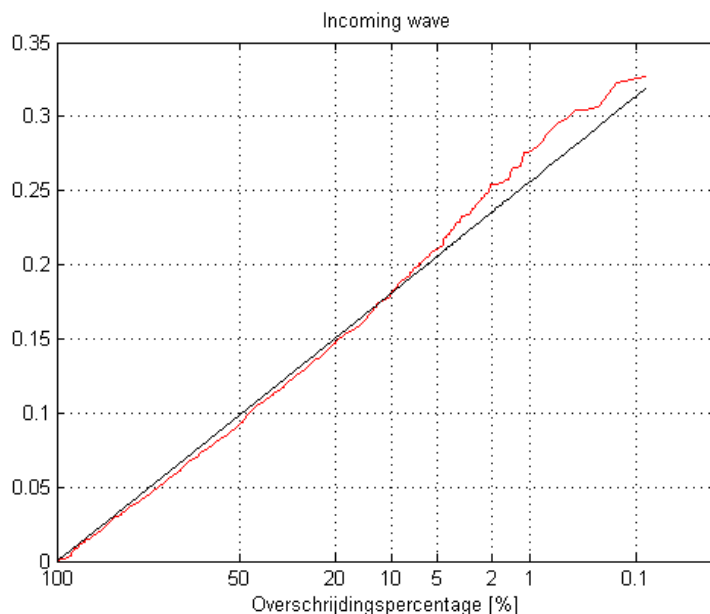
Deze hypothese is daarmee van tafel.

Hypothese 3b: Gebruik van manfunk80.m ipv reflcMF

Het Matlab programma manfunk80.m is gebruikt voor de uitvoering van de scheiding van inkomende en gereflecteerde golven in plaats van het Auke-process programma reflcMF. Met exact dezelfde invoergegevens (o.a. dezelfde tijdsampling) en methodiek (o.a. gebruik upcrossings) krijgen we de overschrijdskromme van de inkomende golf als gegeven in Figuur 14.

Er zijn kleine verschillen tussen Figuur 13 en 14. Deze zijn, zoals eerder al gemeld, te wijten aan numerieke details. Het probleem, nl. het overschot aan hoge golven, blijft bestaan.

Alle resultaten die vanaf dit moment worden gepresenteerd, zijn berekend met manfunk80.m (en dus niet met het Auke-process programma reflcMF).

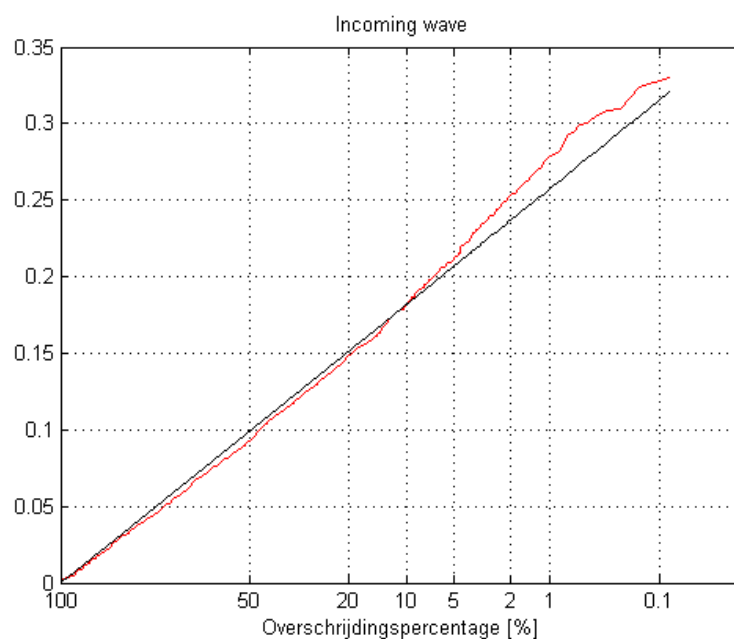


Figuur 14. Overschrijdingskromme van de inkomende golf, met manfunk80.m. Metingen: rood; Rayleigh-verdeling: zwart.

Hypothese 3c: Invloed van tijd-sampling

Om de eventuele invloed van een grove tijd-sampling te vermijden, wordt een bemonsteringstijd van 0.05s gebruikt (was: 0.16s). Een ‘gemiddelde’ golf wordt daarmee bemonsterd met $T_{m0,2} / dt = 2.8 / 0.05 = 56$ samples (was: 17). Het resultaat staat in Figuur 15.

Het verschil met Figuur 14 is minimaal. Om eventuele onnauwkeurigheden te voorkomen, wordt in de verdere analyses een bemonsteringstijd van 0.05s gebruikt.

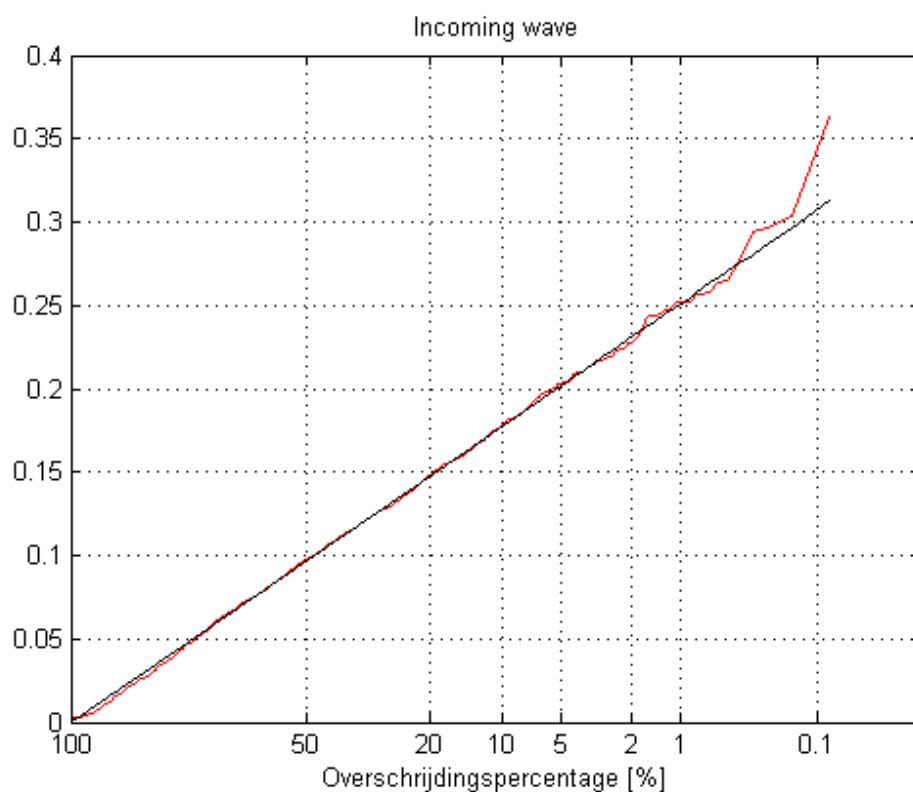


Figuur 15. Overschrijdingskromme van de inkomende golf, met dt = 0.05s. Metingen: rood; Rayleigh-verdeling: zwart.

Hypothese 3d: Definitie van golfhoogte

Voor de behaalde resultaten is gebruik gemaakt golven die bepaald zijn aan de hand van upcrossings. De golven zijn nu bepaald middels downcrossings. Zoals gezegd, een bemonsteringstijd van 0.05 s is gebruikt. Dit leidt tot de resultaten zoals getoond in Figuur 16. Hier zien we een duidelijk verschil voor zeer grote golven. In Figuur 17 is een stuk van de overschrijdingskromme uitvergroet. Deze figuren tonen aan dat, voor deze proef, het onverwachte gedrag van de overschrijdingskromme verdwijnt als downcrossings gebruikt worden in plaats van upcrossings voor de definitie van een golf. Er is slechts één uitschieter, en die is ongetwijfeld een statistische.

Zoals al eerder vermeld, beveelt de IAHR (1986) het gebruik van downcrossing aan.



Figuur 16. Overschrijdingskromme van de inkomende golf, bepaald met downcrossings. Metingen: rood; Rayleigh-verdeling: zwart.

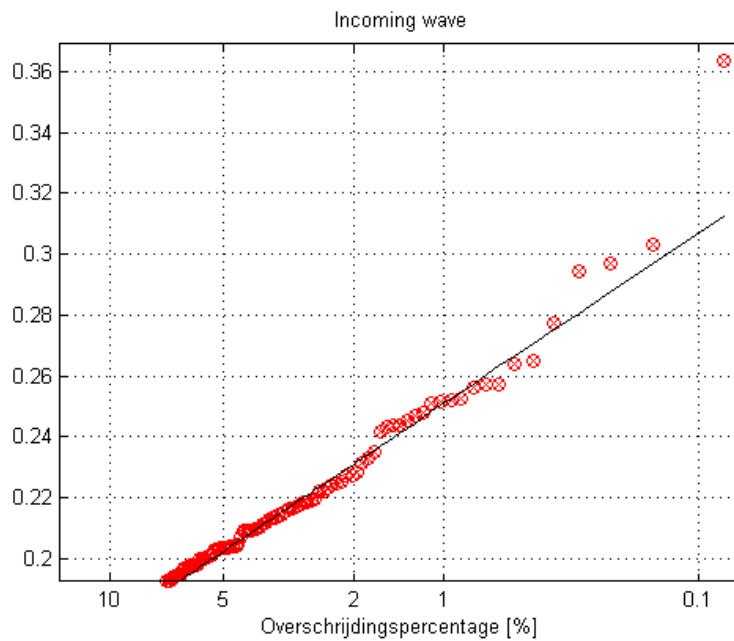
Enige extra uitwerkingen

Hoewel het probleem opgelost is, vinden het toch zinvol om te kijken naar de ruis ('noise') op de meetsignalen. Zoals hierboven al aangegeven, in de methode van Mansard en Funke wordt het golfsignaal als volgt gescheiden:

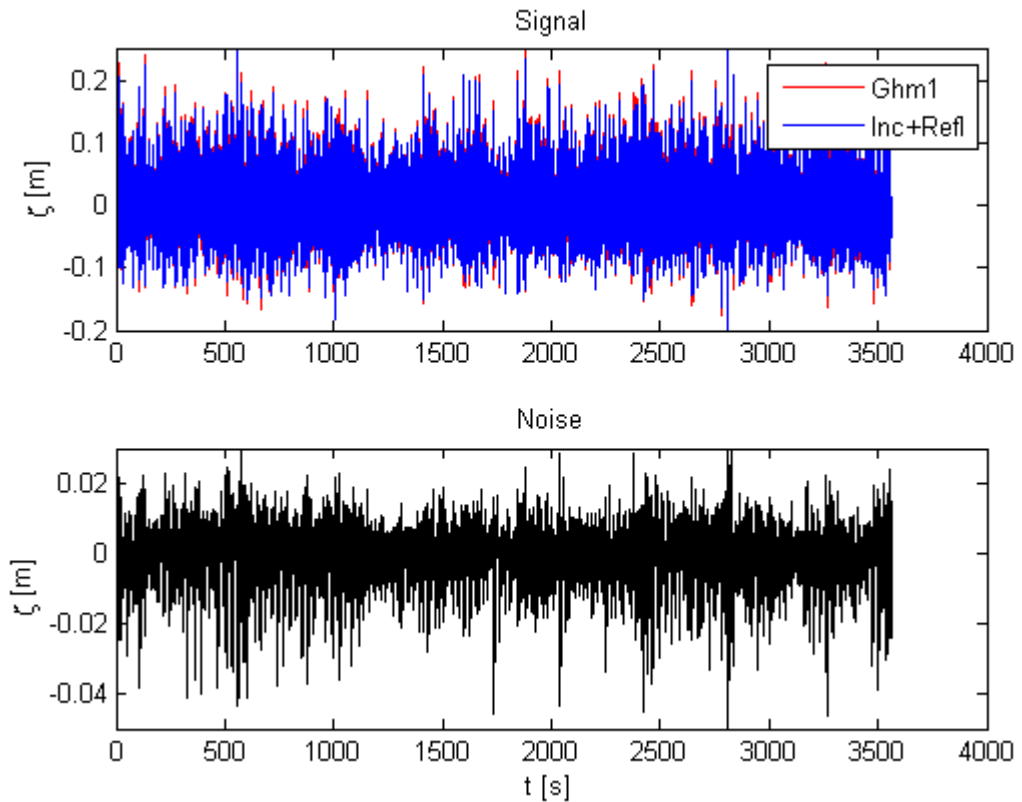
$$\zeta_{\text{gemeten}} = \zeta_{\text{inkomend}} + \zeta_{\text{gereflecteerd}} + \varepsilon$$

waarin ζ_{gemeten} het gemeten golfsignaal, ζ_{inkomend} het inkomende golfsignaal, $\zeta_{\text{gereflecteerd}}$ het gereflecteerde golfsignaal, en ε de ruis is. In Figuur 18 staan in de

bovenste figuur de termen ζ_{gemeten} (rode lijn) en $(\zeta_{\text{inkomend}} + \zeta_{\text{gereflecteerd}})$ (blauwe lijn). Het verschil tussen die twee termen is de ruisterm, die in de onderste figuur staat.



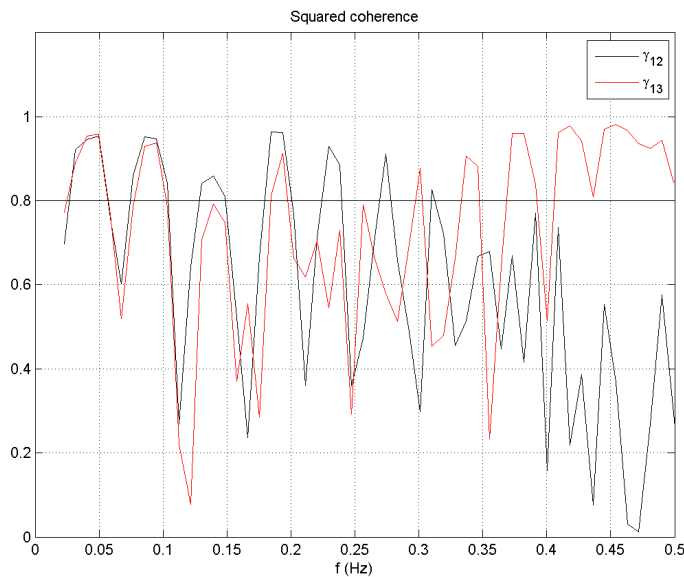
Figuur 17. Overschrijdingskromme van de inkomende golf, voor zeer hoge golven. Uitvergroting van Figuur 16.



Figuur 18. Ruis in de meetsignalen.

De ruisterm heeft een ‘golfhoogte H_s ’ (bepaald middels downcrossings) van 0.024 m, maar vertoont veel uitschieters naar boven. Met andere woorden, de ruisterm voldoet niet aan de Rayleigh verdeling (en dat hoeft ook niet).

De squared coherence staat in Figuur 19. Hieruit leiden we af dat de scheiding onnauwkeurig is, omdat de squared coherence in het relevante frequentiegebied (het gebied waar veel golfenergie zit, dus tussen 0.15 Hz en 0.5 Hz) veelvuldig (ver) onder de 0.8 komt. Wellicht moet er nog eens nauwkeuriger gekeken worden naar deze grootheid: hoeveel betekenis moet er aan gehecht worden?



Figuur 19. De squared coherence voor ghm1 en ghm2 (γ_{12}), en voor ghm1 en ghm3 (γ_{13}).

Voor de 10 hoogste inkomende golven hebben we in een tabel ook de uit de metingen afgeleide golfhoogte en de – volgens Rayleigh verdeling – verwachte golfhoogte gegeven.

Tabel 2. De golfhoogte van de 10 hoogste inkomende golven.

Rayleigh	A	B	C	D
0.319	0.328	0.327	0.330	0.363
0.303	0.328	0.323	0.324	0.303
0.293	0.312	0.307	0.309	0.297
0.286	0.309	0.304	0.308	0.294
0.281	0.309	0.304	0.306	0.277
0.276	0.303	0.299	0.300	0.265
0.272	0.301	0.296	0.299	0.264
0.268	0.296	0.292	0.294	0.257
0.265	0.288	0.288	0.292	0.257
0.262	0.287	0.283	0.285	0.256

De betekenis van de kolommen in deze tabel is als volgt:

- **Rayleigh**: de volgens Rayleigh verdeling verwachte golfhoogte voor de 10 hoogste golven.
- **A.** Het signaal volgens de oorspronkelijke verwerking. Dus: bepaald met reflecMF , met een bemonsteringstijd van 0.16s en upcrossings. Zie Figuur 13.
- **B.** Bepaald met manfunk80.m , met dezelfde instellingen als voor A. Zie Figuur 14.
- **C.** Bepaald met manfunk80.m , met een bemonsteringstijd van 0.05s. Zie Figuur 15.
- **D.** Bepaald met manfunk80.m , met een bemonsteringstijd van 0.05s en downcrossings. Zie Figuur 16 en 17.

Hypothese 4: de golfhoogte is beperkt door de beperkte slag van het golfshot

Doordat het golfshot een beperkte slag heeft, kan het voorkomen dat de grootste golven niet opgewekt kunnen worden. Voor de onderhavige proef is dit nader geanalyseerd. Het blijkt dat de maximaal benodigde slag (excl. reflectiecompensatie) voor deze proef slechts ongeveer 0,95 m is, terwijl de maximaal mogelijke slag 2 m is.

Aangezien de benodigde slag veel kleiner is dan de maximaal mogelijke slag, kan deze hypothese verworpen worden.

Referenties

IAHR (1986). "List of Sea State Parameters", Supplement to bulletin of the IAHR, no. 52.

WL (1981). Onderzoek dynamische verhangen golfopwekking en golfdrukberekeningen, M1612 XVII, december 1981.

Klein Breteler (2007). Golfhoogte-overschrijdingskromme in Deltagoot en Scheldegoot. 23 nov. 2007.