

Golfoverslag modelleren met SWASH

Toegepast op dijken met keermuur

Eindrapport

L.W.M. Roest

Begeleiders:

dr. ir. M. Zijlema

dr. ir. G.Ph. van Vledder

7 april 2014



¹Golfoverslag op de boulevard te Vlissingen. Foto: Beeldbank Rijkswaterstaat.

Samenvatting

Numerieke modellen worden alsmaar belangrijker om voorspellingen te doen in de waterbouwkunde. Het is namelijk veel eenvoudiger en goedkoper om proven numeriek te simuleren dan om deze uit te voeren in een laboratorium-opstelling. De numerieke modellen moeten echter wel worden gevalideerd aan de hand van metingen. In dit rapport wordt de bruikbaarheid van het model SWASH getest voor simulaties van golfoverslag op dijken met een keermuur. Hierin worden zowel monochromatische regelmatige golven als onregelmatige golven beschouwd.

Bart Roest

Inhoudsopgave

1	Inleiding	2
2	Context	3
2.1	Golfoverslag	3
2.2	Modellen	3
2.3	golven	4
3	Probleem- en doelstelling van het onderzoek	6
3.1	Probleemstelling	6
3.2	Doelstelling	6
4	Methode	8
4.1	Theorie	8
4.2	SWASH	8
4.3	Schematisering	10
5	Resultaten en Discussie	12
5.1	Regelmatige golven	12
5.2	Onregelmatige golven	15
6	Conclusie	18
7	Aanbevelingen	19
A	SWASH input file	21
B	SWASH input file voor onregelmatige golven	23
C	Matlab script	25
D	Planning	28

Hoofdstuk 1

Inleiding

Aan het eind van de Bachelor opleiding Civiele Techniek dient een eindwerk gemaakt te worden. Dit eindwerk wordt gemaakt in de toekomstige Masterrichting, in dit geval Waterbouwkunde. Er zal worden onderzocht hoe het SWASH-model kan worden gebruikt voor een betrouwbare simulatie van golfoverslag over dijken. Hierbij zullen verschillende situaties worden onderzocht. Er zal worden gevarieerd in zowel de hoogte als afstand van de muur ten opzichte van de kruin van de dijk. Daarnaast zal iedere dijkconfiguratie worden gesimuleerd met verschillende golfhoogten.

Hoofdstuk 2

Context

2.1 Golfoverslag

Tijdens maatgevende omstandigheden zoals een hoge waterstand en harde wind, lopen windgolven op dijken. Het proces van het breken van golven wanneer zij de ondiepte van de teen van de dijk tegenkomen en het daarmee gepaard gaande uitstorten tegen de dijk heet golfoploop. De mate van golfoploop wordt bepaald ten opzichte van de gemiddelde waterstand van de golven. Wanneer de golfoploop te hoog wordt, zullen de golven over de kruin van de dijk lopen. Er is dan sprake van golfoverslag. Golfoverslag is het golfsgewijs over de dijk heen stromen van water tijdens extreme omstandigheden. Bij een te groot overslagdebiet zal een dijk kunnen bezwijken door erosie aan het binnentalud. Een dijk zal dus zodanig moeten worden ontworpen dat bij ontwerpomstandigheden de golfoverslag binnen de normen blijft.

In 2007 is de “Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures - Assessment Manual” , kortweg “EurOtop” uitgekomen. Hierin staan normen en ontwerprichtlijnen voor diverse soorten kustverdedigingsconstructies. Deze ‘overtopping manual’ is tot stand gekomen naar aanleiding van vorderingen in het onderzoek naar golfoploop en -overslag en is een samenwerking tussen Britse, Duitse en Nederlandse onderzoekers (Pullen et al. 2007). Vanuit Nederlands perspectief bouwt het rapport grotendeels voort op het “Technisch rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken” van de Technische Adviescommissie Waterkeringen (TAW), uit 2002 . Naast deze “manual” zijn er online rekeninstrumentjes beschikbaar om een eerste schatting te krijgen voor golfoverslag voor diverse constructies.

2.2 Modellen

Naast ontwerprichtlijnen en formules worden ook schaalproeven uitgevoerd in een golfgoet om golfoverslag te kunnen voorspellen. Het nadeel van deze proeven is dat ze veel tijd in beslag nemen en vaak duur zijn om uit te voeren. Daarom worden er tegenwoordig veel vaker numerieke rekenmodellen ingezet om de golfoverslag te voorspellen. Verschillende soorten numerieke modellen hebben zo hun eigen voor- en nadelen. Afhankelijk



Figuur 2.1: Golfoverslag in Engeland, foto: Arian Browne.

van de vereiste nauwkeurigheid, aanvaardbare vereenvoudigingen en gebruikte rekenmethoden zal de rekentijd sterk verschillen, namelijk van enkele minuten tot enkele dagen. Enerzijds zijn er Reynolds-gemiddelde Navier-Stokes (RANS) modellen die erg precies zijn, maar een (te) lange rekentijd vergen. Anderzijds zijn er modellen gebaseerd op de niet-lineaire ondiep-water vergelijkingen (NLSW), die weliswaar een korte rekentijd hebben, maar niet erg nauwkeurig zijn. Zie onder andere (Suzuki 2011, en Tuan 2014). Het is dus interessant om te onderzoeken of met andere modellen een resultaat kan worden bereikt wat ook goed genoeg is, om zo een optimum te vinden tussen rekentijd en nauwkeurigheid.

2.3 golven

Bij golven valt onderscheid te maken tussen lange en korte golven. Lange golven zijn golven waarvan de golflengte veel groter is dan de plaatselijke waterdiepte, in deze golven heerst bij benadering hydrostatische druk. Korte golven hebben een golflengte die kleiner is dan ongeveer twee maal de waterdiepte en hebben ook een veel steiler golf-front. Daarnaast is er nog onderscheid te maken tussen regelmatige en onregelmatige golven. Een regelmatig golfveld bestaat uit golven met één periode en één golfhoogte, deze golven hebben allemaal dezelfde eigenschappen en er zal dus geen interferentie optreden. Een onregelmatig golfveld bestaat uit golven met verschillende golflengtes en -hoogtes. Door de verschillen in golflengte zal ook de golfvoortplantingssnelheid verschillen, waardoor de golven elkaar beïnvloeden en er dus wel interferentie optreedt. Om een onregelmatig golfspectrum te simuleren wordt gebruik gemaakt van het zogenaamde Jonswap-spectrum. Dit spectrum is een manier om een onregelmatig natuurlijk golfveld

te beschrijven, zie Hasselman et al. 1973.

Hoofdstuk 3

Probleem- en doelstelling van het onderzoek

3.1 Probleemstelling

Bestaande numerieke modellen gebaseerd op de niet-lineaire ondiep watervergelijkingen (NLSW), kunnen onvoldoende nauwkeurig golfoverslag over steile constructies berekenen. Reynolds-gemiddelde Navier-Stokes gebaseerde modellen zijn daarentegen wel voldoende nauwkeurig, maar hebben een zeer lange rekentijd, volgens Tuan 2014. Voorbeelden van steile constructies zijn: keermuren, of hellingen groter dan pakweg 10 op 1. Door de sterk niet-hydrostatische drukverdeling wordt niet meer voldaan aan de voorwaarden van NLSW modellen, die uitsluitend kunnen rekenen met een hydrostatische drukverdeling van het water. Tuan en Thin hebben zeer recent onderzocht hoe er met behulp van een NLSW-model toch een accurate benadering kan worden verkregen van golfoverslag over dijken met een keermuur. Keermuurtjes zijn in Nederland in het verleden vaak toegepast als ‘goedkope’ dijkverhoging, vooral in Zeeland. Ze zijn ook wel bekend als “Muraltmuur”, naar hun bedenker: waterbouwkundige De Muralt.

3.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is om vast te stellen hoe het SWASH model gebruikt kan worden om golfoverslag te simuleren en in hoeverre de resultaten overeenkomen met de “Eurotop” formules. Suzuki heeft in 2011 onderzoek gedaan naar het berekenen van golfoverslag met het SWASH-model op basis van proeven in een golfgoot, zie Suzuki 2011. Door gebruik te maken van het SWASH-model, kan een van de grootste nadelen van NLSW modellen worden afgevangen. SWASH beschikt namelijk wel over een niet-hydrostatische drukcomponent. Hierdoor zullen de resultaten nauwkeuriger zijn dan bij een NLSW-model dat alleen hydrostatisch rekent, terwijl de rekentijd ook binnen de perken blijft, (Zijlema 2011).

Dit brengt mij tot de volgende hoofdvraag: *“Hoe kan het SWASH-model worden*



Figuur 3.1: Muraltmuur op Noord-Beveland

ingezet om golfoverslag over dijken te simuleren?”

- Hoe moet het dijkprofiel worden geschematiseerd?
- Wat zijn de randvoorwaarden?
- Wat zijn de significante golfcondities?

Waarbij het beoogde doel is om een werkende simulatie te verkrijgen uit SWASH voor golfoverslag over dijken.

Hoofdstuk 4

Methode

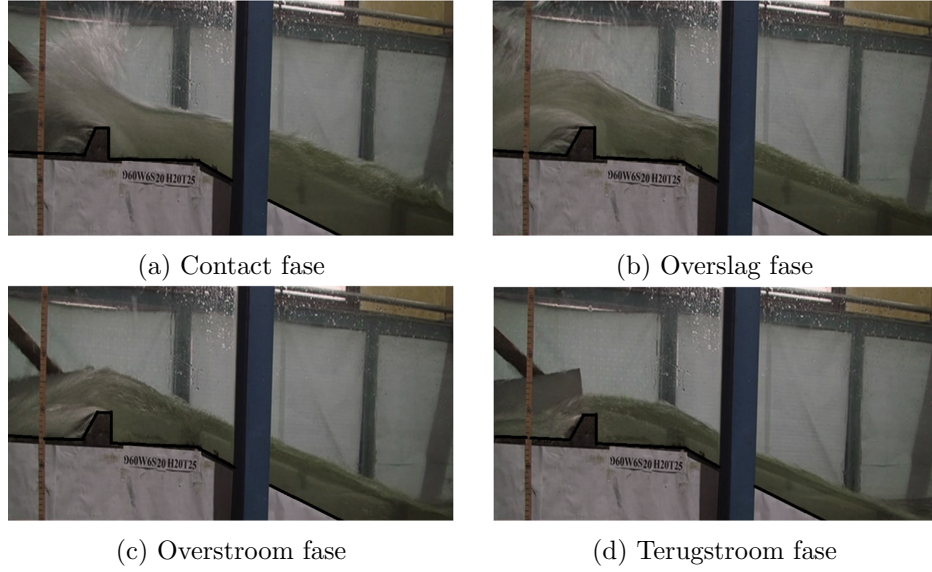
4.1 Theorie

Een van de bezwijkmechanismen van een dijk is bezwijking van het binnentalud, veroorzaakt door golfoverslag. Dijken moeten dus zodanig worden ontworpen dat het overslagdebiet (in l/s/m) binnen de perken blijft. De huidige ontwerpformules staan vermeld in het EurOtop-rapport, (Pullen 2007). Naast het gemiddelde overslagdebiet is ook het piekoverslagvolume van belang, aangezien golfoverslag altijd golfsgewijs plaatsvindt en een sterk wisselend karakter heeft in zowel tijd als volume.

Er kunnen verschillende fases worden onderscheiden tijdens golfoverslag, zie figuur 4.1. Eerst is er de ‘runup’ of oplooffase, waarin de golf tegen het dijkta-lud oploopt, gevolgd door de ‘contact splash’ (zie 4.1a). Hierna slaat de golf als het ware over de muur heen in de ‘fall over’ of overslagfase (zie 4.1b). Het grootste debiet wordt vervolgens bereikt tijdens de ‘green water overtopping’ of overstroomfase (zie 4.1c). Wanneer het water aan de teen van de dijk zich weer terugtrekt begint het water weer terug te stromen tot het water van de kruin is afgestroomd of er zich een nieuwe golf aandient (zie 4.1d).

4.2 SWASH

Het SWASH (Simulating WAVes till SHore) model is gebaseerd op de niet-lineaire ondiepwatervergelijkingen, maar kan daarnaast ook niet-hydrostatisch rekenen door een



Figuur 4.1: De verschillende fases van golfoverslag, (Tuan 2014).

niet-hydrostatische drukcomponent in acht te nemen zie formule (4.2).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} = 0 \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial q_b}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{q_b}{h} \frac{\partial (\zeta - d)}{\partial x} + c_f \frac{u |u|}{h} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(h \nu_t \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial w_s}{\partial t} = \frac{2q_b}{h} - \frac{\partial w_b}{\partial t} \quad (4.3)$$

$$w_b = -u \frac{\partial d}{\partial x} \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{w_s - w_b}{h} = 0 \quad (4.5)$$

Hierin is ζ de actuele uitwijking van het water niveau, h de totale waterdiepte, u de dieptegemiddelde horizontale snelheid, t de tijd, en x de horizontale afstand. Verder zijn w_s en w_b de verticale snelheid aan het oppervlak en de bodem, q_b is de niet-hydrostatische druk aan de bodem, g is de zwaartekrachtversnelling, c_f de dimensieloze bodemwrijvingscoëfficiënt en ν_t de turbulentieviscositeit. Naar Zijlema 2011. .

SWASH werkt op basis van een afgebakend rekenrooster waaraan begin- en randvoorwaarden moeten worden opgelegd, ook moet de bodemligging worden ingevoerd. Doordat de golfcondities initieel niet in het hele model doorgevoerd kunnen worden, heeft SWASH een zogenaamde inspeeltijd. In deze periode zal de invloed van de begincondities verdwijnen. Voor regelmatige golven is deze inspeelperiode veel korter dan voor onregelmatige golven. De plaats waar metingen plaatsvinden moet tenminste twee golf lengtes van een rand verwijderd zijn om invloed van randvoorwaarden op de resultaten te

voorkomen. Zoals beschreven in de gebruikershandleiding van SWASH, (SWASH-team 2014).

4.3 Schematisering

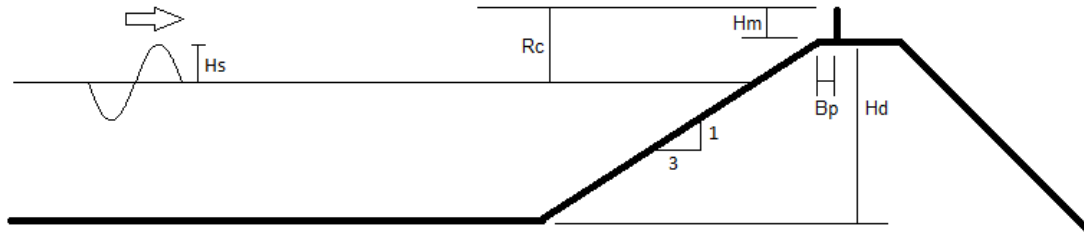
Voor een voldoende vlotte en betrouwbare simulatie zullen er diverse zaken geschematiseerd moeten worden, waaronder de bodemligging, het dijkprofiel en het golfbeeld. Het dijkprofiel zal zowel met als zonder keermuur in beschouwing worden genomen om de resultaten in de situatie met muur te kunnen verifiëren. De meeste zeedijken in Nederland hebben een helling van het buitentalud tussen 1:3 en 1:4 en zijn voorzien van een berm. Afhankelijk van de situatie is er wel of geen vlak en ondiep voorland aanwezig. De dijken langs de Waddenzee hebben vaak een groot kweldergebied voor zich waar zelfs met stormvloed weinig water op zal staan. Dit zorgt voor een flinke reductie van de significante golfhoogte. Dijken langs de Ooster- en Westerschelde liggen vaak dicht langs een diepe stroomgeul, waardoor de significante golfhoogte veel groter is.

Om een vergelijking te kunnen maken hoe SWASH het doet ten aanzien van andere modellen, zal een aantal proeven worden gesimuleerd uit het artikel “Numerical study of wave overtopping on sea-dikes with crown-walls” van Tuan en Van Thin uit 2014. Zij beschrijven proeven in een golfgoet schaal 1:10, waarin de invloed van een keermuur bovenop een dijk wordt bestudeerd. Deze proeven vallen uiteen in twee series, enerzijds met monochromatische regelmatige golven en een onregelmatig golfspectrum anderzijds. Daarnaast worden in beide series de invloed van verschillende muurhoogtes en plaats op de kruin onderzocht. In SWASH zal een 1D simulatie worden gemaakt van de golfgoet.

De simulatie heeft achtereenvolgens een rand waar de golven worden gegenereerd, een prismatisch kanaal van 24,5 m, een dijktafval van 0,70 m hoog bij een helling van 1:3, met daarop al of geen keermuur, zie figuur 4.2. In deze schematisatie is R_c de waterstand t.o.v. de kerende hoogte, H_m de hoogte van de keermuur, H_d de dijkhoogte en B_p de positie van de keermuur ten opzichte van de kruin van de dijk. Om de geometrie van de dijk en de keermuur goed weer te kunnen geven wordt een bodemprofiel ingegeven in SWASH. Vanwege de kleine afmetingen van de keermuur is gekozen voor een stapgrootte Δx van 0,04 m. Hierdoor blijven de details van het talud en de keermuur goed behouden en zijn er genoeg roosterpunten voor de berekening.

Om een stabiele numerieke simulatie te krijgen is het van belang dat het zogenaamde Courantgetal (Cr) niet te hoog is. De definitie van het Courantgetal staat in vergelijking 4.6 (Zijlema 2011). Dit getal geeft de verhouding tussen tijdstap Δt maal de snelheid $\sqrt{gd} + |u|$ en de afstandsstap Δx . Omdat er interactie plaatsvindt met een vrij complexe constructie mag het Courantgetal niet boven de 0,5 komen. Dit houdt in dat bij de gekozen Δx van 0,04 m en een golfvoortplantingssnelheid $\sqrt{gd}$ rond de 2,5 m/s, resulteert dat in een minimum tijdstap van 0,007 s, (zie SWASH-team 2014).

$$Cr = \frac{\Delta t (\sqrt{gd} + |u|)}{\Delta x} \leq 1 \quad (4.6)$$



Figuur 4.2: Schematisering dijkprofiel

Voor de simulaties met regelmatige monochromatische golven geldt dat een te simuleren tijd van 120 seconden lang genoeg is, om een betrouwbaar gemiddelde te krijgen voor de golfoverslag. De golven zijn monochromatisch waardoor er al snel een stabiele situatie ontstaat. Ook het karakter van het overslagdebiet zal vrij regelmatig zijn waardoor een gemiddelde over een korte tijdsperiode van circa 90 seconden voldoende is. Bij onregelmatige golven geldt dat door het onregelmatige golfkarakter een tijd van tenminste 1000 golfpiekperiodes T_p benodigd is voor een betrouwbaar resultaat, zie Zijlema 2011 en Tuan 2014. Voor een T_p van 2,2 s betekent dit dat de minimale simulatietijd 2200s bedraagt.

In bijlage A is een SWASH-invoerbestand te vinden voor regelmatige golven, in bijlage B staat een invoerbestand voor onregelmatige golven. Het MATLAB-script om de SWASH-uitvoer uit te lezen en te plotten is te vinden in bijlage C.

Hoofdstuk 5

Resultaten en Discussie

5.1 Regelmatige golven

Bij de simulaties met regelmatige golven valt meteen op, dat het overslagdebiet Q_{gem} verkregen uit SWASH veel hoger is dan wat berekend is met het Cobras-UC model door Tuan zie 5.1. Tuan geeft zelf ook aan dat de waarden verkregen uit een NLSW-model minder betrouwbaar zijn dan waarden uit het Cobras-UC model. Hij stelt dat: “De debieten in de meeste simulaties worden behoorlijk overschreden door het NLSW-model, met een gemiddelde fout van 60,1%...”. Zie Tuan 2014 , blz. 8. Expliciete waarden worden echter niet gegeven.

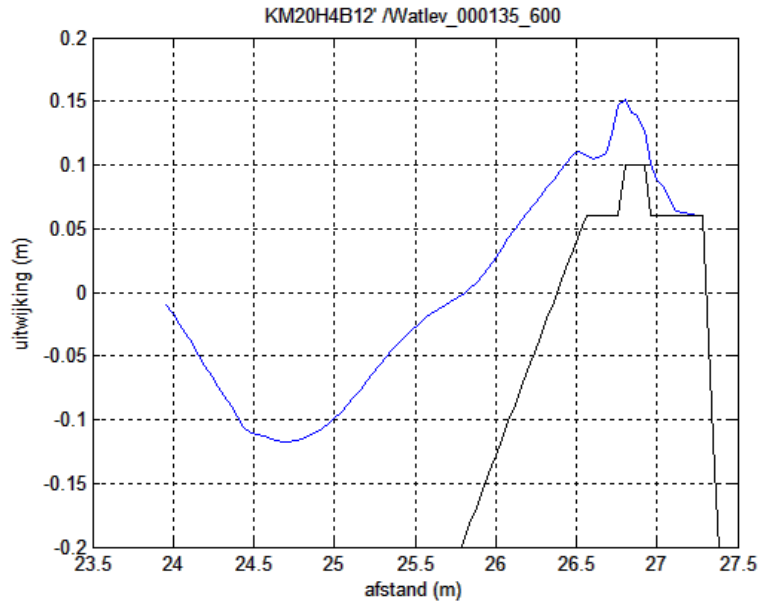
Het is vrij duidelijk dat de waarden voor het gemiddelde golfoverslagdebiet in alle gevallen veel hoger zijn dan zou mogen worden verwacht. Het verkleinen van de tijdstap voor een hogere resolutie van de debiet-data helpt niet om de afwijking te verkleinen, net als het rekenen met meerdere lagen. Door te rekenen met 3 lagen nam de simulatietijd sterk toe en moest tevens met een kortere tijdstap worden gerekend, verder was er geen significante verandering in het gemiddelde overslagdebiet.

Een mogelijke verklaring voor de enorme overschatting van het overslagdebiet is het ontstaan van golven met een lagere harmonische in het golfveld voor de dijk. Aan de linkerzijde worden namelijk regelmatige golven opgelegd. Deze golven zullen echter transformeren wanneer zij tegen het dijktalud aanlopen. Wanneer de golven weer terug gelopen zijn naar de linkerzijde van de simulatie zullen ze deels worden gereflecteerd, waardoor ze het golfveld verder verstoren. Omdat golven met een (zeer) lage frequentie een hogere energiedichtheid hebben zullen ze ook een groter aandeel hebben in de golfoploop en -overslag en daarmee het overslagdebiet. Ook kan er superpositie plaatsvinden van korte golven op lange golven waardoor de golfhoogte aan de dijkkruin uiteindelijk hoger wordt. Nadere bestudering van het golfbeeld in de tijd lijkt te bevestigen dat er sprake is van superpositie. Zie figuren 5.1 en 5.2.

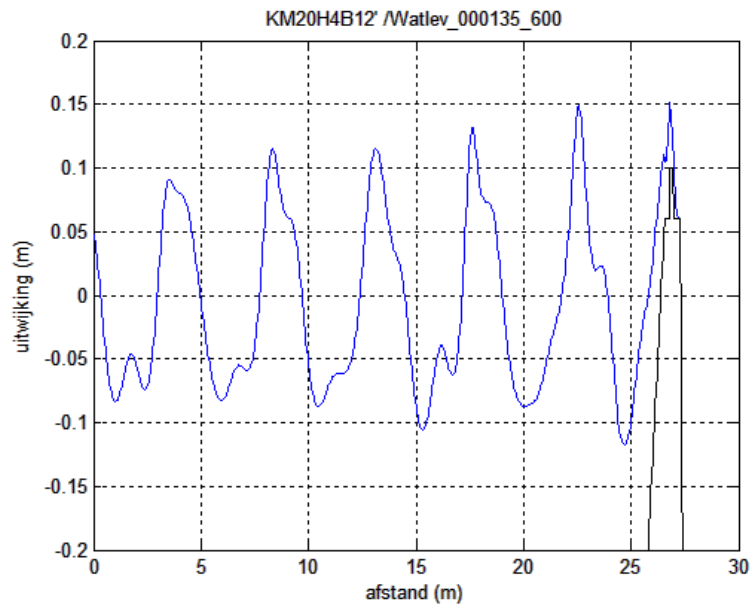
Golfoverslag modelleren met SWASH

Tabel 5.1: Resultaten van de simulaties met regelmatige golven, Q_{gem} in l/s/m, h_{gr} in cm.

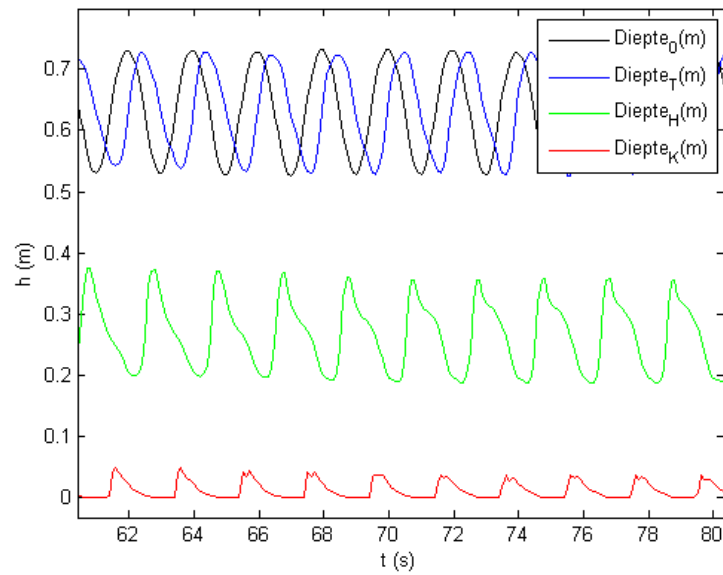
						Eurotop	SWASH			TUAN COBRAS-UC	Afwijking SWASH		
SWS	R_c (m)	H_s (m)	T_s (m)	H_m (m)	B_p (m)	Q_{gem}	Q_{gem}	h_{gr}	Q_{gem}	h_{gr}	Q_{gem}	h_{gr}	
KM0H0B0.1	0,1	0,17	2	0	0	11,8	13,84	1,47	10,53	4,9	31%	-70%	
KM0H0B0.2	0,1	0,16	1,5	0	0	5,0	21,20	1,56	5,08	2,8	317%	-44%	
KM0H0B0.3	0,1	0,24	2	0	0	20,7	45,95	2,89	17,13	6,0	168%	-52%	
KM0H0B0.4	0,1	0,24	2,5	0	0	32,7	21,90	3,76	21,23	8,8	3%	-57%	
KM0H4B12.1	0,1	0,17	2	0,04	0		11,12	1,13	9,55	5,3	16%	-79%	
KM0H4B12.2	0,1	0,16	1,5	0,04	0		3,60	0,54	2,54	4,0	42%	-87%	
KM0H4B12.3	0,1	0,24	2	0,04	0		24,61	1,87	16,23	5,5	52%	-66%	
KM0H4B12.4	0,1	0,24	2,5	0,04	0		27,98	2,44	20,91	9,3	34%	-74%	
KM20H4B12.1	0,1	0,17	2	0,04	0,20		11,61	1,32	6,17	5,9	88%	-78%	
KM20H4B12.2	0,1	0,16	1,5	0,04	0,20		2,76	0,48	0,98	2,8	182%	-83%	
KM20H4B12.3	0,1	0,24	2	0,04	0,20		25,19	2,07	13,17	5,9	91%	-65%	
KM20H4B12.4	0,1	0,24	2,5	0,04	0,20		27,42	2,61	18,33	8,0	50%	-67%	
KM0H9B12.1	0,1	0,17	2	0,09	0	8,4	10,48	1,07	4,16	2,8	152%	-62%	
KM0H9B12.2	0,1	0,16	1,5	0,09	0	4,6	2,37	0,35	0,51	2,9	365%	-88%	
KM0H9B12.3	0,1	0,24	2	0,09	0	16,5	22,37	2,08	12,13	3,7	84%	-44%	
KM0H9B12.4	0,1	0,24	2,5	0,09	0	25,1	23,15	2,22	13,29	8,1	74%	-73%	
KM20H9B12.1	0,1	0,17	2	0,09	0,20		8,18	0,93	4,27	2,0	92%	-54%	
KM20H9B12.2	0,1	0,16	1,5	0,09	0,20		2,51	0,40	0,05	1,0	4920%	-60%	
KM20H9B12.3	0,1	0,24	2	0,09	0,20		20,09	1,80	8,79	5,0	129%	-64%	
KM20H9B12.4	0,1	0,24	2,5	0,09	0,20		25,04	2,32	14,22	6,9	76%	-66%	



Figuur 5.1: Snapshot golfoverslag



Figuur 5.2: Overzicht Golfbeeld



Figuur 5.3: Golfhoogte in de tijd, t.h.v. instroom, teen, bovenkant talud, keermuur

5.2 Onregelmatige golven

Ook bij de simulatie van onregelmatige golven valt op dat de berekende waarden van SWASH vele malen hoger uitvallen dan de waarden berekend door Tuan, zie 5.2. Door het onregelmatige golfspectrum beïnvloeden alle golven elkaar en dat is dan ook precies de bedoeling. In een ééndimensionale omgeving vindt echter geen richtingsverspreiding plaats, waardoor bij ondieptes lage golf frequenties met een grote energiedichtheid de overhand krijgen. Hierdoor wordt het golfoverslagdebiet enorm overschat, aldus Suzuki et al. op de NCK dagen, 26 maart 2014 .

Suzuki et al. geven ook een voorbeeld: Er is een gemeten overslagdebiet van 0,9 l/s/m gemeten, terwijl het gebruikte rekenmodel een waarde geeft van 25,3 l/s/m geeft wanneer er geen richtingsverspreiding plaatsvindt. Bij een richtingsverspreiding van 15° is dit echter al gereduceerd tot 2,1 l/s/m, .

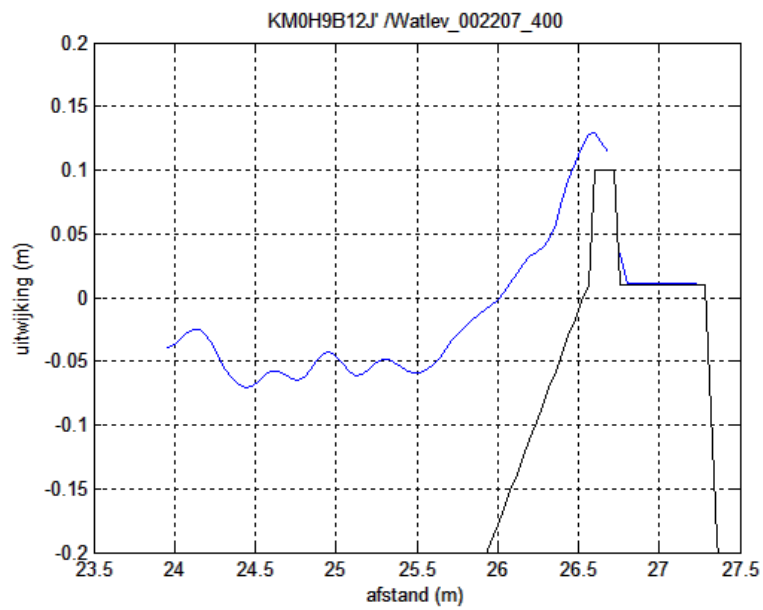
De overschatting van het overslagdebiet door SWASH is groter voor kleine debieten, vermoedelijk komt dit doordat het erg lastig is voor SWASH om heel lage golfhoogtes op de kruin goed te kunnen berekenen, waardoor een kleine absolute afwijking al snel verandert in een grote relatieve afwijking. Verder geldt dat ook hier een kortere tijdstap geen significante invloed had op het overslagdebiet.

Tabel 5.2: Resultaten van de simulaties met onregelmatige golven, Q_{gem} in l/s/m, h_{gr} in cm.

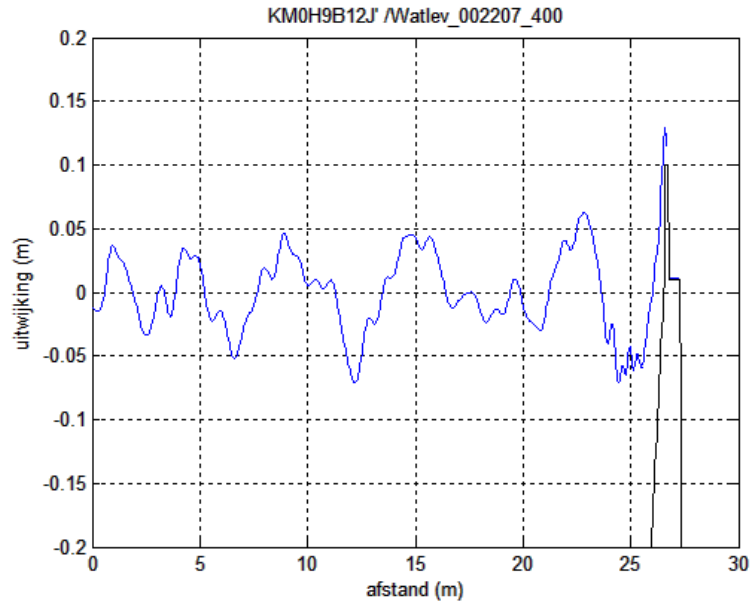
						Eurotop	SWASH	COBRAS	NLSW	Afwijking SWASH	
SWS	R_c (m)	H_s (m)	T_s (m)	H_m (m)	B_p (m)	Q_{gem}	Q_{gem}	Q_{gem}	Q_{gem}	COBRAS	NLSW
KM0H0B0J_1	0,1	0,095	2,2	0	0	0,156	1,06				
KM0H0B0J_2	0,1	0,124	2,2	0	0	0,689	2,48				
KM0H6B12J_1	0,1	0,095	2,2	0,06	0		0,62	0,088	0,095	605%	553%
KM0H6B12J_2	0,1	0,124	2,2	0,06	0		2,01	0,382	0,365	426%	451%
KM10H6B12J_1	0,1	0,095	2,2	0,06	0,1	0,047	0,88	0,047	0,057	1772%	1444%
KM10H6B12J_2	0,1	0,124	2,2	0,06	0,1	0,275	2,20	0,224	0,29	882%	659%
KM0H9B12J_1	0,1	0,095	2,2	0,09	0		0,69	0,017	0,045	3959%	1433%
KM0H9B12J_2	0,1	0,124	2,2	0,09	0		1,54	0,106	0,202	1353%	662%
KM10H9B12J_1	0,1	0,095	2,2	0,09	0,1		0,73	0,007	0,016	10329%	4463%
KM10H9B12J_2	0,1	0,124	2,2	0,09	0,1		1,80	0,073	0,27	2366%	567%

Nadere bestudering van de golfbewegingen in de tijd laat zien dat er sprake is van min of meer staande korte golven bovenop lopende golven met een langere golf lengte. Hierdoor is de golfhoogte aan de kruin van de dijk hoger dan is opgelegd als randvoorwaarde, waardoor een te hoog gemiddeld debiet wordt berekend. Zie figuren 5.4 en 5.5.

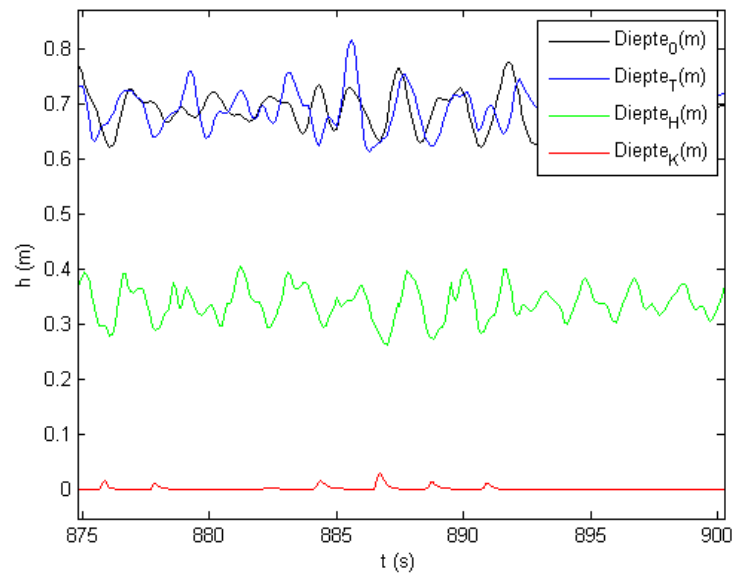
Golfoverslag modelleren met SWASH



Figuur 5.4: Snapshot golfoverslag



Figuur 5.5: Overzicht Golfbeeld



Figuur 5.6: Golfhoogte in de tijd, t.h.v. instroom, teen, bovenkant talud, keermuur

Hoofdstuk 6

Conclusie

De conclusie is dat SWASH geen accuraat beeld geeft van golfoverslag over dijken met een keermuur. Dit is te wijten aan de complexe interactie tussen de inkomende golven en de keermuur. Hierdoor wordt het golfbeeld rond de kruin te zeer verstoord. Er zijn momenteel te veel onzekerheden in zowel de resultaten als de simulaties om een eenduidige conclusie te kunnen trekken. Wel zou het mijn inziens mogelijk moeten zijn om de waarden van SWASH dichter bij de andere modellen te krijgen door de simulaties beter af te stellen. De belangrijkste conclusies:

- SWASH overschat het gemiddelde overslagdebiet.
- Overschatting ligt te grondslag aan complexe interactie van golven met constructie.
- Het aandeel van zeer laag frequente (lange) golven in het overslagdebiet wordt overschat.
- Er is sprake van superpositie van korte golven op lange(re) golven.
- Het kalibreren van de breker-parameter en de bodemwrijving biedt perspectief.

Hoofdstuk 7

Aanbevelingen

Het verdient de aanbeveling dat er verder onderzoek wordt gedaan naar het modelleren van golfoverslag met behulp van SWASH en dan met name naar de invloed van richtingsspreiding van golven op het overslagdebiet. De invloed van richtingsspreiding van golven lijkt namelijk van bijzonder grote invloed te zijn op het overslagdebiet. Hiervoor dient dan wel een 2D simulatie te worden gemaakt. Ook is het aan te bevelen om te kijken of de golfreflectie kan worden teruggedrongen, waardoor het golfbeeld minder verstoord raakt. Hierbij moet vooral worden gekeken naar de breker-parameter en de bodemwrijving.

Bibliografie

- [1] K. Hasselmann, T.P. Barnett, E. Bouws, H. Carlson, D.E. Cartwright, K. Enke, J.A. Ewing, H. Gienapp, D.E. Hasselmann, P. Kruseman, et al. Measurements of wind-wave growth and swell decay during the joint north sea wave project (jonswap). *Ergänzungsheft Deutsche Hydrographischen Zeitschrift*, 8(12), 1973.
- [2] T. Pullen, N.W.H. Allsop, T. Bruce, A. Kortenhaus, H. Schutrumpf, and J.W. Van der Meer. EurOtop: Wave overtopping of sea defences and related structures: Assessment manual. 178p. Technical report, Environment Agency, UK/Expertise Netwerk Waterkeren, NL/Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, DE, 2007.
- [3] Beeldbank Rijkswaterstaat. Golfroverslag boulevard te Vlissingen. <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/348347>. Geraadpleegd: 10 maart 2014.
- [4] T. Suzuki et al. NCK dagen 2014, Flanders Hydraulics Research, 2014.
- [5] T. Suzuki, T. Verwaest, W. Hassan, W. Veale, J. Reyns, K. Trouw, P. Troch, and M. Zijlema. The applicability of swash model for wave transformation and wave overtopping: A case study for the flemish coast. In *Proc. 5th Int. Conf. Advanced Computational Methods Engineering (ACOMEN 2011)*, 11pp, Liège, Belgium, november 2011.
- [6] The SWASH team. SWASH user manual, 2014.
- [7] T.Q. Tuan and N. Van Thin. Numerical study of wave overtopping on sea-dikes with crown-walls. *Journal of Hydro-environment Research*, 2014.
- [8] J.W. Van der Meer. Technisch rapport golfoploop en golfroverslag bij dijken. *Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen*, 2002.
- [9] M. Zijlema, G. Stelling, and P. Smit. SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters. *Coastal Engineering*, 58(10):992–1012, 2011.

Bijlage A

SWASH input file

Hieronder een voorbeeld van een SWASH-inputfile. Dit voorbeeld hoort bij de simulatie van een dijk met keermuur van 4 cm, met een voorland van 20 cm en monochromatische golven $H_s = 17$ cm, $T = 2,0$ s.

```
*****HEADING*****
$
$ Scale 1/10, Dijk Rc=0.10, H=4, B=12, Prom=20
$
PROJ 'KM20H4B12' '01'
$
*****MODEL INPUT*****
$ Water level
SET LEVEL 0.64 ! Hoogte dijk =0.74, Rc=0.10, d=0.64
MODE NONST ONED

$ Coordinates (1D)
CGRID 0. 0. 0. 30.0 0. 750 0 ! SWASH: 30 m, NGrid 750 (dx=0.04 m)
VERT 1 ! 1 layer

$ Bottom (1D)
INPGRID BOTTOM 0. 0. 0. 750 0 0.04 0.
READINP BOTTOM -1. 'KM20H4B12.bot' 1 0 FREE

$ Initial state
INIT zero

$ Wave conditions
BOU SIDE W CCW BTYPE WEAK SMOO 1.000 SEC CON REG 0.17 2.000
BOU SIDE E CCW BTYPE WLEV CON 0

$ Physics
```

Golfoverslag modelleren met SWASH

```
FRIC CHEZY 75
Break 0.6 0.3 ! 0.4: Spilling  $\xi_{m-1,0} = \tan / \sqrt{H_{m0}/L_{m-1,0}} = 0.16 < 0.2$ 
NONHYDROSTATIC ! Non-hydrostatic

$ Numerics
DISCRET UPW MOM ! Up-wind
TIMEI 0.1 0.5 ! Explicit

$***** OUTPUT REQUESTS *****
POINTS 'WG' FILE 'WG20.loc'
TABLE 'WG' NOHEAD 'KM20H4B12_1W.tbl' TSEC DEPTH OUTPUT 000000.000 0.1 SEC
POINTS 'KRUIN' FILE 'KRUIN20.loc'
TABLE 'KRUIN' NOHEAD 'KM20H4B12_1K.tbl' TSEC DEPTH QKSI...
...VKSI PRESS NHPRES OUTPUT 000000.000 0.1 SEC

$
TEST 1 0
COMPUTE 000000.000 0.005 SEC 000180.000
STOP
```

Bijlage B

SWASH input file voor onregelmatige golven

Hieronder een voorbeeld van een SWASH-inputfile. Dit voorbeeld hoort bij de simulatie van een dijk met keermuur van 9 cm, met een voorland van 10 cm en onregelmatige golven $H_s = 12,4$ cm, $T_s = 2,2$ s.

```
$*****HEADING*****
$
$ Scale 1/10, Dijk Rc=0.10, H=9, B=12, Prom=10
$ Jonswap
PROJ 'KM10H9B12J' '02'
$
$*****MODEL INPUT*****
$ Water level
SET LEVEL 0.69 ! Hoogte dijk =0.79, Rc=0.10, d=0.69
MODE NONST ONED

$ Coordinates (1D)
CGRID 0. 0. 0. 30.0 0. 750 0 ! SWASH: 30 m, NGrid 750 (dx=0.04 m)
VERT 1 ! 1 layer

$ Bottom (1D)
INPGRID BOTTOM 0. 0. 0. 750 0 0.04 0.
READINP BOTTOM -1. 'KM10H9B12.bot' 1 0 FREE

$ Initial state
INIT zero

$ Wave conditions
BOU SHAP JON 3.3 SIG PEAK DSPR POW
```

Golfoverslag modelleren met SWASH

```
BOU SIDE W CCW BTYPE WEAK CON SPECTR 0.124 2.2 0.0
BOU SIDE E CCW BTYPE WLEV CON 0
```

\$ Physics

FRIC CHEZY 75

Break 0.6 0.3 ! 0.4: Spilling $\xi_{m-1,0} = \tan / \sqrt{H_{m0} / L_{m-1,0}} = 0.16 < 0.2$

NONHYDROSTATIC ! Non-hydrostatic

\$ Numerics

DISCRET UPW MOM ! Up-wind

TIMEI 0.1 0.5 ! Explicit

\$***** OUTPUT REQUESTS *****

POINTS 'WG'FILE 'WG10.loc'

TABLE 'WG'NOHEAD 'KM10H9B12J_2W.tbl' TSEC DEPTH OUTPUT 000000.000 0.1 SEC

POINTS 'KRUIN' FILE 'KRUIN10.loc'

TABLE 'KRUIN' NOHEAD 'KM10H9B12J_2K.tbl' TSEC DEPTH ...

...QKSI VKSI PRESS NHPRES OUTPUT 000000.000 0.1 SEC

\$

TEST 1 0

COMPUTE 000000.000 0.004 SEC 003640.000

STOP

Bijlage C

Matlab script

Dit Matlab-script leest de door SWASH geleverde tabellen uit en plot grafieken.

```
% Dit script leest SWASH-output uit.
% Bart Roest 2014
clear all
close all
format long
%% Open
projname=input('projectnaam: ','s');
filename = 'KMOH0B0J_1.tbl';
FID = fopen([projname,'W.tbl']);
FID2 = fopen([projname,'K.tbl']);

%% Preallocate
W = dlmread([projname,'W.tbl'],'',0,0);
W(W== -99)=0;
nmax=length(W);
K = dlmread([projname,'K.tbl'],'',0,0);
K(K== -99)=0;
mmax=length(K);
wg1=zeros(nmax/4,2);
wg2=zeros(nmax/4,2);
wg3=zeros(nmax/4,2);
wg4=zeros(nmax/4,2);
kruin=zeros(mmax,6);

%% Create Arrays
n=0;
j=1;
while n<nmax
    wg1(j,:)=W(n+1,:);
```

```

        wg2(j,:)=W(n+2,:);
        wg3(j,:)=W(n+3,:);
        wg4(j,:)=W(n+4,:);

        n=n+4;
        j=j+1;
    end

    n=0;
    j=1;
    while n<mmax
        kruin(j,:)=K(n+1,:);
        n=n+1;
        j=j+1;
    end

    fclose('all');

%% Plots
% Waterstanden, instroom, teen, kruin, muur
plot(wg1(:,1),wg1(:,2),'-k');
hold on
plot(wg2(:,1),wg2(:,2),'-b');
plot(wg3(:,1),wg3(:,2),'-g');
plot(wg4(:,1),wg4(:,2),'-r');
xlabel('t (s)');
ylabel('h (m)');
legend('Diepte_0(m)', 'Diepte_T(m)', 'Diepte_H(m)', 'Diepte_K(m)');

% Waterstand op kruin
figure
plot(kruin(:,1),kruin(:,2),'-k');
hold on
axis([0 wg1(end,1) -0.2 0.3]);
xlabel('t (s)');
ylabel('h (m)');
legend('Uitwijking (m)');

% Debiet op kruin
figure
plot(kruin(:,1),kruin(:,3),'-r');
axis([0 wg1(end,1) -0.2 0.4]);
xlabel('t (s)');

```

```

ylabel('Q (m^3/s)');
legend('Debiet (m^3/s)');

% Stroomsnelheid op kruin
figure
plot(kruin(:,1),kruin(:,4),'-k');
xlabel('t (s)');
ylabel('u (m/s)');
legend('u (m/s)');

% Waterdruk op kruin, hydrostatisch en non-h.
figure
plot(kruin(:,1),kruin(:,5),'-k');
hold on
plot(kruin(:,1),kruin(:,6),'-b');
xlabel('t (s)');
ylabel('druk in hPa');
legend('p_h (hPa)', 'p_{nh} (hPa)');

%% Gegevens
qgem=mean(kruin(200:end,3))*1000
qpiek=max(kruin(200:end,3))*1000
hgr=mean(kruin(200:end,2))*100
hmax=max(kruin(200:end,2))*100

```

Bijlage D

Planning

- 20 februari: Inleveren Startnotitie
- 21 februari: Bespreken Startnotitie
- 22 februari: Afronden opdrachten Informatievaardigheden
- 28 februari: Doorgronden SWASH model
- 7 maart: Inlezen EurOtop en golfoverslag
- 7 maart: Inleveren Tussenrapport
- 10 maart: Tussenpresentatie
- 14 maart: Eerste SWASH-schematisatie
- 24 maart: Inleveren eerste concept-eindrapport
- 31 maart: Afronden onderzoek en conclusies
- 31 maart: Verbeteren concept/ inleveren tweede concept
- 2 april: Inleveren definitief eindrapport
- 7 april: Eindpresentatie
- 8 april: Bespreken eindrapport