

Opdrachtgever:

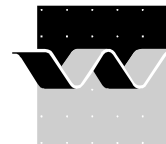
DG Rijkswaterstaat - RIZA

Probabilistisch bepaald effect van retentie

Rapport fase 1

H. van der Klis

April 2004



OPDRACHTGEVER:	DG Rijkswaterstaat, RIZA Afd. WSR Postbus 9072 6800 ED ARNHEM				
TITEL:	Probabilistisch bepaald effect van retentie				
SAMENVATTING:	<p>In het project 'Probabilistisch bepaald effect van retentie' wordt het effect van verschillende retentiestrategieën op ontwerpwaterstanden in de Nederlandse Rijntakken bepaald, rekening houdend met het stochastisch karakter van de natuurlijke processen en andere bronnen van onzekerheid.</p> <p>Dit rapport beschrijft de eerste fase van het project, bestaande uit (1) de selectie en schematisatie van de stochasten en onzekerheden, (2) de selectie van de locaties waarvoor het hydraulisch effect van retentie wordt bepaald en (3) het formuleren van overschrijdingskrommen van de golfoploop op de geselecteerde locaties.</p> <p>Met de in dit rapport beschreven keuzes voor te onderzoeken locaties en onzekerheden wordt in de tweede fase van het project daadwerkelijk het hydraulisch effect van retentie onderzocht.</p>				
REFERENTIES:	Overeenkomstnummer: RI-4037 Projectovereenkomst: brief RIZA, 9 februari 2004, CXC/433 Offerte: ZWS0922/Q3698.95/tk				
VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
1.0	Hanneke van der Klis	5 april 2004		Henk Ogink	
1.1	Hanneke van der Klis	14 april 2004		Ferdinand Diermanse	Drs. C.A. Bons
PROJECTNUMMER	Q3698				
TREFWOORDEN:	retentie, ontwerpwaterstand, onzekerheid				
AANTAL BLADZIJDEN	16				
VERTROUWELIJK	<input checked="" type="checkbox"/> JA, tot (datum)		<input type="checkbox"/> NEE		
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG		<input type="checkbox"/> CONCEPT		<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF

Inhoud

1	Inleiding	1—1
	1.1 Uitgangspunten.....	1—1
2	Selectie en schematisatie van de stochasten.....	2—2
	2.1 Onzekerheid in de afvoer	2—2
	2.2 Onzekerheid in de waterstanden door lokale afwijkingen	2—3
	2.3 Onzekerheid in de lokale golfoploop.....	2—4
3	Selectie van de locaties	3—1
4	Overschrijdingskrommen.....	4—1
5	Referenties	5—1
A	Windstatistiek	A—1

I Inleiding

In het kader van het project ‘Probabilistisch bepaald effect van retentie’ (overeenkomst RI-4037) voert WL werkzaamheden uit voor RIZA om het effect van retentie op ontwerpwaterstanden in de Nederlandse Rijntakken te bepalen, rekening houdend met het stochastisch karakter van de natuurlijke processen en andere bronnen van onzekerheid.

Volgens de projectovereenkomst wordt het project uitgevoerd in twee fasen. De eerste fase, die in dit rapport wordt beschreven, bestaat uit de volgende activiteiten:

1. Selectie en schematisatie van de stochasten,
2. Selectie van de locaties waarvoor in de tweede fase van dit project het effect van retentie op de ontwerpwaterstanden zal worden bepaald, en
3. Formuleren van overschrijdingskrommen.

In dit rapport bespreken we deze onderdelen in de aangegeven volgorde. In paragraaf 1.1 bespreken we eerst de methode die we in dit project hanteren, voor zover dit nodig is voor de rapportage van deze eerste fase.

I.1 Uitgangspunten

In deze studie wordt het effect van verschillende retentiestrategieën op ontwerpwaterstanden geschat voor zes locaties langs de Nederlandse Rijntakken. Hierbij definiëren we de ontwerpwaterstand als de som van de afvoergelateerde waterstand h_Q en de lokale golfoploop h_g .

De afvoergelateerde waterstanden worden bepaald met behulp van Q_L - h_{\max} relaties, waarbij Q_L staat voor de piekafvoer bij Lobith en h_{\max} voor de maximale lokale waterstand bij een afvoergolf met een piek Q_L . De Q_L - h_{\max} relaties voor de te analyseren locaties zijn met behulp van lineaire interpolatie afgeleid van de Q_L - h_{\max} relaties op de MSW-stations, waarbij deze laatste overgenomen zijn uit de studie VNK (Diermanse et al., 2003a). Deze methode is volstrekt analoog aan de methode gebruikt in (HKV/WL, 2003).

De lokale golfoploop, gerelateerd aan de waterstand en de windstatistiek, wordt bepaald conform de methode van Van der Meer (TAW, 2002).

Het effect van de stochasten en onzekerheden die in beschouwing worden genomen wordt bepaald met behulp van numerieke integratie, conform de methode van (HKV/WL, 2003; Stijnen et al., 2002).

Voor het uitvoeren van de benodigde berekeningen wordt gebruik gemaakt van (gedeelten van) de Matlab-code die is ontwikkeld in het kader van (HKV/WL, 2003). Deze code is door RIZA aan WL geleverd (CD-ROM van Arjan Sieben aan Hanneke van der Klis, 27 januari 2004) en RIZA heeft WL toestemming gegeven voor het gebruik van de code voor dit project (bespreekverslag Q3698/HK04, 16 maart 2004, Hanneke van der Klis).

2 Selectie en schematisatie van de stochasten

De onzekerheid in de ontwerpwaterstanden wordt voor een deel bepaald door het stochastisch karakter van de rivierafvoer (die de afvoergelateerde waterstand bepaalt) en van de wind (die de lokale golfloop bepaalt). Dit zijn voorbeelden van onzekerheid door de natuurlijke variabiliteit van het riviersysteem. Daarnaast bepaalt de beperkte beschikbare kennis over het riviersysteem de onzekerheid in de ontwerpwaterstanden, wat zich met name manifesteert in modelonzekerheden (zie voor een classificatie van onzekerheden bijvoorbeeld Van der Klis, 2003; Walker et al., 2003).

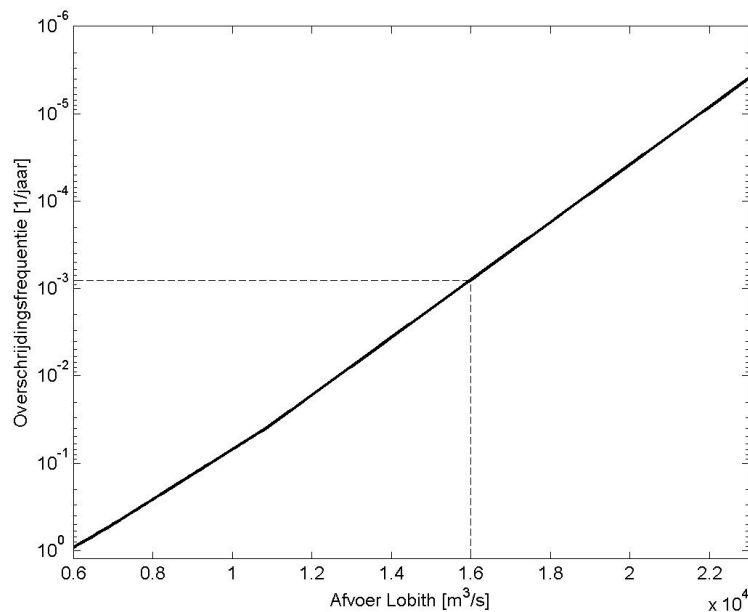
In deze studie beschouwen we de volgende groepen onzekerheden:

1. onzekerheid in de afvoer,
2. onzekerheid in de waterstanden door variaties benedenstrooms van de locaties, en
3. onzekerheid in de lokale golfloop.

We bespreken in de volgend paragrafen elk van deze onzekerheden afzonderlijk.

2.1 Onzekerheid in de afvoer

Wat betreft de afvoer beschouwen we de onzekerheid die voortkomt uit het stochastisch karakter van de piekafvoeren bij Lobith. Voor de overschrijdingskansen van de piekafvoeren wordt de werklijn aangehouden waarbij de jaarlijkse overschrijdingskans van een piekafvoer van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ gelijk is aan $1/1250$ (Parmet et al., 2001), zoals weergegeven in Figuur 1. De onzekerheid in de werklijn wordt in deze studie buiten beschouwing gelaten.



Figuur 1: Overschrijdingsfrequenties van de afvoermaxima bij Lobith per jaar. De overschrijdingsfrequentie van $16.000 \text{ m}^3/\text{s}$ is $1/1250 = 8 \cdot 10^{-4}$ per jaar.

Voor het bepalen van het effect van retentiestrategieën op ontwerpwaterstanden gaan we uit van een standaard vorm van de afvoergolf, namelijk de 50%-percentielvorm volgens de golfvormgenerator (Klopstra, 1999). De invloed van variaties in de golfvorm op het effect van retentie wordt bepaald aan de hand van een gevoeligheidsanalyse.

2.2 Onzekerheid in de waterstanden door lokale afwijkingen

In twee recent uitgevoerde studies is de onzekerheid in hoge waterstanden in de Rijntakken geschat:

- de verkennende beleidsanalyse van rampenbeheersing (HKV/WL, 2003), met als voorloper de onzekerheidsanalyse van hoogwaterbescherming (Stijnen et al., 2002), en
- een studie naar onzekerheden in Maatgevende Hoogwaters van RIZA (Van Velzen, 2003), en een beoordeling hiervan (Ogink, 2003).

Voor de selectie en beschrijving van deze onzekerheid in het onderhavige project baseren we ons op de resultaten van genoemde studies, welke we hieronder kort beschrijven.

Onzekerheden volgens verkennende beleidsanalyse rampenbeheersing

In (HKV/WL, 2003) en (Stijnen et al., 2002, p.31-32) zijn de volgende bijdragen aan de onzekerheid in de lokale waterstanden verwerkt:

- onzekerheid in de ruwheden en geometrie: aangenomen is een standaarddeviatie voor de waterstand van 0.1 m voor Waal en Neder-Rijn en 0.15 m voor de IJssel;
- onzekerheid in de afvoerverdeling op de splitsingspunten: aangenomen is een standaarddeviatie van circa 1% van de instroom bij een splitsingspunt;
- onzekerheid door de interpolatie van waterstanden tussen MSW-stations: aangenomen is een standaarddeviatie van 0.05 m.

Er wordt aangenomen dat deze onzekerheidsbronnen allen kunnen worden gecombineerd tot één normale verdeling. Het gemiddelde is daarbij gelijk aan de lokale waterstanden volgens de Q_L-h_{max} relaties en voor de standaarddeviaties zijn de waarden uit Tabel 1 gebruikt.

Naar het inzicht van WL geven deze standaarddeviaties een onderschatting van de onzekerheid in de waterstanden, met name door een te optimistische schatting van het effect van de onzekerheid in de hydraulische ruwheid in een model als WAQUA op de modelresultaten.

Tabel 1: Standaarddeviaties voor onzekerheid in de lokale waterstanden volgens (Stijnen et al., 2002 en HKV/WL, 2003).

Riviertak	Standaarddeviatie [m] (HKV/WL, 2003)
Waal	0.12
Nederrijn	0.17
IJssel	0.25

De vergelijking met deze studies is relevant aangezien in dit project dezelfde methode wordt gehanteerd om ontwerpwaterstanden te bepalen, op basis van dezelfde gegevens.

Onzekerheden volgens studie RIZA

In de studie van RIZA naar onzekerheden in maatgevende waterstanden (Van Velzen, 2003) is onderscheid gemaakt tussen onzekerheden door natuurlijke variabiliteit en modelonzekerheid. Inzicht in de natuurlijke variabiliteit is verkregen door een analyse van afvoermetingen bij Lobith en waterstandsmetingen op MSW-stations. Wat betreft de modelonzekerheid wordt door RIZA onderscheid gemaakt tussen de representativiteit van het ijkhoogwater en onzekerheid in de extrapolatie van het ijkhoogwater naar maatgevend hoogwater.

De studie resulteerde in een indicatieve schatting van de minimale en maximale standaardafwijking in de voorspelling van de toetspeilen per Rijntak, waarvan de maximale schattingen zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2: Standaarddeviaties voor onzekerheid in de lokale waterstanden volgens (Van Velzen, 2003).

Riviertak	Standaarddeviatie [m] (Van Velzen, 2003)
Waal	0.14
Nederrijn	0.15
IJssel	0.19

Op verzoek van RIZA zijn hun aanpak en conclusies beoordeeld (Ogink, 2003). In deze beoordeling werd geconcludeerd dat met name de schattingen voor de modelonzekerheid in de toetspeilen aanzienlijk te laag zijn. Een eerste schatting is dat de onzekerheden orde twee keer zo groot zijn dan is aangenomen.

Selectie en beschrijving onzekerheden voor huidige project

Vergelijking wijst uit dat beide schattingen in geval van de Waal en de Neder-Rijn bij elkaar in de buurt liggen en dat het verschil tussen de schattingen voor de IJssel wat groter zijn. De beoordeling van de resultaten van RIZA en de soms grove aannames die gedaan zijn in beide studies geven aan dat er nog grote onduidelijkheid en verschil van inzicht bestaat over de grootte van de onzekerheid in de waterstanden.

Vanwege de vergelijkbaarheid van de gebruikte aanpak gebruiken we voor deze analyse de schattingen van (HKV/WL, 2003). In een gevoeligheidsanalyse onderzoeken we wat de invloed van een grotere onzekerheid in de waterstanden is op het hydraulische effect van retentie.

2.3 Onzekerheid in de lokale golfoploop

Wat betreft de lokale golfoploop beschouwen we de onzekerheid door het stochastisch karakter van de windrichting en de windsnelheid. Voor de windstatistiek wordt gebruik gemaakt van de locatie Schiphol.

De kansverdeling voor de windrichting is gebaseerd op 16 windrichtingen van 22.5° . Bijlage A bevat de kans op elk van de windrichtingen. Dezelfde waarden zijn gebruikt in eerdere studies (Geerse, 2000; Stijnen et al., 2002; Diermanse et al., 2003a; HKV/WL, 2003).

Ook de gebruikte kansverdeling voor de windsnelheid per windsector is afkomstig uit eerdere studies (Geerse, 2002; Stijnen et al., 2002). Deze statistiek beschrijft de conditionele overschrijdingskansen van de windsnelheid per getijdenperiode (i.e. 12.42 uur), gegeven de windrichting in sectoren van 22.5° voor een winterhalfjaar. De conditionele overschrijdingskansen staan in Bijlage 3F van (Diermanse et al., 2003a) en digitaal in de Matlab-code bij (HKV/WL, 2003, kansnelheid_getij.txt).

3 Selectie van de locaties

Voor elk van de Rijntakken Waal, Neder-Rijn en IJssel analyseren we voor twee locaties het effect van retentie op de ontwerpwaterstanden. Voor de selectie van deze locaties zijn de volgende criteria gehanteerd:

- Om een representatief beeld van het effect van retentie op de verschillende Rijntakken te krijgen selecteren we een locatie bovenstrooms en een locatie benedenstrooms langs elk van de drie Rijntakken;
- Omdat het effect van retentie op ontwerpwaterstanden uiteindelijk vertaald moet worden naar het effect op de overstromingskans van dijkringen kiezen we de locaties ter hoogte van kenmerkende dijkringen langs elk van de drie Rijntakken;
- Voor een maatgevende locatie per Rijntak kiezen we een locatie in het bovenstroomse deel van elk van de takken, waar een variatie in de afvoer een relatief groot effect heeft op de waterstand, indien mogelijk waar de wind een relatief groot effect heeft op de waterstand.

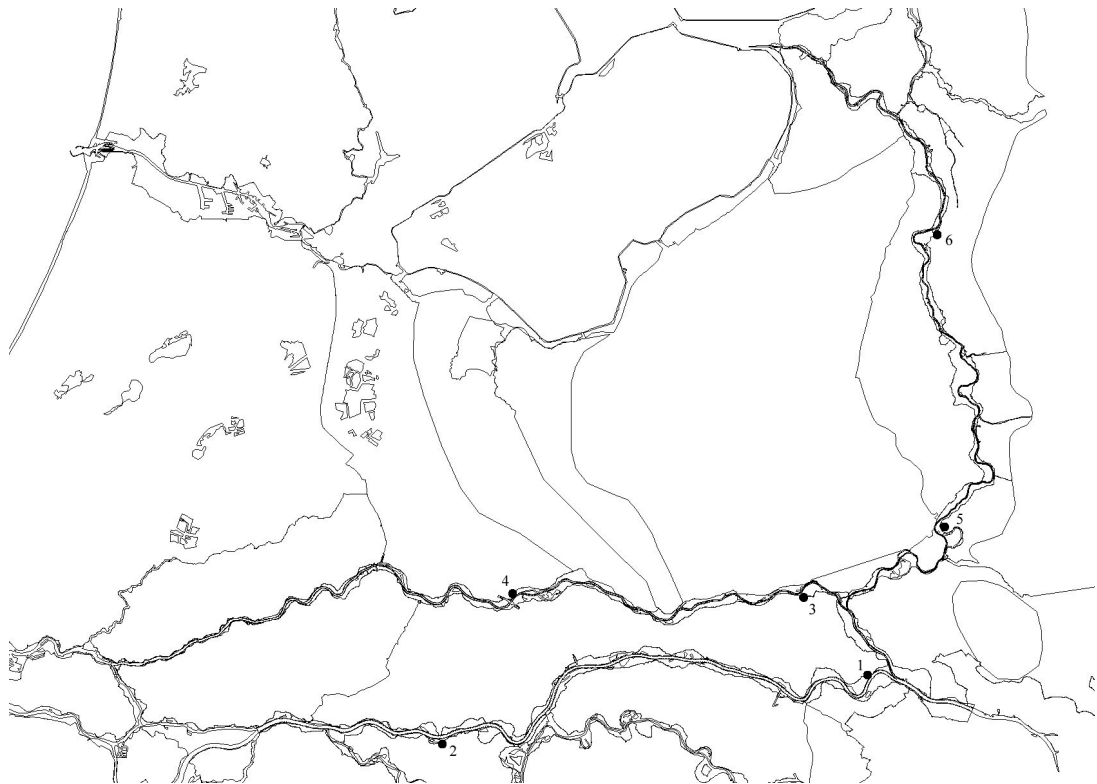
We schatten het hydraulisch effect van retentie op de volgende locaties:

1. Hulhuizen,
2. Gameren,
3. Arnhem Zuid,
4. Wijk bij Duurstede,
5. Olburgen, en
6. Duursche Waarden.

In onderstaande tabel en figuur staat van elk van deze locaties de ligging langs de Rijntakken. Deze gegevens zijn overgenomen uit (HKV/WL, 2003).

Tabel 3: Locaties waarvoor hydraulisch effect van retentie bepaald wordt.

nr	locatie	rivier	kmr	oever	dijkring
1	Hulhuizen	Waal	871.5	rechter	Betuwe (43)
2	Gameren	Waal	937	linker	Bommelerwaard (38)
3	Arnhem Zuid	Neder-Rijn	886.8	linker	Betuwe (43)
4	Wijk bij Duurstede	Neder-Rijn	928.3	rechter	Kromme Rijn (44)
5	Olburgen	IJssel	911	rechter	IJsselland (49)
6	Duursche Waarden	IJssel	963.8	rechter	Salland (53)



Figuur 2: Locaties waarvoor hydraulisch effect van retentie bepaald wordt (nummering volgens Tabel 1).

4 Overschrijdingskrommen

In Hoofdstuk 2 zijn de stochasten en onzekerheden geselecteerd en gekwantificeerd door middel van kansverdelingen. De overschrijdingskromme van de piekafvoeren bij Lobith staat gegeven in Figuur 1. Voorts is per rijntak de onzekerheid in de waterstanden door lokale afwijkingen gekwantificeerd in de vorm van normale verdelingen met een verwachtingswaarde van nul en standaarddeviaties volgens Tabel 1.

In aansluiting op de projectovereenkomst (RI-4037) leiden we met de nu beschikbare gegevens de overschrijdingsverdelingen af van de golfoploop per locatie. Dit is mogelijk in deze fase van het project omdat deze verdelingen niet afhangen van de later te kiezen retentiestrategieën. De afvoerderelateerde waterstanden hangen echter wel van de retentiestrategieën af, zodat we de overschrijdingskansen voor deze bijdragen aan de ontwerpwaterstanden in de tweede fase van het project zullen afleiden.

Bepaling golfoploop

De 2%-golfoploop is het niveau, verticaal gemeten ten opzichte van de stilwaterlijn, waarbij het aantal oplopen dat dit niveau overschrijdt 2% is van het aantal inkomende golven (TAW, 2002).

De golfoploop, $z_{2\%}$, wordt berekend met behulp van Formule 3a uit (TAW, 2002):

$$z_{2\%}/H_{m0} = 1.75 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0,$$

waarin

$z_{2\%}$	=	2%-golfoploopniveau boven de stilwaterlijn	[m]
H_{m0}	=	significante golfhogte bij de teen van de dijk	[m]
ξ_0	=	brekerparameter	[-]
γ_b	=	invloedsfactor voor een berm	[-]
γ_f	=	invloedsfactor voor ruwheid op het talud	[-]
γ_β	=	invloedsfactor voor scheve golfaanval	[-]

en

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{2\pi H_{m0}/(gT_{m-1,0}^2)}},$$

met

α	=	hoek van het talud	[°]
g	=	versnelling van de zwaartekracht	[m/s ²]
$T_{m-1,0}$	=	spectrale golfperiode	[s].

De invloedsfactor voor een berm is in dit geval gelijk aan 1, aangezien er geen sprake is van een berm in het standaard dijkprofiel dat we aannemen (zie memo Q3698/HK05).

We nemen aan dat ook de invloedsfactor voor de ruwheid op het talud gelijk is aan 1, wat overeenkomt met bijvoorbeeld een grasbekleding (TAW, 2002).

Voor de invloedsfactor voor scheve golfaanval wordt Formule 8 uit (TAW, 2002) gebruikt:

$$\gamma_{\beta} = 1 - 0.0022|\beta| \quad (0^{\circ} \leq |\beta| \leq 80^{\circ})$$

$$\gamma_{\beta} = 1 - 0.0022 \cdot 80 \quad (|\beta| > 80^{\circ})$$

met β de hoek van de golfinval ten opzichte van de dijknormaal. Voor $80^{\circ} < |\beta| < 110^{\circ}$ worden de golfhoogte en golfperiode aangepast zodat de golfoploop verder afneemt, tot geen oploop voor golfinvallen onder een grotere hoek van 110° .

De benodigde golfhoogte en golfperiode worden bepaald met behulp van de formules van Bretschneider, op basis van de windsnelheid, de waterdiepte en de strijklengte.

Zoals in het voorgaande beschreven beschouwen we de onzekerheid in de golfoploop door het stochastisch karakter van de windrichting en –snelheid.

De onzekerheid over bovenstaande berekeningswijze van de golfoploop wordt vooralsnog buiten beschouwing gelaten. We verwachten dat deze onzekerheid slechts een beperkte invloed heeft op het hydraulische effect van retentie.

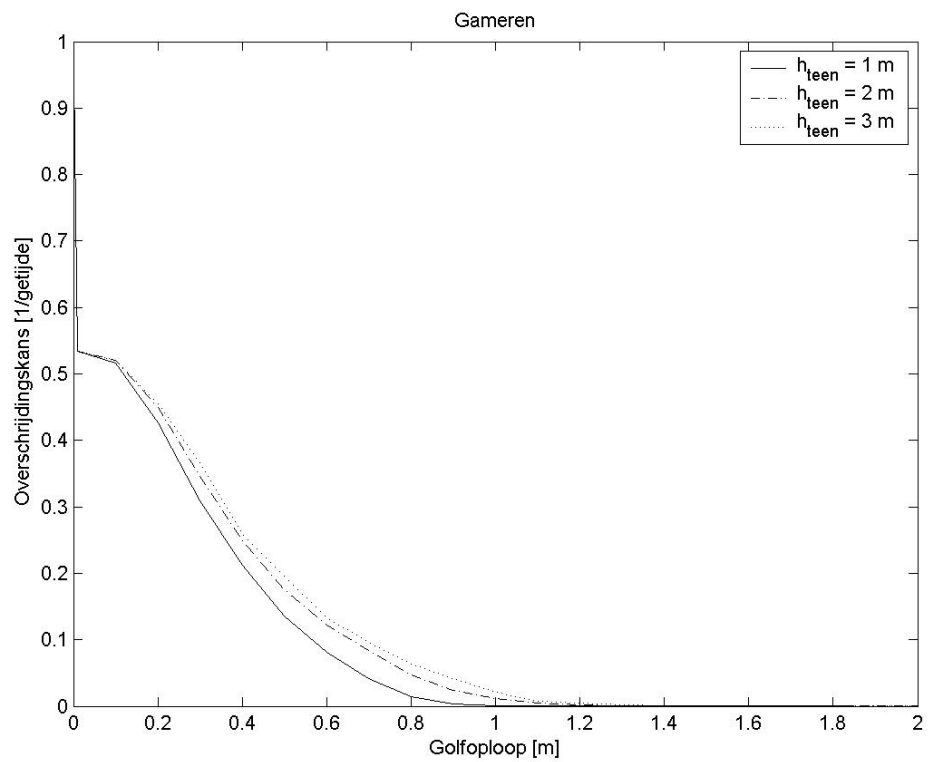
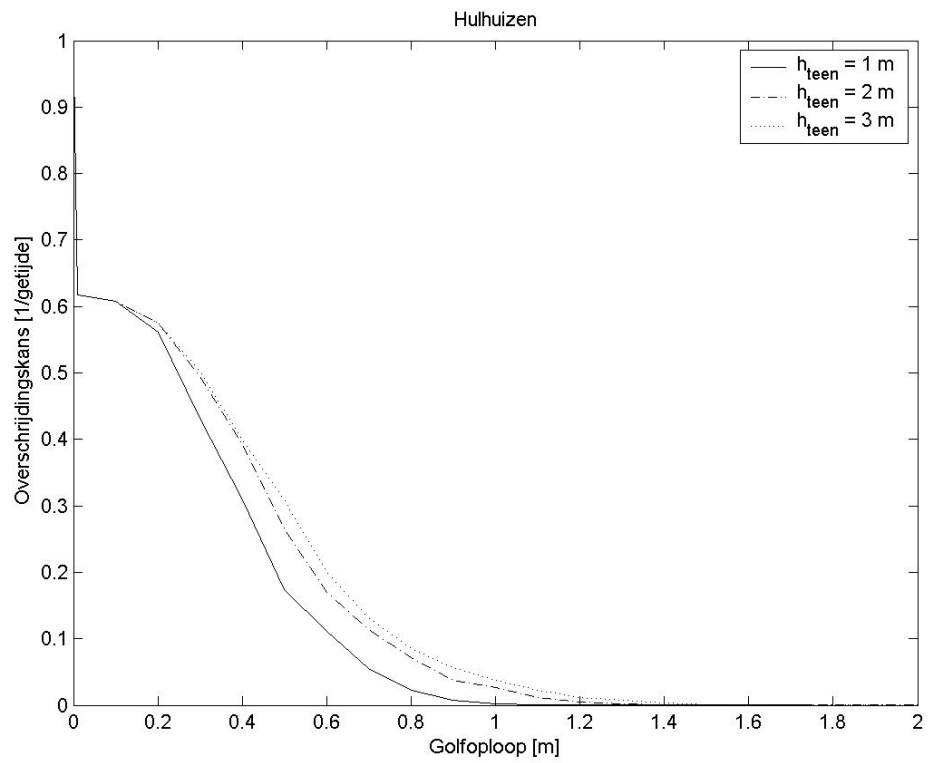
Voor het uitvoeren van de berekeningen wordt een aantal routines uit de Matlab-code bij (HKV/WL, 2003) gebruikt en aangevuld met code om overschrijdingskansen van de golfoploop te bepalen met behulp van numerieke integratie.

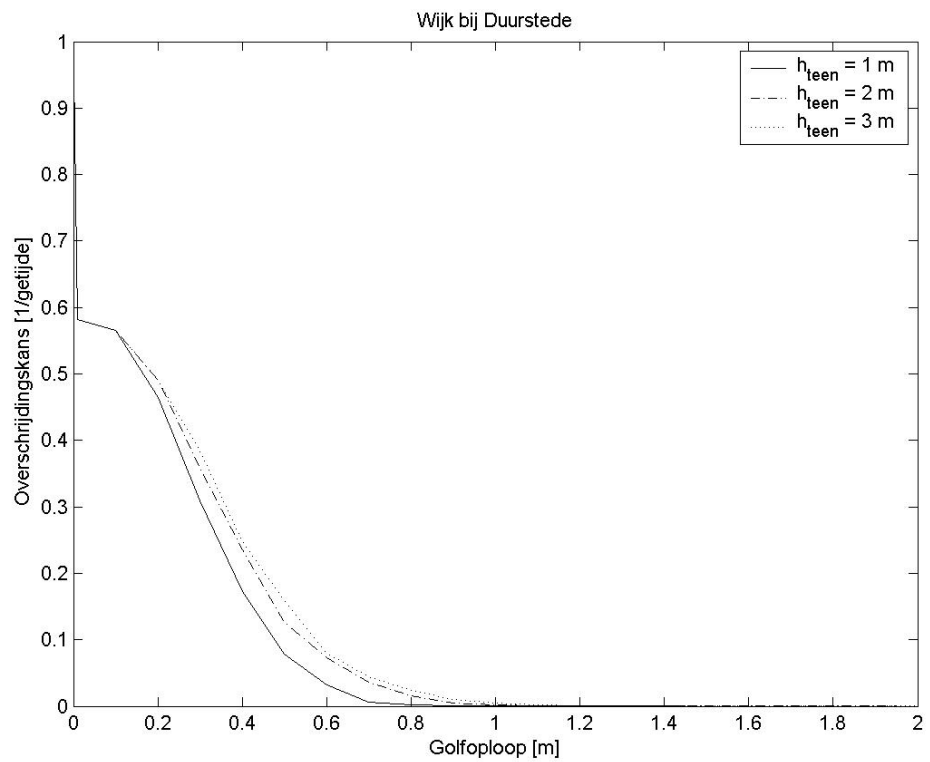
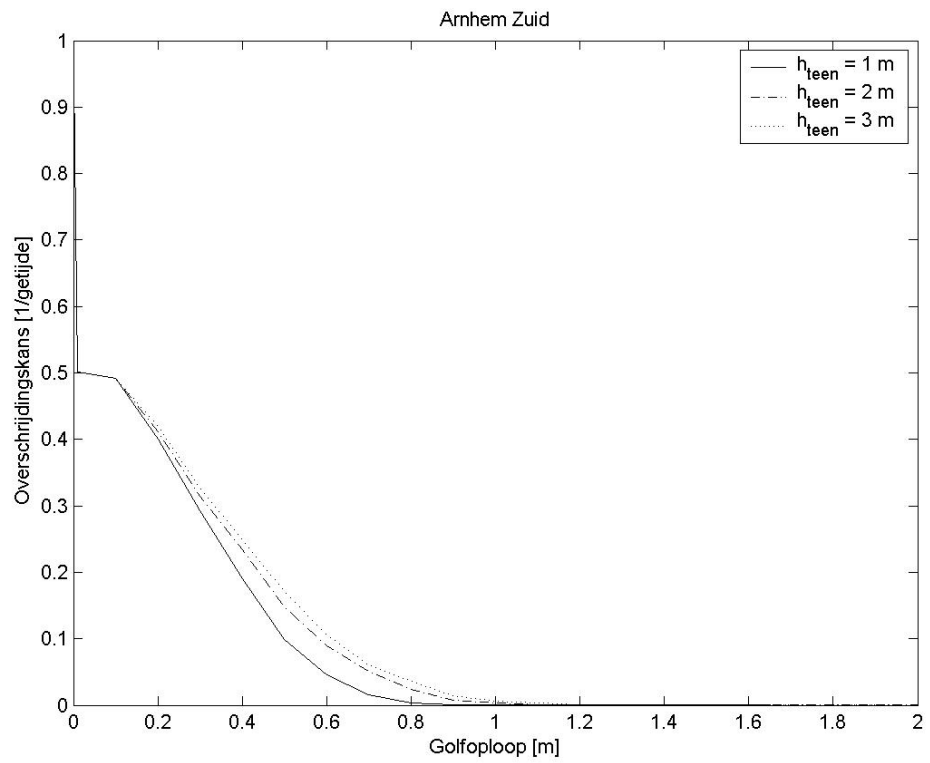
Overschrijdingskansen golfoploop per getijdeperiode

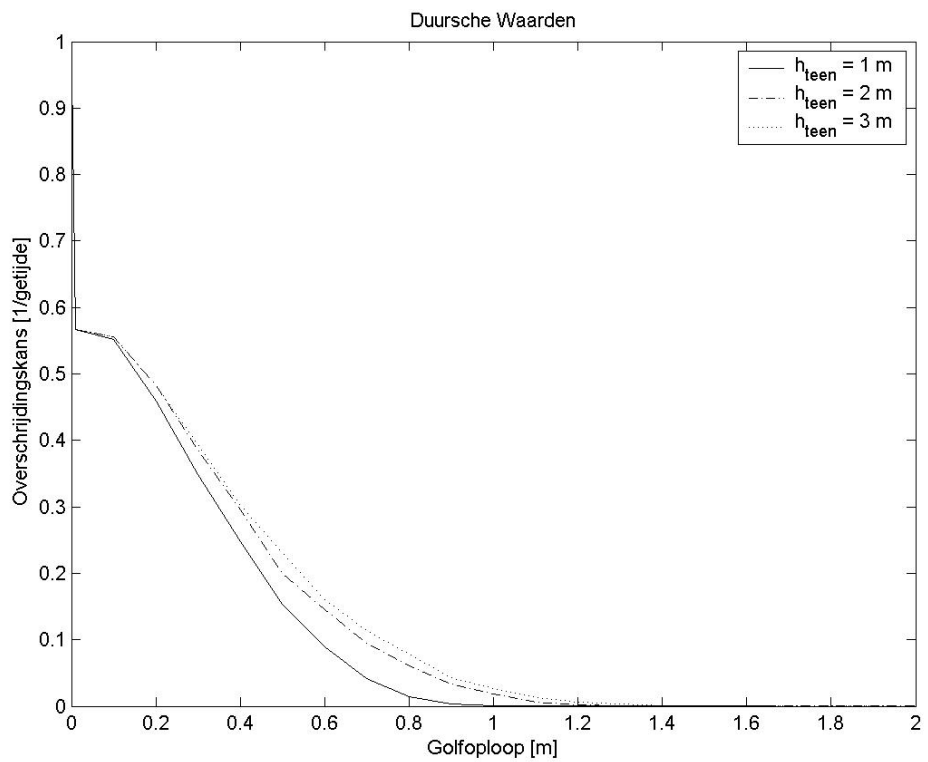
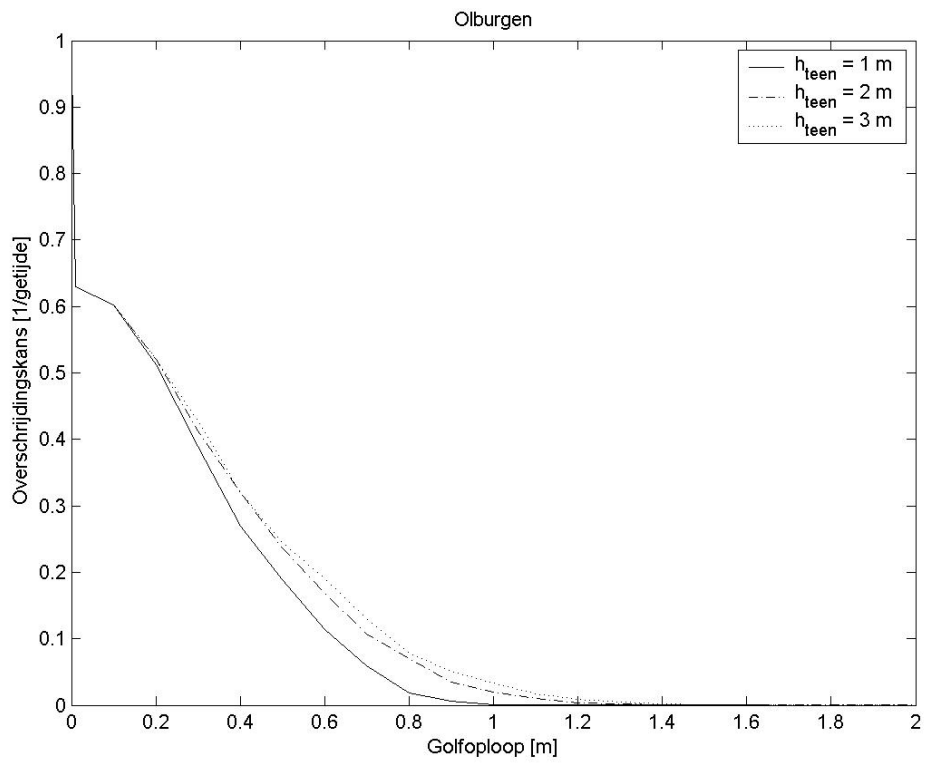
Onderstaande figuren tonen de overschrijdingskansen van de golfoploop per getijdeperiode per locatie. Omdat de golfoploop afhangt van de waterdiepte in de rivier zijn voor verschillende waterdiepten aan de teen van de dijk (h_{teen}) overschrijdingskrommen gegeven.

Merk op dat waar een golfoploop van 0 m overal logischerwijs een overschrijdingskans gelijk aan 1 heeft (per getijdeperiode), maakt de overschrijdingskromme daarna een sprong naar een kans rond de 0.6. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat niet onder alle windrichtingen sprake is van golfoploop.

De oriëntatie van de dijken op de verschillende locaties en de lokale strijklengtes bepalen de mate waarin rekening moet worden gehouden met golfoploop. De overschrijdingskrommen voor Hulhuizen laten bijvoorbeeld zien dat voor kleine overschrijdingskansen bij hoge waterstanden rekening moet worden gehouden met golfoploop tot 1.4 m, terwijl bij Arnhem Zuid de golfoploop niet veel verder komt dan 1 m.







5 Referenties

(Diermanse et al., 2003a)

Diermanse, F.L.M., B.I. Thonus, I.B.M. Lammers en F. den Heijer, april 2003a. *De veiligheid van Nederland in kaart. Inventariseren en inbouwen van hydraulische randvoorwaarden in PC ring. Fase 1: Inventarisatie belastingmodellen en gegevensverzameling*; WL-rapport Q3028, Opdrachtgever DG Rijkswaterstaat DWW. WL | Delft Hydraulics en HKV [LIJN IN WATER](#).

(Geerse, 2003)

Geerse, C.P.M., december 2003. *Probabilistisch model hydraulische randvoorwaarden Benedenrivierengebied*. RIZA werkdocument 2003.128x. RIZA, afdeling WSH, Lelystad.

(HKV/WL, 2003)

HKV/WL, 2003. *Beperking van overstromingsrisico's in het Bovenrivierengebied. Een verkennende beleidsanalyse van rampenbeheersing en structurele maatregelen langs de Rijntakken en de Maas*. Opdrachtgever Rijkswaterstaat RIZA. HKV [LIJN IN WATER](#) en WL | Delft Hydraulics, PR640.

(Klopstra, 1999)

Klopstra, december 1999. *Methodiek voor vaststelling van de vorm van de maatgevende afvoergolf van de Rijn bij Lobith*. D. Klopstra en M. Duits. opdrachtgever: WL | Delft Hydraulics, Rijkswaterstaat RIZA. HKV-Rapport PR 204.

(Ogink, 2003)

Ogink, H.J.M., 2003. *Nauwkeurigheid toetspeilen*. Opdrachtgever Rijkswaterstaat RIZA. WL | Delft Hydraulics. Conceptrapport Q3634.

(Stijnen et al., 2002)

Stijnen, J.W., M. Kok en M.T. Duits, 2002. *Onzekerheidsanalyse Hoogwaterbescherming Rijntakken. Onzekerheidsbronnen en gevolgen van maatregelen*. Opdrachtgever Rijkswaterstaat RIZA, HKV [LIJN IN WATER](#), PR464.

(TAW, 2002)

Van der Meer, J.W., mei 2002. *Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft.

(Van der Klis, 2003)

Van der Klis, H., 2003. *Uncertainty analysis applied to numerical models of river bed morphology*. Proefschrift aan de TUD. Delft University Press, Delft. ISBN 90-407-2440.

(Van Velzen, 2003)

Van Velzen, E.H., 2003. *Nauwkeurigheid toetspeilen*. Notitie, RIZA.

(Walker et al., 2003)

Walker, W.E., Harremoës, P., Rotmans, J., Van der Sluijs, J.P., Van Asselt, M.B.A., Janssen, P., en Kreyer von Krauss, M.P., 2003. Defining uncertainty: A conceptual basis for uncertainty management in model-based decision support. *Integrated Assessment*, 4(1):5-17.

A Windstatistiek

Onderstaande tabel bevat de kans per klasse van windrichtingen. De windrichting geeft de centrale windrichting van de sector, bijvoorbeeld, de windrichting 90° hoort bij de sector lopende van 79.75° tot 101.25° .

Tabel 4: Kansen per windrichting (HKV/WL, 2003).

Windrichting [graden]	Kans
0	0.047
22.5	0.045
45	0.056
67.5	0.064
90	0.058
112.5	0.041
135	0.044
157.5	0.058
180	0.074
202.5	0.091
225	0.096
247.5	0.091
270	0.076
292.5	0.057
315	0.051
337.5	0.049