

**Invloedsfactor voor de
golfbelasting op bermen van
asfalt**



Invloedsfactor voor de golfbelasting op bermen van asfalt

G.C. Mourik

1209832-014

Titel

Invloedsfactor voor de golfbelasting op bermen van asfalt

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat WVL en Projectbureau Zeeweringen	1209832-014	1209832-014-HYE-0003	54

Trefwoorden

Berm, asfaltbekleding, hydraulische belasting, golfbelasting, golfklapaantal, golfklapgrootte, invloedsfactor

Samenvatting

In 2013 is een literatuurstudie uitgevoerd naar de stabiliteit van asfalt op een berm bij golfaanval (Davidse, 2013). Een kennisleemte die daarbij gesignaleerd is, betreft de hydraulische belasting op de asfaltbekleding op de berm, die anders is dan wanneer het asfalt op een talud ligt. Diverse in de literatuur gevonden adviezen stellen dat de hydraulische belasting bij bermen rond de waterlijn, of bij zeer brede bermen, aanzienlijk minder is, maar er zijn geen formules gevonden voor het berekenen van de hydraulische belasting op asfaltbermen. Omdat daar wel behoefte aan is, zijn in het onderhavige rapport formules ontwikkeld waarmee de hydraulische belasting berekend kan worden op asfaltbekledingen op bermen. De hydraulische belasting is gekwantificeerd op basis van beschikbare metingen uit 1992 (De Waal, 1992).

De resulterende formules zijn bedoeld voor gebruik in het rekenmodel Golfklap, dat gebruikt wordt voor het beoordelen van asfaltbekledingen. In het rekenmodel Golfklap worden onder andere de volgende twee aspecten van de hydraulische belasting onderscheiden: 1) het aantal golfklappen, en 2) de grootte van de golfklappen. In Golfklap wordt niet gekeken naar golffronten, omdat wordt verondersteld dat deze nauwelijks invloed hebben op de stabiliteit van asfaltbekledingen.

Volgens de toetsing moet bij de beoordeling op het mechanisme 'golfklappen' in geval van een berm worden gerekend met de taludhelling van het talud onder de berm. Per saldo wordt daardoor bij bermen gerekend met de hydraulische belasting, die optreedt op een doorgaand talud zonder berm. Omdat het voorgaande mogelijk zeer conservatief is, zijn in de onderhavige analyse twee invloedsfactoren ontwikkeld:

- Invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$: de verhouding tussen het aantal golfklappen op een willekeurig stukje van de berm (van dit stukje is de zeewaartse zijde aangeduid met Z en de landwaartse zijde met L) en het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud. De bermzone betreft de verticale zone waarbinnen de berm ligt.
- Invloedsfactor $f_{B,p}$: de verhouding tussen de golfklapgrootte (piekdruk op het asfalt) op de berm en de golfklapgrootte in de bermzone van een doorgaand talud.

Het onderhavige onderzoek is uitgevoerd in het kader van het meerjarige project 'Advisering steenbekledingen Zeeland' voor het Projectbureau Zeeweringen (PBZ). Dit projectbureau is opgericht ten behoeve van de renovatie van de steenzettingen in Zeeland en is een samenwerking van Rijkswaterstaat Zeeland en het Waterschap Scheldestromen. Contractueel is Rijkswaterstaat WVL de opdrachtgever namens PBZ voor het onderhavige onderzoek. Het deel van het project dat gericht is op kennisontwikkeling sluit aan op het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen dat uitgevoerd is in de periode van

Titel

Invloedsfactor voor de golfbelasting op bermen
van asfalt

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat WVL en Projectbureau Zeeweringen	1209832-014	1209832-014-HYE-0003	54




2003-2009 in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat namens PBZ.

Referenties

Rijkswaterstaat WVL zaaknr. 31094141 / bestelnr. 45002226348 (opdracht van 2 juni 2014).

Contactpersoon Rijkswaterstaat WVL: dhr. K. Saathof

Contactpersoon Projectbureau Zeeweringen van RWS: dhr. Y. Provoost

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
1.0	nov. 2014	G.C. Mourik		R. 't Hart		M.R.A. van Gent	
2.0	mei 2015	G.C. Mourik		R. 't Hart		M.R.A. van Gent	
3.0	apr. 2016	G.C. Mourik		R. 't Hart		M.R.A. van Gent	

Status

definitief

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Problematiek	1
1.2	Doel	2
1.3	Opzet van het onderzoek	3
2	Modelopstelling en proevenprogramma	5
2.1	Algemeen	5
2.2	Geometrie modelopstelling	5
2.3	Proevenprogramma	5
2.4	Metingen	6
2.4.1	Drukken	6
2.4.2	Hydraulische condities	7
3	Verwerking drukmetingen tot belastingverdeling over talud	9
3.1	Voorbewerking van de ruwe drukmeetdata	9
3.2	Selectie van golfklappen, golfklaplocaties en golfklapgroottes met ANALYSEWAVE	9
3.3	Verdeling van de golfklapgrootte over het talud	11
3.4	Verdeling van het aantal golfklappen over het talud	13
3.5	Invloed van de drukopnemerafstand op de gemeten golfbelasting	14
3.5.1	Algemeen	14
3.5.2	Invloed van de drukopnemerafstand op de golfklapgrootte	15
3.5.3	Invloed van de drukopnemerafstand op het aantal golfklappen	17
4	Invloedsfactor voor het aantal golfklappen op bermen	21
4.1	Opzet	21
4.2	Stap 1: formule voor aantal golfklappen in bermzone van doorgaand talud	22
4.2.1	Algemeen	22
4.2.2	Stap 1a: formule voor ruimtelijke verdeling van golfklapfractie op doorgaand talud	23
4.2.3	Stap 1b: formule voor aantal golfklappen op willekeurig stukje 1:3-talud	25
4.2.4	Stap 1c: gebruik van formule (4.5) bij 1:4-taluds	26
4.3	Stap 2: invloedsfactor $f_{B,N}$ voor het totale aantal golfklappen op een berm	27
4.3.1	Algemeen	27
4.3.2	Stap 2a: aantal gemeten golfklappen op de berm	28
4.3.3	Stap 2b: vergelijking van $N_{klap,zberm}$ en $N'_{klap,zberm}$	28
4.4	Stap 3: invloedsfactor $f_{verdeling,Z \rightarrow L}$ voor de ruimtelijke verdeling over de berm	34
4.4.1	Algemeen	34
4.4.2	Afleiding van invloedsfactor $f_{verdeling,Z \rightarrow L}$ voor de ruimtelijke verdeling	34
5	Invloedsfactor voor de golfklapgrootte op bermen	39
5.1	Opzet	39
5.2	Verdeling van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds	39
5.3	Verdeling van de golfklapgrootte bij bermen boven de stilwaterlijn	41
5.4	Verdeling van de golfklapgrootte bij bermen onder de stilwaterlijn	42
5.5	Verdeling van de golfklapgrootte bij bermen gelijk aan de stilwaterlijn	46
5.6	Invloedsfactor voor de golfklapgrootte op bermen	47

6 Samenvatting en conclusies	49
6.1 Inleiding	49
6.2 Invloedsfactor ten aanzien van het aantal golfklappen	50
6.3 Invloedsfactor ten aanzien van de golfklapgrootte	51
7 Referenties	53
 Bijlagen	
A Overzicht randvoorwaarden	A-1
B Geometrie modelopstelling, DRO-locaties en waterstandniveaus	B-1
C Overzicht van golfklapgroottes, modelopstelling en ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen per proef	C-1

Lijst met Symbolen

Symbol	Eenheid	Betekenis
a	-	waarde van x' bij de zeewaartse grens van het beschouwde stukje doorgaand talud
b	-	waarde van x' bij de landwaartse grens van het beschouwde stukje doorgaand talud
B	m	bermbreedte
C_{top}	-	correctiefactor voor verticale vermenigvuldiging van de normale verdeling
d_B	m	waterdiepte boven de zeewaartse rand van de berm (positief = berm ligt onder stilwaterlijn; negatief = berm ligt boven stilwaterlijn)
$d_{B,b}$	m	waterdiepte boven de landwaartse rand van de berm
d_{B,x_b}	m	waterdiepte boven de berm, op locatie x_b
e	-	grondtal van de natuurlijke logaritme
$f_{B,N,Z \rightarrow L}$	-	invloedsfactor voor het bepalen van het aantal golfklappen op het stukje berm tussen $x_b = Z$ en $x_b = L$
$f_{B,p}$	-	invloedsfactor voor het bepalen van de golfklapgrootte op bermen, ten opzichte van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds
$f_{dB/H_s,p}$	-	invloedsfactor voor de dimensieloze waterdiepte op de berm d_B/H_s , ten aanzien van de golfklapgrootte
f_{rand}	-	factor vanwege het hogere aantal golfklappen bij de zee- en landwaartse rand van bermen onder de stilwaterlijn
$f_{verdeling,x_b}$	m^{-1}	invloedsfactor voor de ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen over de berm, evenredig met de waterdiepte boven de berm, op locatie x_b
$f_{verdeling,Z \rightarrow L}$	-	invloedsfactor voor de verdeling van het aantal golfklappen over de breedte van de berm, evenredig met de waterdiepte boven de berm, tussen $x_b = Z$ en $x_b = L$
g	m/s^2	versnelling van de zwaartekracht
H_s	m	significante golfhoogte
h	m	waterdiepte (niveau van de stilwaterlijn ten opzichte van de gootbodem)
L	m	x_b -locatie van landwaartse zijde van het beschouwde stukje berm
N	-	aantal inkomende golven
$N_{klap,a \rightarrow b}$	-	het aantal golfklappen op het doorgaande talud tussen $x' = a$ en $x' = b$
$N_{klap,min}$	-	ondergrens aan aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud
$N_{klap,perDRO}$	-	aantal golfklappen per drukopnemer
$N_{klap,zberm}$	-	totaal aantal golfklappen op de berm
$N_{klap,zberm}'$	-	aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud
$N_{klap,zberm,Z \rightarrow L}$	-	aantal golfklappen op het stukje berm tussen $x_b = Z$ en $x_b = L$
n	-	golfklapfractiedichtheid op het doorgaande talud (het deel van de inkomende golven dat leidt tot een golfklap, per dimensieloze horizontale afstand x/H_s)

p_{max}	m water	maximale druk tijdens een golfklap op het talud (piekdruk)
$p_{max,s}$	m water	significante piekdruk
$p_{max,s,berm}$	m water	significante piekdruk op de berm
$p_{max,s,talud}$	m water	significante piekdruk in de bermzone van een doorgaand talud zonder berm
$p_{max,2\%}$	m water	piekdruk met een overschrijdingspercentage van 2%
$p_{max,10\%}$	m water	piekdruk met een overschrijdingspercentage van 10%
s_{op}	-	golfsteilheid: $s_{op} = H_s / ((g \cdot T_p^2) / (2\pi))$
x	m	horizontale locatie ten opzichte van het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn (positief = landwaarts; negatief = zeewaarts)
x'	-	dimensieloze horizontale locatie ten opzichte van het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn ($x' = x/H_s$) (-)
x_b	m	horizontale locatie ten opzichte van de zeewaartse rand van de berm (positief = landwaarts; negatief = zeewaarts)
$x_{\phi max}$	m	horizontale afstand vanaf het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn tot de locatie waar de maximale stijghoogte optreedt (positief = zeewaarts)
Z	m	x_b -locatie van zeewaartse zijde van het beschouwde stukje berm
z	m	verticale locatie, ten opzichte van de stilwaterlijn (positief = omhoog; negatief = omlaag)
z_B	m	niveau van de zeewaartse rand van de berm ten opzichte van de gootbodem
T_p	s	golfperiode bij de piek van het spectrum
α	°	helling van het doorgaande talud of het talud onder de berm
γ	-	piekversterkingsfactor van het golfspectrum
σ	-	standaarddeviatie van de x' -locaties van de golfklappen op een doorgaand talud
μ	-	gemiddelde x' -locatie van de golfklappen op een doorgaand talud

1 Inleiding

1.1 Problematiek

In 2013 is een literatuurstudie uitgevoerd naar de stabiliteit van asfalt op een berm bij golfaanval (Davidse, 2013). Een kennisleemte die daarbij gesignaleerd is, betreft de hydraulische belasting op de asfaltbekleding op de berm, die anders is dan wanneer het asfalt op een doorgaand talud ligt.

Een berm is herkenbaar als een flauw taluddeel tussen het onder- en bovenbeloop. In het onderhavige rapport is, in aansluiting op het rekenmodel voor steenbekledingen, aangehouden dat de helling van een berm flauwer is dan 1:9. Bij een steilere helling wordt het beschouwd als onderdeel van het gewone talud. Ten aanzien van de bermbreedte B is aangehouden dat die breder moet zijn dan de significante golfhoogte H_s om te kunnen spreken van een berm: $B > H_s$.

Diverse in de literatuur gevonden adviezen stellen dat de hydraulische belasting op bermen rond de waterlijn, of op zeer brede bermen, aanzienlijk minder is dan op doorgaande taluds. Het is de verwachting dat bij brede bermen de belasting aan de voorrand (zeewaartse rand) nog vrij groot is, maar dat verder naar achteren (richting het boventalud) de belasting steeds verder afneemt.

Hoewel in de literatuur wel enkele kwalitatieve verbanden zijn gevonden, zijn geen kwantitatieve formules gevonden voor het berekenen van de hydraulische belasting op de asfaltbekleding op bermen, terwijl daar wel behoefte aan is. Daarom is besloten om dit aspect te onderzoeken en te kwantificeren op basis van beschikbare metingen. Hiervoor zijn metingen beschikbaar uit 1992 (De Waal, 1992), die voor steenzettingen al eerder zijn gebruikt door Mourik en Klein Breteler (2012).

Het verschil tussen de hydraulische belasting op doorgaande taluds en op bermen is relevant voor het toetsen en ontwerpen van asfaltbekledingen op bermen. Daarbij wordt tot nu toe op bermen gerekend met de hydraulische belasting die optreedt op een doorgaand talud zonder berm. De nieuw te ontwikkelen formules laten naar verwachting zien dat de hydraulische belasting op asfaltbermen veel kleiner is dan die op doorgaande taluds waarmee tot nu toe wordt gerekend.

Overigens moet worden opgemerkt dat de belasting op een asfaltbekleding op een berm niet alleen bestaat uit golfklappen. Wanneer een berm zich onder de stilwaterlijn bevindt, kunnen er ook statische stijghoogteverschillen ontstaan, die het asfalt kunnen doen opbarsten. Daarnaast kan verkeersbelasting optreden als de berm zich boven de stilwaterlijn bevindt. Ook met deze, soms wellicht meer maatgevende, belastingen moet bij het toetsen en ontwerpen van asfaltbekledingen op bermen rekening gehouden worden.

Hoewel het onderhavige rapport specifiek betrekking heeft op de hydraulische belasting op de 'asfaltbekleding op de berm', wordt de asfaltbekleding op de berm in dit rapport ook wel kortweg aangeduid als 'berm' of 'asfaltberm'.

Het onderhavige onderzoek is uitgevoerd in het kader van het meerjarige project 'Advisering steenbekledingen Zeeland' voor het Projectbureau Zeeweringen (PBZ). Dit projectbureau is opgericht ten behoeve van de renovatie van de steenzettingen in Zeeland en is een samenwerking van Rijkswaterstaat Zeeland en het Waterschap Scheldestromen. Contractueel is Rijkswaterstaat WVL de opdrachtgever namens PBZ voor het onderhavige

onderzoek. Het deel van het project dat gericht is op kennisontwikkeling sluit aan op het Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen dat uitgevoerd is in de periode van 2003-2009 in opdracht van de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van Rijkswaterstaat namens PBZ.

1.2 Doel

Het doel van het onderhavige onderzoek is het ontwikkelen van een invloedsfactor waarmee de ruimtelijke verdeling van de hydraulische belasting op asfaltbermen berekend kan worden, uitgaand van de hydraulische belasting op doorgaande taluds. De invloedsfactor voor de hydraulische belasting op de asfaltbekleding op berm dient waar nodig rekening te houden met de golfcondities, het waterniveau ten opzichte van de berm en de geometrie van de berm.

De invloedsfactor is bedoeld voor gebruik in het rekenmodel Golfklap, dat gebruikt wordt voor het beoordelen van asfaltbekledingen. In het rekenmodel Golfklap worden onder andere de volgende twee aspecten van de hydraulische belasting onderscheiden: 1) het aantal golfklappen, en 2) de grootte van de golfklappen. Om daarop aan te sluiten, wordt in het onderhavige rapport voor beide aspecten een afzonderlijke invloedsfactor ontwikkeld. In Golfklap wordt niet gekeken naar golffronten, omdat wordt verondersteld dat deze nauwelijks invloed hebben op de stabiliteit van asfaltbekledingen.

De twee invloedsfactoren zijn als volgt gedefinieerd:

- Invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$: de verhouding tussen het aantal golfklappen op een willekeurig stukje van de berm (van dit stukje is de zeewaartse zijde aangeduid met Z en de landwaartse zijde met L) en het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud. De bermzone betreft de verticale zone waarbinnen de berm ligt.
- Invloedsfactor $f_{B,p}$: de verhouding tussen de golfklapgrootte (piekdruk op het asfalt) op de berm en de golfklapgrootte in de bermzone van een doorgaand talud.

Gedurende de analyse is gebleken dat het zeer gecompliceerd is om de grootte en de ruimtelijke verdeling van de hydraulische belasting op bermen te beschrijven door middel van formules. Op basis van de gebruikte meetdata, met een beperkte range aan geometrieën en hydraulische condities en een beperkt aantal proeven en drukopnemers, is voornamelijk gekozen voor het afleiden van conservatieve invloedsfactoren. Opgemerkt wordt dat de ontwikkelde invloedsfactoren overigens al een veel kleinere hydraulische belasting opleveren dan de belasting waarmee tot nu toe wordt gerekend op asfaltbermen. Voornamelijk wordt op asfaltbermen immers gerekend met de hydraulische belasting die optreedt op een doorgaand talud zonder berm.

Met de invloedsfactoren kan de belasting op de berm berekend worden, uitgaand van de belasting in de bermzone van een doorgaand talud zonder berm. Om ten aanzien van de golfklapgrootte een conservatieve invloedsfactor te krijgen, is bij het afleiden van die invloedsfactor bij doorgaande taluds vooral gebruikgemaakt van kleine opgetreden belastingen en op de bermen vooral van grote belastingen. Dit resulteert in een relatief klein verschil tussen doorgaande taluds en bermen, waardoor de invloed van de berm niet wordt overschat.

1.3 Opzet van het onderzoek

De invloedsfactoren zijn gebaseerd op de analyse van drukmetingen van proeven, die in 1992 zijn uitgevoerd door De Waal (1992) in de Scheldegoot van het voormalige Waterloopkundig Laboratorium (tegenwoordig Deltares). In totaal zijn van 73 proeven de meetdata geanalyseerd. Daarvan zijn 13 proeven uitgevoerd met een doorgaand talud en 60 proeven met een berm in het talud. De proeven zijn uitgevoerd met verschillende golfcondities, waterniveaus ten opzichte van de berm, taludhellingen en bermbreedtes. De drukken op het talud zijn gemeten met maximaal 35 drukopnemers, die in een rij, loodrecht op de waterlijn, verzonken in het talud waren aangebracht. De modelopstelling en het proevenprogramma zijn beschreven in hoofdstuk 2.

In hoofdstuk 3 zijn de drukmetingen eerst per proef verwerkt tot een behapbare hoeveelheid data: voor elke proef is per golf bekeken of sprake was van een golfklap en zo ja, hoe groot die was en op welke locatie die optrad. Dat resulteert per proef in een ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen en een ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte over het talud.

Voor het bepalen van de invloedsfactoren is vervolgens in de hoofdstukken 4 (m.b.t. aantal golfklappen) en 5 (m.b.t. grootte van de golfklappen) enerzijds de belasting op doorgaande taluds bepaald. Anderzijds is de ruimtelijke verdeling van de belasting op de bermen bepaald, als functie van de golfcondities, het waterniveau ten opzichte van de berm en de geometrie van de berm. De invloedsfactoren ontstaan vervolgens simpelweg door het aantal golfklappen en de klapgrootte op de berm te delen door die in de bermzone van doorgaande taluds.

2 Modelopstelling en proevenprogramma

2.1 Algemeen

In het modelonderzoek van 1992 is voor diverse geometrieën onderzoek gedaan naar onder andere de ruimtelijke verdeling van de druk op het talud, golfoploop en golfoverslag. Wat betreft de geometrie van de constructies werd gevarieerd in de taludhelling (1:3 of 1:4), de bermbreedte (0,40 m, 1,00 m of geen berm) en het voorland (wel of niet aanwezig). In het onderhavige onderzoek worden uitsluitend de proevenseries zonder verhoogd voorland beschouwd. Tevens blijven de golfoploop- en golfoverslagmetingen buiten beschouwing.

Het modelonderzoek van De Waal (1992) is uitgevoerd in de Scheldegoot van het voormalige Waterloopkundig Laboratorium (tegenwoordig Deltares). Deze golfgoot voor 2-dimensionaal onderzoek had een lengte van 55 m, een breedte van 1,00 m en een hoogte van 1,20 m. Alle in dit rapport vermelde afmetingen zijn modelwaarden, tenzij uitdrukkelijk anders vermeld wordt.

2.2 Geometrie modelopstelling

In het kader van dit onderzoek zijn 6 proevenseries uit het modelonderzoek van De Waal relevant. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de uitgevoerde proevenseries met de bijbehorende bermbreedte en taludhelling.

Proevenserie	Bermbreedte	Talud
3000-serie	0,00 m	1:3
3100-serie	0,40 m	
3200-serie	1,00 m	
4000-serie	0,00 m	1:4
4100-serie	0,40 m	
4200-serie	1,00 m	

Tabel 2.1 Overzicht van de geometrie van de modelopstelling per proevenserie.

Indien een berm aanwezig was, had die een helling van 1:15. De zeewaartse rand van de berm had in alle gevallen een hoogte van 0,60 m ten opzichte van de gootbodem. Een overzicht van de beproefde modelopstellingen is gegeven in bijlage B.1 en B.2. Afwijkingen in de geometrie bedragen minder dan 1 mm.

2.3 Proevenprogramma

Naast de variaties in de geometrie van de modelopstelling werd tijdens de proevenseries gevarieerd in de hydraulische parameters h (waterdiepte), H_s (significante golfhoogte) en s_{op} (golfsteilheid). Een overzicht van het proevenprogramma is gegeven in de bijlagen A.1 en A.2 in de kolommen onder 'Randvoorwaarden'. In die tabellen is per proef ook de waterdiepte op de berm d_b gegeven, ter plaatse van de zeewaartse rand van de berm (in het vervolg van dit rapport kortweg aangeduid als 'waterdiepte op de berm'). De waterdiepte op de berm is als volgt gedefinieerd:

$$d_B = h - z_B \quad (2.1)$$

Met:

d_B = waterdiepte op de berm, ter plaatse van de zeewaartse rand van de berm (positief = berm ligt onder stilwaterlijn; negatief = berm ligt boven stilwaterlijn) (m)

h = waterdiepte (niveau van de stilwaterlijn ten opzichte van de gootbodem) (m)

z_B = niveau van de zeewaartse rand van de berm ten opzichte van de gootbodem (m)

In de bijlagen zijn de randvoorwaarden van diverse proeven rood gemarkeerd. De meetdata van die proeven zijn helaas niet meer volledig beschikbaar.

De meetdata van de in 1992 uitgevoerde proeven zijn in de loop der tijd opgeslagen en gearhiveerd op enkele cd-rom's. De meetdata van proeven uit de 4000-serie en een deel van de 3100- en 4100-series bleken beschadigd en niet meer volledig inleesbaar. Diverse pogingen om de data toch weer zichtbaar te maken, leverden uiteindelijk niet het gewenste resultaat op. Daarom is besloten deze proeven in het vervolg van de analyse buiten beschouwing te laten. Van de overige proeven zijn de meetdata wel volledig beschikbaar.

Binnen de beschikbare proeven werd de waterdiepte gevarieerd tussen $h = 0,52$ m en $0,76$ m ten opzichte van de gootbodem. De golfhoogte werd gevarieerd tussen $H_s = 0,099$ m en $0,196$ m. En de golfsteilheid werd gevarieerd tussen $s_{op} = 0,010$ en $0,041$.

2.4 Metingen

In het onderzoek van De Waal (1992) werden zowel drukken op het talud, hydraulische condities op geruime afstand van het talud, golfoploop op en golfoverslag over het dijkprofiel gemeten. In het kader van het onderhavige onderzoek worden uitsluitend de drukmetingen en de metingen van de hydraulische condities beschouwd.

2.4.1 Drukken

De ruimtelijke verdeling van de stijghoogte over het talud werd gemeten met drukopnemers (DRO's). De drukopnemers bevonden zich in kokers, die verzonken in het talud waren aangebracht: een koker in het ondertalud, een koker in het boventalud en, indien van toepassing, een koker in de berm.

De kokers waren in elkaars verlengde in het talud geplaatst, in de hartlijn van de goot. Ze vormden tezamen de leiding voor de kabels tussen de drukopnemers en de registratie-apparatuur. De kokers werden afgedekt met afdekplaten, die exact in het vlak van het talud en de berm lagen. In deze afdekplaten waren de drukopnemers precies in het vlak van het talud en de berm gemonteerd. Er werden diverse voorgeboorde meetplaten gebruikt, met gaten h.o.h. 40 mm. De gaten hadden een diameter van 16 mm. Vanwege het beperkte aantal meetversterkers kon van maximaal 35 drukopnemers het signaal geregistreerd worden. In de gaten waarin geen drukopnemers werden gemonteerd, werden zogenaamde dummy's geplaatst, zodat alle gaten nauwkeurig waren opgevuld.

Gedurende de proevenseries werd gevarieerd in de locaties van de drukopnemers. In de bijlagen B.3 en B.4 is voor de beschikbare proeven een overzicht gegeven van de drukopnemerlocaties (rode stippen) op het talud (zwarte lijn). In die bijlagen is tevens per situatie aangegeven bij welke waterstanden is getest.

Voorafgaand aan de proeven zijn de drukopnemers bij stil water op nul gezet. Hierdoor wordt door de drukopnemers onder water in principe de relatieve stijghoogte ten opzichte van de stilwaterlijn (SWL) gegeven. Voor de drukopnemers boven water geldt dat ze de stijghoogte ten opzichte van de plaatshoogte van de betreffende drukopnemer weergeven. De combinaties drukopnemer-meetversterker werden zodanig geijkt dat bij verschillende waterstanden de verschillen in de meetsignalen voor alle kanalen even groot waren. In alle proeven werd bemonsterd met een frequentie van 50 Hz.

2.4.2 Hydraulische condities

Er is gebruik gemaakt van 2 golfhoogtemeters (GHM's) om de inkomende en gereflecteerde golfcondities tijdens de proevenseries te meten. De GHM's waren halverwege het golfschot en de constructie geplaatst. Alle proeven werden uitgevoerd met een standaard JONSWAP-spectrum ($\gamma = 3,3$).

Afwijkingen in de gemeten golfhoogte ten opzichte van de gewenste golfhoogte zijn kleiner dan 5 mm. Afwijkingen in de golfperiode bedragen minder dan 0,1 sec. Bij grotere afwijkingen werd de proef herhaald met verbeterde instellingen van de golfschotsturing.

3 Verwerking drukmetingen tot belastingverdeling over talud

3.1 Voorbewerking van de ruwe drukmeetdata

Per proef is voor elke drukopnemer (DRO) een tijdserie ruwe drukmetingen beschikbaar. Voorafgaand aan de analyse van de drukmetingen zijn enkele voorbereidingen van de ruwe meetdata noodzakelijk. Ondanks een nauwkeurige ijking van de drukopnemers en een zorgvuldige kwaliteitsbewaking tijdens de uitvoering van de proeven is het noodzakelijk de ruwe meetdata te controleren en waar nodig te corrigeren. Eventuele afwijkingen zijn opgespoord door visualisatie van de druksignalen. Enkele belangrijke correcties zijn:

- In de ruwe meetdata van de drukopnemers zijn als gevolg van kortdurende storingen op het meetsignaal in enkele gevallen grote pieken zichtbaar gedurende één meetsample, terwijl uit de omliggende meetdata opgemaakt kan worden dat toen naar alle waarschijnlijkheid geen golfklap is opgetreden. Deze pieken kunnen zowel een mechanische als elektronische oorzaak hebben. De betreffende pieken geven onterechte waarden en zijn derhalve vervangen door het gemiddelde van de gemeten druk direct voor en na de piek.
- In enkele gevallen vertoont een drukopnemer tijdens de proef een constant signaal en heeft dus geen drukken gemeten. Het meetsignaal van dergelijke drukopnemers is uit de ruwe meetdata verwijderd.
- Ondanks nauwkeurige ijking van de drukopnemers komt het soms voor dat een drukopnemer gedurende een proef structureel een iets te hoge of te lage waarde weergeeft. Bij dergelijke drukopnemers zijn de gemeten drukken gedurende de gehele proef structureel verhoogd of verlaagd met het vastgestelde verschil.
- In enkele gevallen heeft een drukopnemer in de loop van een proef enige tijd niet goed gefunctioneerd, waardoor de drukopnemer een min of meer constant meetsignaal vertoont. Omdat in de verdere analyse een drukopnemer alleen beschouwd kan worden als het meetsignaal van de volledige proef aanwezig is, is besloten deze verstoorde stukjes niet uit het signaal te knippen, maar te vervangen door het druksignaal van de eronder of erboven liggende drukopnemer of het gemiddelde daarvan, afhankelijk van de druksignalen van die drukopnemers.

3.2 Selectie van golfklappen, golfklaplocaties en golfklapgroottes met ANALYSEWAVE

De hoeveelheid drukmetingen is zeer omvangrijk: tijdens elke proef is met elke drukopnemer elke 0,02 seconden de druk gemeten en geregistreerd. Voor het bepalen van de invloedsfactoren voor het aantal golfklappen en de golfklapgrootte op bermen, is het noodzakelijk deze grote hoeveelheid data eerst te reduceren tot een behapbare hoeveelheid data.

Met het oog op het bepalen van de invloedsfactoren is per proef toegewerkt naar een ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen en een ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte over het talud en de berm. Daartoe is voor elke proef per golf bekeken of er sprake is van een golfklap en zo ja, hoe groot de klap is en op welke locatie de klap optreedt. Als maat voor de grootte van de golfklap is gewerkt met de maximale drukhoogte tijdens een golfklap op het talud: p_{\max} (m waterkolom). In de rest van dit rapport is de drukhoogte kortweg

aangeduid als druk. Het aantal golven N en het aantal golfklappen N_{klap} is weergegeven in de bijlagen A.1 en A.2 in de kolommen onder 'Resultaat ANALYSEWAVE'.

Voor het bepalen van de golfklappen en de bijbehorende locatie en druk is gebruikgemaakt van de door Deltares ontwikkelde golfanalysesoftware ANALYSEWAVE. De documentatie van deze software is te vinden in bijlage G van Klein Breteler e.a. (2012).

ANALYSEWAVE is door Klein Breteler e.a. (2012) ontwikkeld voor het analyseren van meetdata van onder de stilwaterlijn gelegen drukopnemers. Het is in staat golven te onderscheiden en per golf te beoordelen of een golfklap optreedt. Voor elk geregistreerde golffront en voor elke golfklap wordt een groot aantal karakteristieke parameters bepaald. Een lijst van alle golffronten en een lijst van alle golfklappen met bijbehorende karakteristieken wordt door ANALYSEWAVE gegeven als uitvoer.

Hoewel ANALYSEWAVE specifiek is ontwikkeld voor het analyseren van drukopnemers onder de stilwaterlijn, kan het voor dit specifieke onderzoek ook gebruikt worden voor drukopnemers boven de stilwaterlijn. Het onderscheiden van golven en selecteren van golfklappen kan ANALYSEWAVE zowel voor drukopnemers onder als boven de stilwaterlijn. Ook het bepalen van de golfklaplocatie en golfklapgrootte (p_{max}) is na een kleine aanpassing in de software zowel boven als onder de stilwaterlijn mogelijk. Alleen voor het bepalen van de overige karakteristieken van de golfklappen en golffronten kan ANALYSEWAVE geen gebruikmaken van de drukopnemers boven de stilwaterlijn.

De kleine aanpassing in de software betreft dat bij drukopnemers boven de stilwaterlijn de plaatshoogte niet moet worden opgeteld bij de gemeten druk om te komen tot p_{max} , terwijl ANALYSEWAVE de plaatshoogte standaard wél bij alle drukopnemers optelt (voor drukopnemers onder water, waarvoor de software is ontwikkeld, is dat correct, maar voor drukopnemers boven water niet).

Van de mogelijkheid om ANALYSEWAVE te gebruiken voor drukopnemers boven de stilwaterlijn is gebruikgemaakt voor de proeven waarbij de stilwaterlijn gelijk is aan de zeewaartse rand van de berm (voortaan aangeduid als: stilwaterlijn gelijk aan de berm). Voor overige proeven is het niet relevant om hoger gelegen drukopnemers te analyseren, omdat de golffronten en golfklappen alleen onder de stilwaterlijn plaatsvonden. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de situaties die in de analyse onderscheiden kunnen worden ten aanzien van het waterstandsniveau ten opzichte van de berm. Per situatie is aangegeven welke drukopnemers (DRO's) in ANALYSEWAVE geanalyseerd zijn.

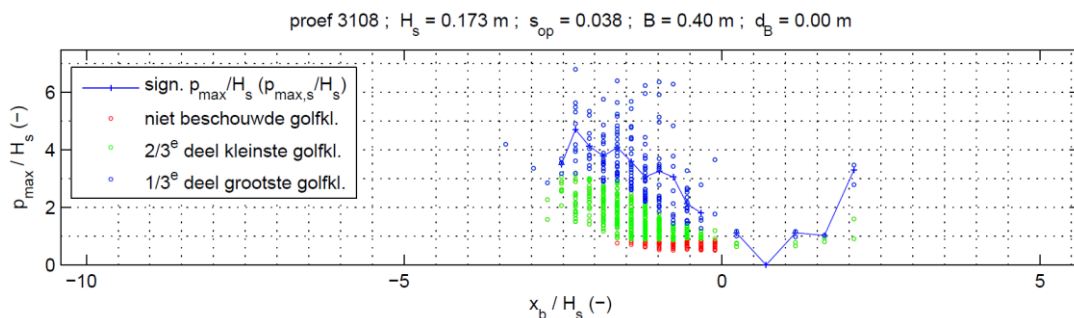
Situatie	Geanalyseerde DRO's
Doorgaand talud	alleen de DRO's onder SWL
SWL boven de berm	alleen de DRO's onder SWL (waaronder DRO's op de berm)
SWL gelijk aan de berm	de DRO's onder SWL + de DRO's op de berm
SWL onder de berm	alleen de DRO's onder SWL

Tabel 3.1 Overzicht van situaties en geanalyseerde drukopnemers.

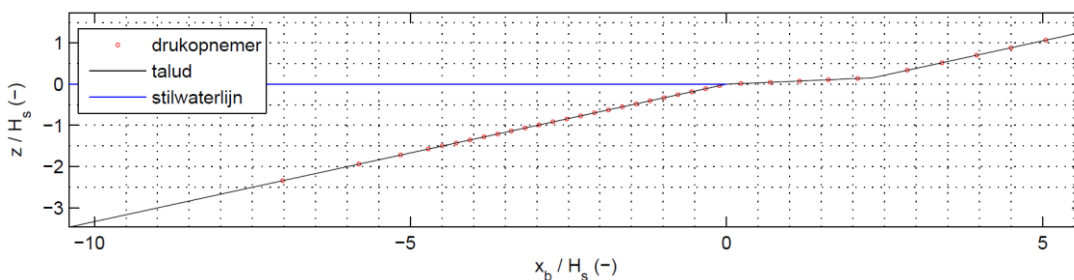
Uit de golfklapuitvoertabellen van ANALYSEWAVE is ten aanzien van de locatie van de golfklappen de $x_{\phi_{\text{max}}}$ (m) geselecteerd (kolom 6). $x_{\phi_{\text{max}}}$ betreft de locatie op het talud waar p_{max} optreedt. Voor de grootte van de golfklappen is p_{max} (m waterkolom) geselecteerd (kolom 67).

3.3 Verdeling van de golfklapgrootte over het talud

De door ANALYSEWAVE geregistreerde golfklappen zijn voor alle proeven grafisch weergegeven in de bijlagen C.1 t/m C.73, zie steeds de bovenste grafiek. De grafiek daaronder toont steeds de geometrie van de modelopstelling, de waterstand en de locaties van alle aanwezige drukopnemers. Ter illustratie zijn voor een willekeurige proef, proef 3108, beide grafieken weergegeven in Figuur 3.1 en Figuur 3.2.



Figuur 3.1 Grafische weergave van de door ANALYSEWAVE geregistreerde golfklappen tijdens proef 3108. De horizontale as geeft de horizontale locatie ten opzichte van de zeevaartse rand van de berm, dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte: $x_b/H_s (-)$. De verticale as geeft de druk op het talud, dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte: $p_{max}/H_s (-)$.



Figuur 3.2 Grafische weergave van de modelopstelling, de waterstand en alle aanwezige drukopnemers tijdens proef 3108. De horizontale as geeft de dimensieloze horizontale locatie ten opzichte van de zeevaartse rand van de berm: $x_b/H_s (-)$. De verticale as geeft de dimensieloze verticale locatie ten opzichte van de stilwaterlijn: $z/H_s (-)$.

Elk meetpunt in Figuur 3.1 (zowel rood, groen als blauw) geeft een door ANALYSEWAVE geregistreerde golfklap weer. Om proeven met verschillende golfhoogtes onderling te kunnen vergelijken, is de druk op het talud, p_{max} , dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte: $p_{max}/H_s (-)$. In overeenstemming daarmee is ook de geometrie van de modelopstelling verschaald met de significante golfhoogte, wat resulteert in een horizontale locatie $x_b/H_s (-)$ en een verticale locatie $z/H_s (-)$.

Merk op dat bij proeven met een berm de horizontale locatie (x_b) is gegeven ten opzichte van de zeevaartse rand van de berm. Bij proeven met een doorgaand talud is de horizontale locatie (x) gegeven ten opzichte van het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn.

De golfklappen zijn weergegeven door middel van diverse kleuren meetpunten:

- **Groene en blauwe versus rode meetpunten:**
In eerste instantie wordt onderscheid gemaakt tussen enerzijds de groene en blauwe meetpunten en anderzijds de rode meetpunten. De groene en blauwe meetpunten zijn wel beschouwd in de analyse, terwijl de rode punten buiten beschouwing blijven.

Tijdens de analyse viel op dat vlak onder de waterlijn soms beduidend meer klappen waren geregistreerd dan verwacht zou worden. Nadere bestudering van de druksignalen van de betreffende drukopnemers leerde vervolgens dat sommige kleine 'golfklappen' in werkelijkheid ruis op het meetsignaal betreffen en dus onterecht als golfklap waren aangemerkt. Uit bestudering van de meetsignalen van diverse proeven met verschillende golfcondities blijkt dat dit vooral het geval is bij schijnbare golfklappen op het talud met globaal $p_{\max} < 0,15$ m. Golfklappen op het talud met $p_{\max} < 0,15$ m zijn daarom rood gemarkeerd en verder niet meer beschouwd in de analyse. Op de berm worden kleine golfklappen niet buiten beschouwing gelaten. Hier blijken kleine golfklappen doorgaans wel echte golfklappen te zijn.

Er is niet gekozen voor de optie om uit alle meetdata de ruis weg te filteren, omdat dan ook kortdurende grote piekdrukken in echte golfklappen sterk verkleind worden, terwijl die ten aanzien van de belasting van het asfalt juist een belangrijke rol spelen.

Het niet beschouwen van de rood gemarkeerde golfklappen heeft overigens geen tot zeer weinig invloed op de eindresultaten van dit onderzoek, maar geeft wel een meer realistische verdeling van de golfbelasting over het talud.

- *Groene versus blauwe meetpunten:*

Vervolgens wordt onderscheid gemaakt tussen de groene en blauwe meetpunten. De blauwe meetpunten betreffen golfklappen waarop de ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte is gebaseerd, dat is gebruikt in de verdere analyse (zie de blauwe lijn). De groene meetpunten betreffen de overige golfklappen.

Voor de stabiliteit van asfalt zijn vooral grote golfklappen relevant. Het ligt daarom voor de hand om de verdeling van de golfklapgrootte te baseren op bijvoorbeeld de significante druk (het gemiddelde van het grootste 1/3^e deel van de golfklappen: $p_{\max,s}$), de $p_{\max,10\%}$ of $p_{\max,2\%}$ (de druk p_{\max} met een overschrijdingspercentage van respectievelijk 10 en 2 procent).

Omdat bij de meeste proeven maar weinig klappen zijn opgetreden op de berm, is het vaak niet mogelijk om op de berm een 2%-waarde te bepalen, en in iets mindere mate geldt dat ook voor de 10%-waarde. Significante waarden van de druk zijn veel vaker te bepalen en geven bij weinig golfklappen doorgaans een wat meer representatieve en vloeiende verdeling van de golfklapgrootte op de berm. Gebruik van de significante druk heeft om die reden de voorkeur.

In de onderhavige analyse wordt gezocht naar de verhouding tussen de golfklapgrootte op de berm en die op doorgaande taluds. Die verhouding is zowel bij gebruik van p_{\max} , $p_{\max,10\%}$ als $p_{\max,2\%}$ naar verwachting vergelijkbaar.

Teneinde de verdeling van de significante druk over het talud te kunnen bepalen, is voor elke afzonderlijke drukopnemer het 1/3^e deel grootste golfklappen ($N_{\text{klap}}/3$, naar boven afgerond op hele golfklappen) weergegeven met blauw meetpunten. Het 2/3^e deel kleinste golfklappen is weergegeven met groene meetpunten.

De ruimtelijke verdeling van de dimensieloze significante druk over het talud is weergegeven door middel van de blauwe lijn. De significante druk betreft conform de definitie het gemiddelde van het 1/3^e deel grootste golfklappen. Voor het bepalen van de significante druk zijn per drukopnemer derhalve minimaal 3 golfklappen nodig. Doordat op de berm echter regelmatig minder dan 3 golfklappen optreden, kan daar niet altijd een significante druk bepaald worden. Daarom is op de berm, bij minder dan 3 golfklappen per drukopnemer, de maximaal geregistreerde druk (het bovenste meetpunt) aangehouden voor het tekenen van

de blauwe lijn. Hoewel dergelijke lijnstukjes dus geen significante druk weergeven, wordt dit in de rest van het rapport wel gemakshalve aangeduid als significante druk.

Hoewel drukopnemers met slechts enkele golfklappen op de berm niet buiten beschouwing worden gelaten, is dat op het ondertalud wel gedaan: wanneer op het ondertalud weinig golfklappen per drukopnemer optreden, is er wél voor gekozen om betreffende drukopnemers verder buiten beschouwing te laten, omdat op het ondertalud alsnog relatief veel golfklappen overblijven. Om te voorkomen dat de verdeling van de golfklapgrootte op het ondertalud teveel door toeval wordt beïnvloed, is de blauwe lijn alleen getekend als tenminste 6 golfklappen per drukopnemer optreden, ofwel als $N_{\text{klap}}/3 \geq 2$.

Voor de boventaluds is de blauwe lijn bepaald op dezelfde wijze als voor de bermen. De boventaluds worden bij het bepalen van de invloedsfactor ten aanzien van de golfklapgrootte verder overigens niet beschouwd.

Wanneer bij een drukopnemer op de berm maar net iets meer dan 3 golfklappen optreden, heeft de wijze waarop $p_{\text{max},s}$ bepaald wordt relatief grote invloed op de hoogte van de blauwe lijn. Wanneer bij een drukopnemer op de berm meer dan 3 golfklappen zijn geregistreerd, is $p_{\text{max},s}$ (het gemiddelde van het grootste 1/3^e deel van de piekdrukken) voor die drukopnemer als volgt bepaald:

Wanneer bijvoorbeeld 5 golfklappen optreden, is 1/3^e deel daarvan theoretisch gelijk aan 1,67 golfklappen. Bij het bepalen van $p_{\text{max},s}$ is ervoor gekozen om de p_{max} van de grootste golfklap volledig mee te tellen (dus met een weegfactor gelijk aan 1,0), en de p_{max} van de op-een-na grootste golfklap gedeeltelijk (met een weegfactor gelijk aan 0,67). Dat resulteert in dit geval in een $p_{\text{max},s}$ die gelijk is aan het gewogen gemiddelde van 1,0 maal de p_{max} van de grootste golfklap en 0,67 maal de p_{max} van de op-een-na grootste golfklap.

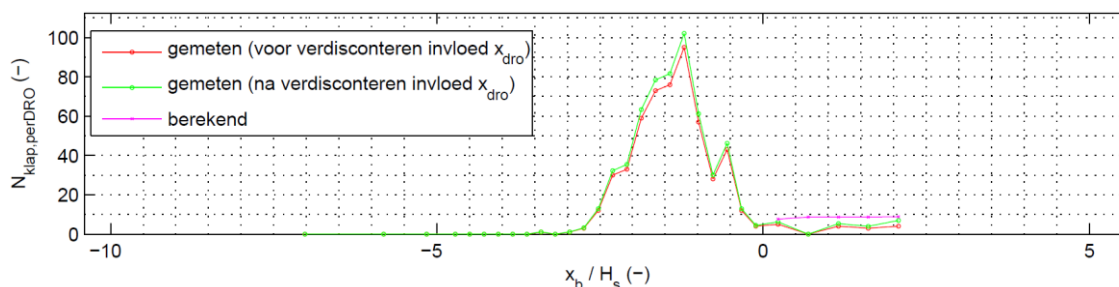
Deze methode is ook aangehouden voor het berekenen van $p_{\text{max},s}$ wanneer meer golfklappen optreden. Zo is bijvoorbeeld bij 31 golfklappen 1/3^e deel daarvan theoretisch gelijk aan 10,33 golfklappen. De $p_{\text{max},s}$ is dan gelijk aan het gewogen gemiddelde van de p_{max} van de hoogste 10 golfklappen met een weegfactor gelijk aan 1,0 en de p_{max} van de op-tien-na-hoogste golfklap met een weegfactor gelijk aan 0,33.

3.4 Verdeling van het aantal golfklappen over het talud

Voor het bepalen van de invloedsfactor ten aanzien van het aantal golfklappen (in hoofdstuk 4) moet voor elke proef worden nagegaan waar deze golfklappen op de berm zijn opgetreden, m.a.w. hoe de ruimtelijke verdeling over de berm is. Voor de in paragraaf 3.3 getoonde proef 3108 is deze verdeling bepaald door in Figuur 3.1 per drukopnemer het aantal groen en blauw gemarkeerde golfklappen bij elkaar op te tellen. De rood gemarkeerde golfklappen blijven buiten beschouwing. De verdeling van dit aantal golfklappen van proef 3108 is weergegeven in Figuur 3.3, door middel van de rode lijn. De groene en magenta lijn worden verderop in dit rapport toegelicht.

De horizontale as bevat, net als in Figuur 3.1, de horizontale locatie ten opzichte van de zee-waartse rand van de berm, dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte: x_b/H_s (-). De verticale as geeft het aantal golfklappen per drukopnemer: $N_{\text{klap,perDRO}}$ (-). In deze figuur valt op dat er vrijwel geen golfklappen op de berm optreden ($0 < x_b/H_s < 2$). Dit komt doordat de stilwaterlijn ter hoogte van de berm ligt.

De ruimtelijke verdeling van $N_{\text{klap,perDRO}}$ is voor alle proeven weergegeven in elke onderste grafiek van de bijlagen C.1 t/m C.73.



Figuur 3.3 De ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen over het talud (proef 3108). De horizontale as geeft de horizontale locatie ten opzichte van de zeewaartse rand van de berm, dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte: x_b/H_s (-). De verticale as geeft het aantal golfklappen per drukopnemer $N_{klap,perDRO}$ (-).

3.5 Invloed van de drukopnemerafstand op de gemeten golfbelasting

3.5.1 Algemeen

Het ligt voor de hand dat de drukopnemerdichtheid op het talud invloed heeft op de grootte van de gemeten golfbelasting. Naarmate de taludlengte waarop een drukopnemer betrekking heeft groter wordt, is te verwachten dat de gemeten drukpiek lager wordt en dat een toenemend aantal golfklappen niet door de drukopnemers wordt opgemerkt, doordat ze te ver bij de drukopnemer vandaan optreden. De golfbelasting kan daardoor onderschat worden. In deze paragraaf is onderzocht of, en zo ja hoe, hiervoor gecorrigeerd moet worden.

De taludlengte waarop een drukopnemer betrekking heeft, is in het vervolg van deze analyse aangeduid als de drukopnemerafstand x_{dro} (m, gemeten langs het talud). De drukopnemerafstand x_{dro} is gedefinieerd als de afstand vanaf het midden tussen de betreffende drukopnemer en de zeewaarts gelegen drukopnemer tot aan het midden tussen de betreffende drukopnemer en de landwaarts gelegen drukopnemer.

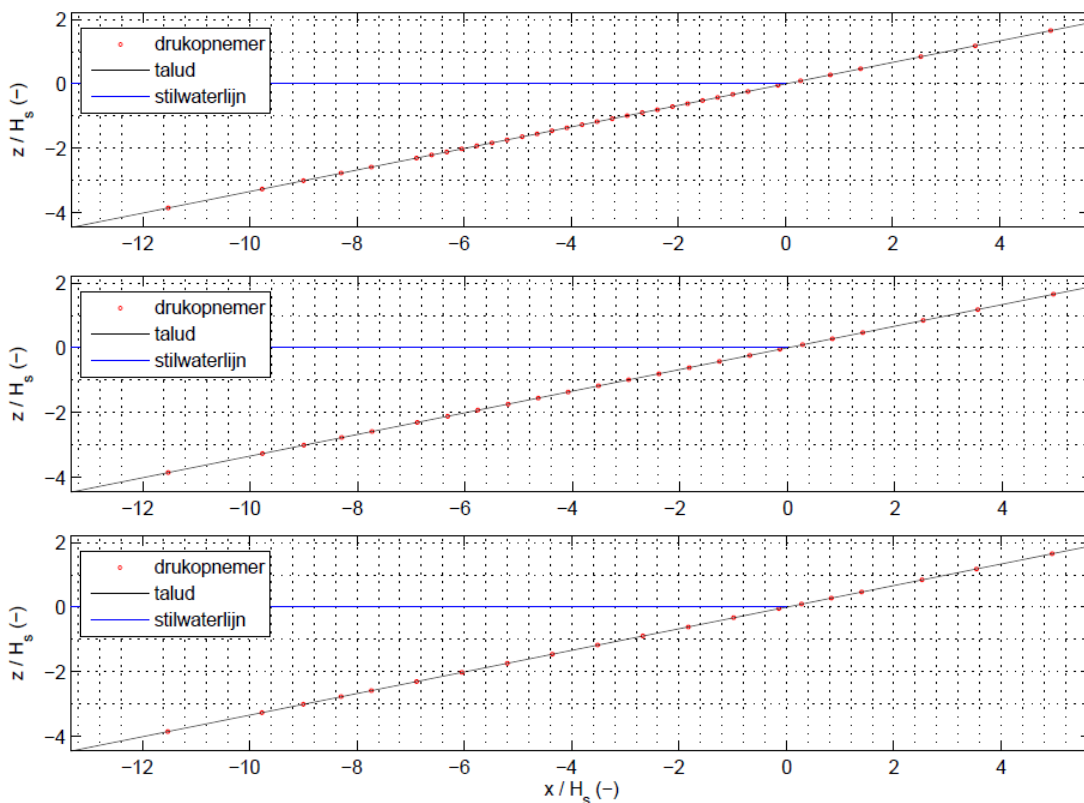
De invloed van de drukopnemerafstand op de golfklapgrootte is onderzocht in paragraaf 3.5.2. De invloed op het aantal golfklappen is onderzocht in paragraaf 3.5.3.

De invloed van de drukopnemerafstand is bepaald door meerdere proeven met een kleine drukopnemerafstand driemaal met ANALYSEWAVE te analyseren (zie Figuur 3.4): eenmaal met alle drukopnemers, eenmaal waarbij in de golfklapzone steeds de meetdata van één drukopnemer er tussenuit is gelaten, en eenmaal waarbij er steeds twee drukopnemers tussenuit gelaten zijn.

Hiervoor zijn uitsluitend de proeven met een doorgaand talud gebruikt, omdat deze in de golfklapzone een kleine drukopnemerafstand hebben en er geen invloed van de berm is.

Bij de proeven met een doorgaand talud is de drukopnemerafstand x_{dro} in de golfklapzone steeds 4 cm (zie Figuur 3.4, boven). In Figuur 3.4, midden en onder, is x_{dro} in de golfklapzone respectievelijk 8 en 12 cm.

Behalve de drukopnemerafstand heeft ook de bemonsteringsfrequentie invloed op de gemeten golfbelasting. De invloed van de bemonsteringsfrequentie is in het onderhavige onderzoek echter niet relevant, doordat gezocht wordt naar de verhouding tussen de golfbelasting op doorgaande taluds en die op bermen, terwijl de bemonsteringsfrequentie tijdens alle proeven gelijk was.

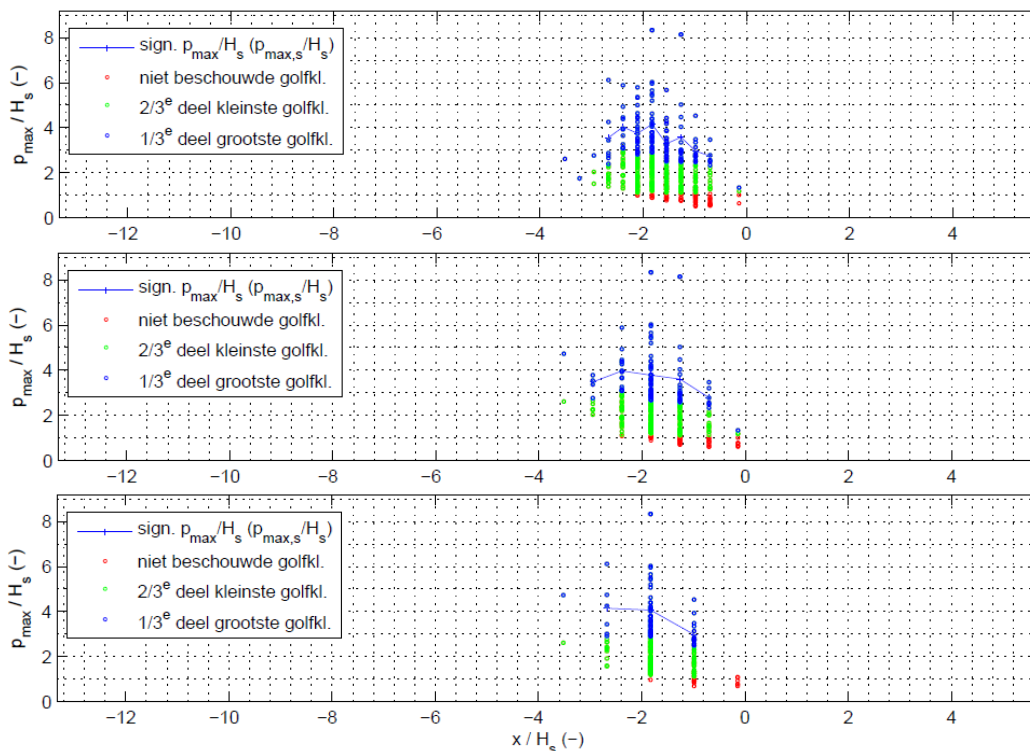


Figuur 3.4 De invloed van drukopnemerafstand is bepaald door meerdere proeven met een kleine drukopnemerafstand driemaal met ANALYSEWAVE te analyseren: eenmaal met alle drukopnemers (boven), eenmaal waarbij in de golfklapzone steeds de meetdata van één drukopnemer er tussenuit is gelaten (midden), en eenmaal waarbij er steeds twee drukopnemers tussenuit gelaten zijn (onder). De horizontale as geeft de horizontale locatie ten opzichte van het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn, dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte: x/H_s (-)

3.5.2 Invloed van de drukopnemerafstand op de golfklapgrootte

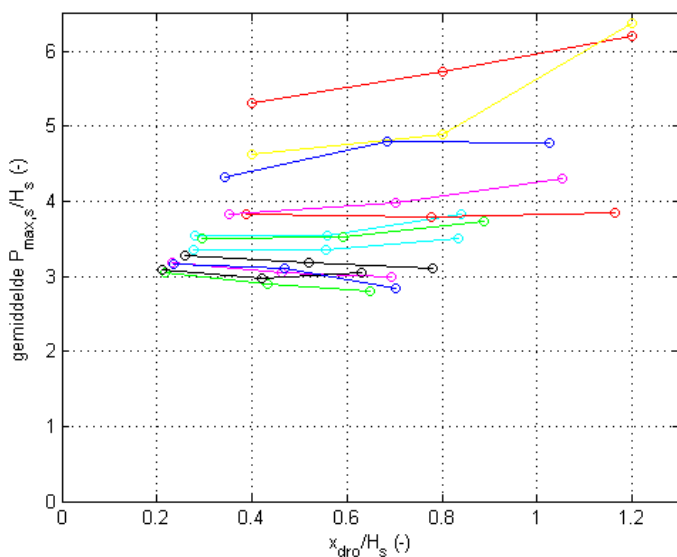
De invloed van de drukopnemerafstand op de golfklapgrootte is bepaald op basis van de proeven met een doorgaand talud. Als voorbeeld is proef 3011 beschouwd (zie Figuur 3.5), omdat deze een vrij gemiddelde significante golfhoogte H_s en golfsteilheid s_{op} heeft. De bovenste van de drie grafieken is dezelfde als in bijlage C.11 (met $x_{dro} = 4$ cm). De blauwe lijn geeft per drukopnemer het gemiddelde van het hoogste $1/3^e$ deel van de blauwe meetpunten. De middelste en onderste grafiek zijn vergelijkbaar met de bovenste, maar nu met respectievelijk $x_{dro} = 8$ cm en 12 cm.

De blauwe lijn ligt in alle gevallen ongeveer even hoog. De drukopnemerafstand heeft voor proef 3011 kennelijk geen noemenswaardige invloed op de hoogte van de ruimtelijke verdeling van de dimensieloze significante druk (golfklapgrootte).



Figuur 3.5 De ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte tijdens proef 3011, indien de meetdata van steeds 0 (boven), 1 (midden) en 2 (onder) drukopnemers er tussenuit gelaten is.

Onderstaand is ook voor de andere proeven met een doorgaand talud (proeven 3001 t/m 3012 en 3015) onderzocht wat de invloed is van de drukopnemer afstand op de golfklapgrootte, zie Figuur 3.6. Op de horizontale as staat x_{dro} , dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte H_s . Elke lijn heeft betrekking op één proef en bevat voor elk van de drie drukopnemer afstanden een meetpunt. De hoogte van elk meetpunt betreft de gemiddelde hoogte van de corresponderende blauwe lijn, zoals die in Figuur 3.5 is weergegeven voor proef 3011.



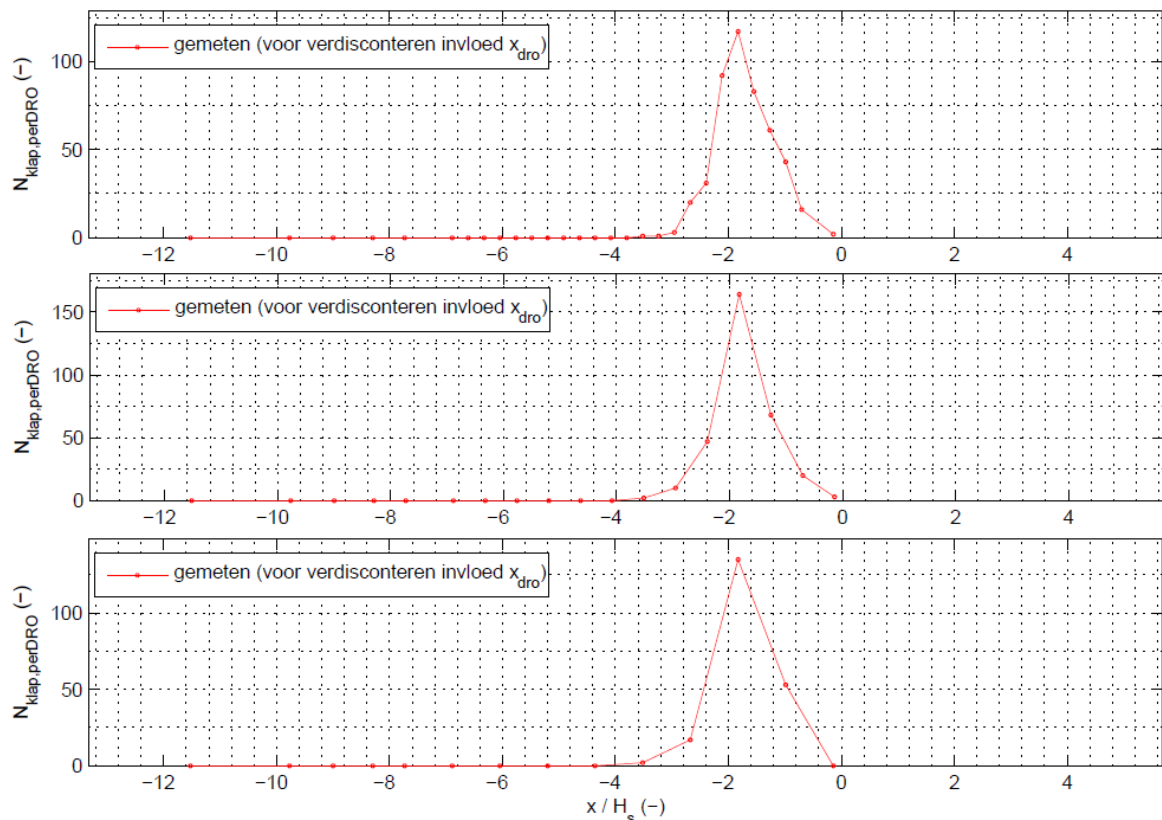
Figuur 3.6 De invloed van de dimensieloze drukopnemer afstand (x_{dro}/H_s) op de gemiddelde hoogtes van de blauwe lijnen ($P_{max,s}/H_s$), zoals die voor proef 3011 zijn weergegeven in Figuur 3.5.

Het valt op dat het grootste deel van de lijnen in Figuur 3.6 vrijwel horizontaal is. De hoogte van de blauwe lijnen wordt in die gevallen kennelijk niet noemenswaardig beïnvloed door de drukopnemerafstand x_{dro} .

Slechts in enkele gevallen stijgt de lijn licht naarmate x_{dro} toeneemt, wat wel duidt op enige invloed van x_{dro} . Nadere analyse leert dat dat vooral het geval is bij proeven met een kleine golfsteilheid. Volgens deze stijgende lijnen zou de werkelijke druk (bij $x_{\text{dro}} = 0$) iets lager moeten zijn dan de gemeten druk, vooral bij een grote drukopnemerafstand. Op bermen, waar de drukopnemerafstand vaak groot is, zal een dergelijke correctie voor de drukopnemerafstand bij kleine golfsteilheden resulteren in een reductie van de golfklapgrootte (minder veilig). Daarom, en omdat in veel gevallen helemaal geen invloed zichtbaar is, is ervoor gekozen ten aanzien van de golfklapgrootte niet voor de drukopnemerafstand te corrigeren.

3.5.3 Invloed van de drukopnemerafstand op het aantal golfklappen

Ook de invloed van de drukopnemerafstand op het aantal golfklappen is bepaald op basis van de proeven met een doorgaand talud. Als voorbeeld is weer proef 3011 beschouwd (zie Figuur 3.7). De bovenste van de drie grafieken bevat dezelfde rode lijn als in bijlage C.11 (met $x_{\text{dro}} = 4$ cm). De rode lijn geeft per drukopnemer het aantal golfklappen dat door ANALYSEWAVE in die drukopnemer is geregistreerd. De middelste en onderste grafiek zijn vergelijkbaar met de bovenste, maar nu met respectievelijk $x_{\text{dro}} = 8$ cm en 12 cm.



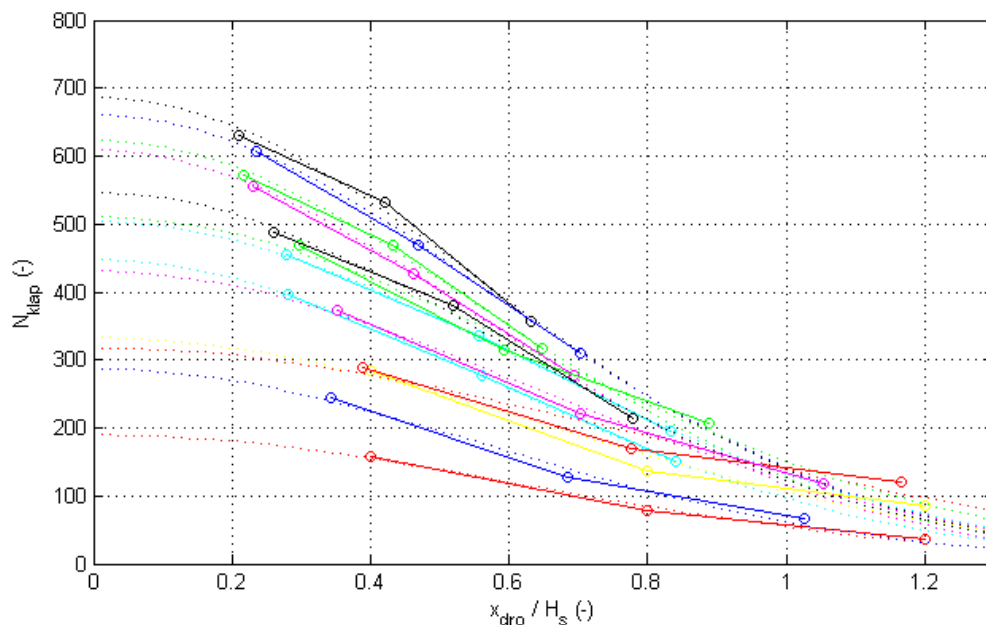
Figuur 3.7 De ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen tijdens proef 3011, indien de meetdata van steeds 0 (boven), 1 (midden) en 2 (onder) drukopnemers er tussenuit gelaten is.

Het valt op dat in alle drie de grafieken het aantal geregistreerde golfklappen per drukopnemer ongeveer vergelijkbaar is. Doordat er minder drukopnemers zijn, neemt het totaal aantal golfklappen dus af. Ofwel, naarmate de drukopnemerafstand toeneemt, wordt een steeds kleiner deel van de werkelijk optredende golfklappen geregistreerd. Het is daarom belangrijk om ten aanzien van het aantal golfklappen te corrigeren voor de drukopnemerafstand. In het vervolg van deze paragraaf is hiervoor een correctiefactor, $f_{x_{dro}}$, afgeleid waarmee voor elke drukopnemer het aantal gemeten golfklappen kan worden omgerekend naar het werkelijk aantal opgetreden golfklappen.

Bij het afleiden van de correctiefactor is aangenomen dat de invloed van de drukopnemerafstand op het aantal golfklappen per drukopnemer hetzelfde is als de invloed op het totale aantal golfklappen. In de golfklapzone van de proeven met een doorgaand talud is de drukopnemerafstand immers constant.

Voor het afleiden van de correctiefactor is eerst in Figuur 3.8 voor alle proeven met een doorgaand talud de invloed van de drukopnemerafstand op het totale aantal golfklappen weergegeven. Op de horizontale as staat x_{dro} , dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte H_s . De verticale as bevat het totale aantal golfklappen dat door ANALYSEWAVE is geregistreerd op het gehele talud. Elke ononderbroken lijn heeft betrekking op één proef en bevat voor elk van de drie drukopnemerafstanden een meetpunt.

Het valt op dat relatief ver naar links gelegen lijnen steiler worden bij toenemende x_{dro}/H_s , terwijl relatief ver naar rechts gelegen lijnen juist flauwer worden bij toenemende x_{dro}/H_s . Het aantal golfklappen, als functie van de dimensieloze drukopnemerafstand, lijkt gekenmerkt door een functie zoals een normale verdeling.



Figuur 3.8 De invloed van de dimensieloze drukopnemerafstand (x_{dro}/H_s) op het totale aantal geregistreerde golfklappen op het talud (N_{klap}).

Omdat gezocht wordt naar een correctiefactor $f_{x_{dro}}$ voor het omrekenen van het aantal gemeten golfklappen naar het werkelijk aantal opgetreden golfklappen, is van alle in Figuur 3.8 weergegeven proeven een inschatting gemaakt van het werkelijke aantal golfklappen dat zou zijn opgetreden als $x_{dro} = 0$ ($N_{klap, x_{dro}=0}$). Deze inschatting is gemaakt door in Figuur 3.8 door de ononderbroken lijnen een normale verdeling te tekenen (met de top bij $x_{dro}/H_s = 0$), die volgens de kleinste kwadraten methode het best door de meetpunten gaat (zie de

stippellijnen). De normale verdeling heeft de volgende formule, waarin c_{top} en σ zodanig zijn gekozen dat de kleinste afwijking ten opzichte van de meetpunten wordt verkregen:

$$N_{klap} = \frac{c_{top}}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_{dro}/H_s)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (3.1)$$

Met:

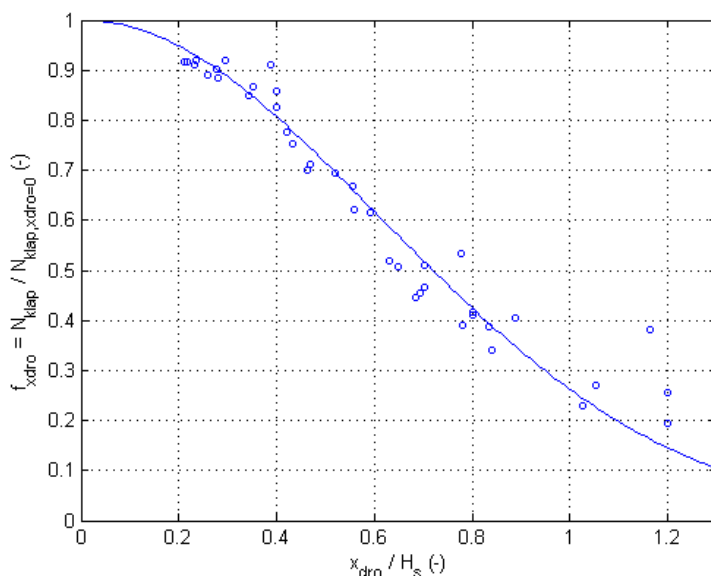
- N_{klap} = totale aantal golfklappen (-)
- c_{top} = correctiefactor voor verticale vermenigvuldiging van de normale verdeling (-)
- σ = standaarddeviatie (-)
- x_{dro} = drukopnemer afstand, gemeten langs het talud (m)
- H_s = significante golfhoogte (m)

De invloed van de drukopnemer afstand kan vervolgens eenvoudig worden afgeleid door van alle in Figuur 3.8 weergegeven meetpunten de waarde N_{klap} te delen door de bijbehorende $N_{klap, x_{dro}=0}$. Het resultaat daarvan is weergegeven in Figuur 3.9, zie de blauwe meetpunten. Ook deze meetpunten lijken een verloop te hebben zoals in een normale verdeling. De normale verdeling, die volgens de kleinste kwadraten methode het minst afwijkt ten opzichte van de meetpunten, is weergegeven met de blauwe lijn. Deze blauwe lijn vormt de correctiefactor $f_{x_{dro}}$ waarmee het aantal gemeten golfklappen kan worden omgerekend naar het werkelijk aantal opgetreden golfklappen:

$$f_{x_{dro}} = \frac{N_{klap}}{N_{klap, x_{dro}=0}} = e^{-\frac{(x_{dro}/H_s)^2}{0,747}} \quad (3.2)$$

Met:

- $f_{x_{dro}}$ = correctiefactor voor het omrekenen van het aantal gemeten golfklappen naar het werkelijk aantal opgetreden golfklappen (-)
- $N_{klap, x_{dro}=0}$ = totale aantal golfklappen dat zou zijn opgetreden als $x_{dro} = 0$ (-)



Figuur 3.9 De correctiefactor ($f_{x_{dro}}$) voor het omrekenen van het aantal gemeten golfklappen naar het werkelijk aantal opgetreden golfklappen, als functie van de dimensieloze drukopnemer afstand (x_{dro}/H_s).

Voor elke drukopnemer kan nu eenvoudig het werkelijk aantal opgetreden golfklappen berekend worden door het aantal gemeten golfklappen te delen door de correctiefactor f_{xdro} , die volgt uit de bijbehorende drukopnemerafstand. Dit resulteert in de groene lijn in Figuur 3.3 en in elke onderste grafiek in bijlage C.

Wanneer in het vervolg van dit rapport wordt gebruikgemaakt van het aantal “gemeten golfklappen”, dan wordt altijd de groene lijn bedoeld, tenzij nadrukkelijk anders is vermeld.

4 Invloedsfactor voor het aantal golfklappen op bermen

4.1 Opzet

Voor het beoordelen van de stabiliteit van asfaltbekledingen wordt gebruikgemaakt van het rekenmodel Golfklap. In de huidige versie van Golfklap wordt bij de beoordeling op het mechanisme 'golfklappen' in geval van een berm gerekend met de taludhelling van het talud onder de berm. Per saldo wordt daardoor op bermen gerekend met het aantal golfklappen, dat zou zijn opgetreden op hetzelfde niveau van een doorgaand talud zonder berm.

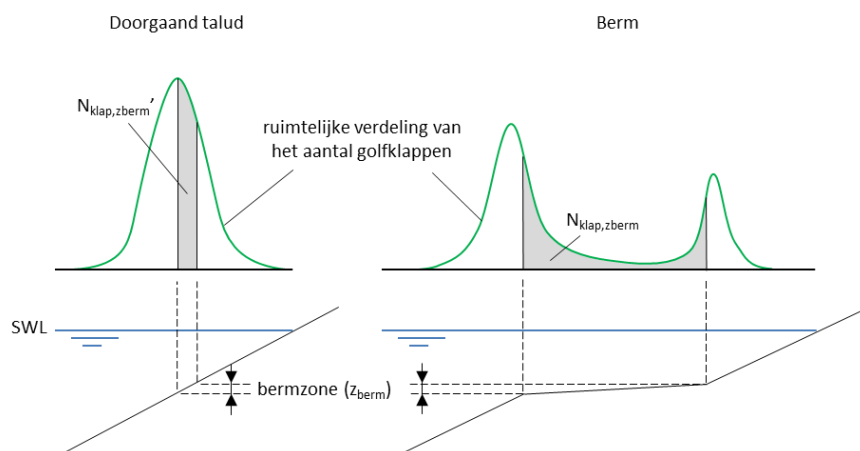
Omdat dit mogelijk zeer conservatief is, is een invloedsfactor ($f_{B,N,Z \rightarrow L}$) ontwikkeld waarmee het aantal golfklappen op elk willekeurig stukje van de berm kan worden berekend (de zeewaartse zijde van dit stukje is aangeduid als Z, de landwaartse zijde als L), uitgaande van het aantal golfklappen dat op een doorgaand talud zou zijn opgetreden binnen de zogenoemde bermzone. De bermzone (z_{berm}) is gedefinieerd als de verticale zone tussen de boven- en ondergrens van de berm (zie Figuur 4.1).

Invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$ is globaal opgebouwd uit twee delen:

- Eerst is invloedsfactor $f_{B,N}$ ontwikkeld waarmee het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud kan worden omgerekend naar het totale aantal golfklappen op de berm.
- Vervolgens is invloedsfactor $f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$ ontwikkeld waarmee de ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen op de berm bepaald kan worden.

Vermenigvuldiging van $f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$ en $f_{B,N}$ resulteert in de gezochte invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$.

De invloedsfactor $f_{B,N}$ volgt uit de verhouding tussen het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud en het aantal golfklappen op de berm. Het aantal golfklappen op de berm is aangeduid als $N_{\text{klap},z_{\text{berm}}}$ (zie het grijs gemarkeerde deel in het rechterdeel van de figuur). Het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud is aangeduid als $N_{\text{klap},z_{\text{berm}}}$ ' (het grijs gemarkeerde deel in het linkerdeel van de figuur).



Figuur 4.1 Invloedsfactor $f_{B,N}$ volgt uit de verhouding tussen het aantal golfklappen in bermzone van een doorgaand talud ($N_{\text{klap},z_{\text{berm}}}$ ' en het aantal golfklappen op de berm ($N_{\text{klap},z_{\text{berm}}}$).

Voor het vergelijken van $N_{\text{klap},z_{\text{berm}}}$ en $N_{\text{klap},z_{\text{berm}}}$ ' zou idealiter voor elke proef met een berm een corresponderende proef (ten aanzien van de hydraulische condities) met een doorgaand

talud beschikbaar moeten zijn, zodat van die proef het aantal gemeten golfklappen in de bermzone geselecteerd zou kunnen worden. Een corresponderende proef met een doorgaand talud is echter niet bij elke proef met een berm beschikbaar. Daarom is gekozen voor het ontwikkelen van een formule waarmee voor alle hydraulische condities de bijbehorende ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen op een doorgaand talud berekend kan worden. Met deze formule kan voor elk willekeurig stukje doorgaand talud (zoals de bermzone) berekend worden hoeveel golfklappen op dat stukje te verwachten zijn. Een dergelijke formule heeft als voordeel dat die wordt gebaseerd op gemiddelde trends in de metingen, waardoor een met de formule berekend aantal golfklappen meteen gecorrigeerd is voor spreiding in de meetpunten. Deze spreiding kan betrekking hebben op zowel verschillen tussen naast elkaar gelegen drukopnemers als verschillen tussen proeven.

Het ontwikkelen van invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$ is gedaan in de volgende stappen:

stap 1) (Paragraaf 4.2):

Eerst is de formule ontwikkeld waarmee het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud zonder berm berekend kan worden.

stap 2) (Paragraaf 4.3):

Vervolgens is van elke proef met een berm het gemeten aantal golfklappen op de berm geteld ($N_{\text{klap,zberm}}$). Dit aantal is vergeleken met het aantal golfklappen dat volgens de formule van stap 1 bij overeenkomstige hydraulische condities is te verwachten in de bermzone op een doorgaand talud ($N_{\text{klap,zberm}}$). Uit de verhouding tussen $N_{\text{klap,zberm}}$ en $N_{\text{klap,zberm}}$ van alle proeven volgt de invloedsfactor $f_{B,N}$ waarmee $N_{\text{klap,zberm}}$ kan worden omgerekend naar het totale aantal golfklappen op de berm.

stap 3) (Paragraaf 4.4):

Tenslotte is de bij stap 2 ontwikkelde invloedsfactor $f_{B,N}$ uitgebreid met een extra invloedsfactor $f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow L}$, die de ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen op de berm beschrijft. Immers, uit de metingen blijkt dat bij de zee- en landwaartse rand van de berm doorgaans meer klappen optreden dan halverwege de berm. Vermenigvuldiging van $f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow L}$ en $f_{B,N}$ resulteert in de gezochte invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$ waarmee het aantal golven berekend worden op elk willekeurig stukje van de berm. De zeewaartse grens van dit stukje wordt aangeduid als Z, en de landwaartse grens als L.

4.2 Stap 1: formule voor aantal golfklappen in bermzone van doorgaand talud

4.2.1 Algemeen

Zoals uitgelegd in paragraaf 4.1, is in stap 1 aan de hand van de proeven met een doorgaand talud een formule afgeleid waarmee het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud berekend kan worden. De ontwikkeling van deze formule bestaat uit de volgende stappen:

- 1a) Eerst is een formule afgeleid die de ruimtelijke verdeling van de golfklapfractie op een doorgaand talud beschrijft. De golfklapfractie is het deel van de inkomende golven dat leidt tot een golfklap. Werken met de golfklapfractie is, vanwege het variërende aantal inkomende golven per proef, noodzakelijk voor onderlinge vergelijkbaarheid van de proeven. Deze stap is uitgewerkt in paragraaf 4.2.2.
- 1b) Vervolgens is de uit stap 1a resulterende formule van de ruimtelijke verdeling vertaald naar een formule waarmee het aantal golfklappen berekend kan worden op elk

willekeurig stukje doorgaand 1:3-talud (taludhelling van de beschikbare proeven is 1:3). Deze stap is uitgewerkt in paragraaf 4.2.3.

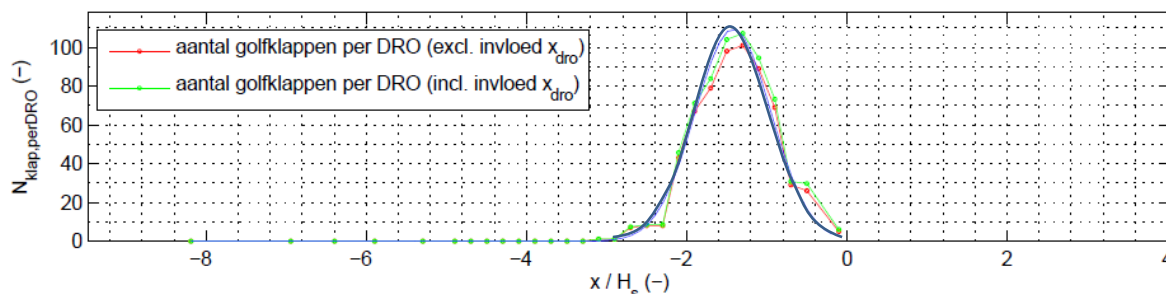
- 1c) Doordat de beschikbare proeven met een doorgaand talud een taludhelling van 1:3 hebben, is de uit stap 1b resulterende formule vooralsnog alleen geschikt voor taludhellingen van 1:3. In stap 1c (paragraaf 4.2.4) is op basis van onderzoek uit het verleden onderzocht hoe de formule ook voor taluds van 1:4 gebruikt kan worden.

4.2.2 Stap 1a: formule voor ruimtelijke verdeling van golfklapfractie op doorgaand talud

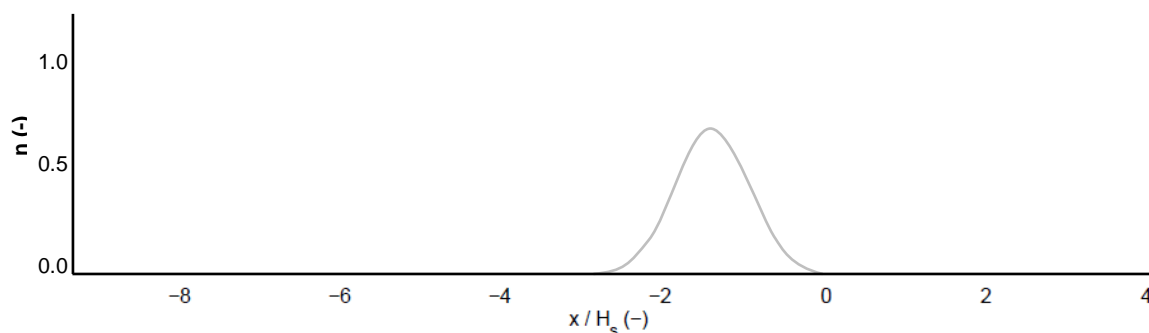
Stap 1a betreft het afleiden van de formule waarmee de ruimtelijke verdeling van de golfklapfractie op een doorgaand talud zonder berm berekend kan worden. Deze formule is gebaseerd op alle beschikbare proeven met een doorgaand talud (proeven 3001 t/m 3012 en 3015). De formule is afgeleid op basis van de meetdata die reeds is gecorrigeerd voor de invloed van de drukopnemerafstand x_{dro} , dus op basis van de groene lijn in elke onderste figuur van de bijlagen C.1 t/m C.13.

Doordat de ruimtelijke verdeling van de golfklapfractie volgt uit het delen van de groene lijn door het aantal inkomende golven N , zijn de ruimtelijke verdelingen van de golfklapfractie en het aantal golfklappen (groene lijn) evenredig aan elkaar.

Doordat in de golfklapzone de drukopnemerafstand niet voor alle drukopnemers exact gelijk is, wijkt de werkelijke ruimtelijke dichtheid van de golfklapfractie in zeer geringe mate af van de door N gedeelde groene lijn. Hoewel dit verschil nauwelijks zichtbaar is, wordt de formule gebaseerd op de werkelijke ruimtelijke dichtheid.



Figuur 4.2 De ruimtelijke verdeling van $N_{klap,perDRO}$ (groene lijn) op een doorgaand talud zonder berm, en een normale verdeling (blauwe lijn), die goed overeenkomt met de groene meetpunten (proef 3005).



Figuur 4.3 Golfklapfractiedichtheid n als functie van de dimensioneloze locatie $x' = x/H_s$ (schematisch).

Bij de proeven met een doorgaand talud zonder berm valt op dat de groene lijn ongeveer een verloop heeft zoals een normale verdeling. Voor bijvoorbeeld proef 3005 is dit duidelijk te zien in Figuur 4.2. Deze figuur betreft de onderste figuur van bijlage C.5, waarin een normale verdeling (blauwe lijn) is toegevoegd, die goed overeenkomt met de groene meetpunten.

Daarom is onderzocht of de dichtheid van de golfklapfractie beschreven kan worden als normale verdeling, waarvan de horizontale locatie van de top, de hoogte en de breedte volgen uit de golfcondities tijdens de proef. Voor elke proef met een doorgaand talud is daartoe de normale verdeling gezocht, die zo goed mogelijk overeenkomt met de golfklapfractiedichtheid. De golfklapfractiedichtheid n betreft de golfklapfractie per dimensieloze afstand x/H_s , zoals in Figuur 4.3 is weergegeven voor eveneens proef 3005.

De horizontale as in Figuur 4.3 bevat de horizontale locatie ten opzichte van het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn, dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte: x/H_s (-). Deze dimensieloze horizontale afstand wordt in het vervolg ook wel kortweg aangeduid als x' . De verticale as bevat de golfklapfractiedichtheid n . De normale verdeling van n (zie de grijze lijn) heeft de volgende formule:

$$n = \frac{c_{top}}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x' - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (4.1)$$

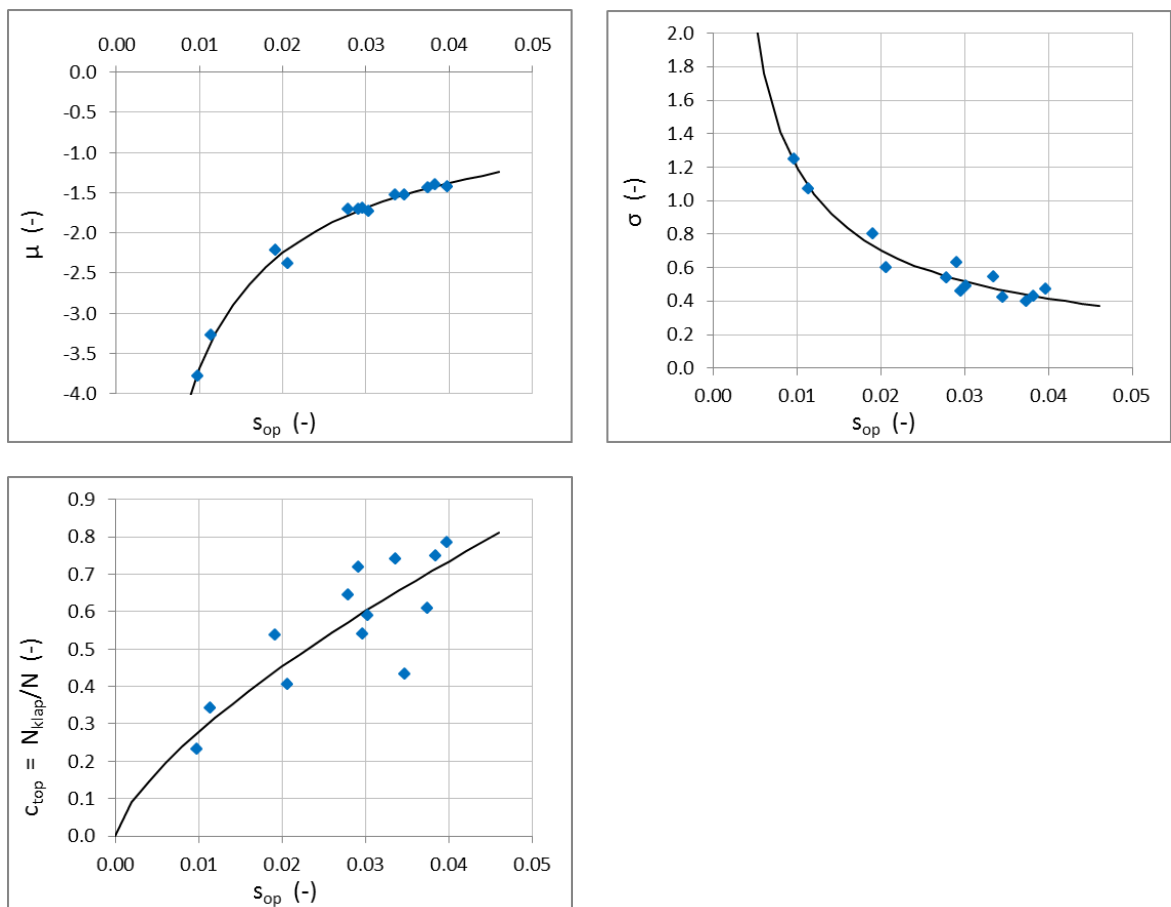
Met:

- n = golfklapfractiedichtheid (fractie van de inkomende golven dat leidt tot een golfklap, per dimensieloze horizontale afstand x/H_s) (-)
- c_{top} = correctiefactor voor verticale vermenigvuldiging van de normale verdeling (-)
- x' = dimensieloze horizontale locatie ten opzichte van het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn ($x' = x/H_s$) (-)
- x = horizontale locatie ten opzichte van het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn (m)
- H_s = significante golfhoogte (m)
- σ = standaarddeviatie van de x' -locaties van de golfklappen (-)
- μ = gemiddelde x' -locatie van de golfklappen (-)

De waarde van μ betreft de x' -locatie van de top en volgt uit het gewogen gemiddelde van de locatie van de groene meetpunten van Figuur 4.2. De waarde van σ betreft de standaarddeviatie. Voor proef 3005 leidt dit voor μ en σ tot de volgende waarden: $\mu = -1,421$ en $\sigma = 0,474$.

Bij deze waarden voor μ en σ is gezocht naar de correctiefactor c_{top} waarmee de normale verdeling vermenigvuldigd moet worden, zodanig dat het oppervlak onder de lijn gelijk is aan de totale golfklapfractie op het talud (N_{klap}/N), waarin N_{klap} het totale aantal golfklappen op het talud is. Doordat de oppervlakte onder een normale verdeling zonder verticale vermenigvuldiging gelijk is aan 1, is de gezochte waarde voor c_{top} gelijk aan N_{klap}/N . Voor proef 3005 resulteert dit in de volgende waarde: $c_{top} = 0,786$.

In Figuur 4.4 zijn voor elke proef de waarden van μ (linksboven), σ (rechtsboven) en c_{top} (onder) uitgezet tegen de golfsteilheid van de betreffende proef. Bij de proeven met een doorgaand talud zijn de golfsteilheid s_{op} en significante golfhoogte H_s de enige variabelen. Doordat de geometrie van de modelopstelling al dimensieloos is gemaakt met H_s , is zoals verwacht geen duidelijk verband met H_s zichtbaar. Bij uitzetten tegen s_{op} is wel een duidelijk verband zichtbaar, zie Figuur 4.4.



Figuur 4.4 Het gemiddelde (μ), de standaarddeviatie (σ), en de correctiefactor voor de hoogte van de normale verdeling (c_{top}), als functie van de golfsteilheid (s_{op}), van alle proeven met een doorgaand talud zonder berm.

De in Figuur 4.4 weergegeven zwarte trendlijnen zijn beschreven met de volgende formules:

$$\mu = -0,14 \cdot s_{op}^{-0,71} \quad (4.2)$$

$$\sigma = 0,036 \cdot s_{op}^{-0,76} \quad (4.3)$$

$$c_{top} = 7 \cdot s_{op}^{0,7} \quad (4.4)$$

Invullen van de formules (4.2), (4.3) en (4.4) in formule (4.1) geeft de formule voor golfklapklapfractiedichtheid op een doorgaand talud zonder berm, als functie van s_{op} . De waarde μ geeft de horizontale positie van de top, de waarde σ bepaalt de breedte van de normale verdeling, en de waarde c_{top} bepaalt de hoogte van de top.

4.2.3 Stap 1b: formule voor aantal golfklappen op willekeurig stukje 1:3-talud

De oppervlakte onder de normale verdeling van de golfklapklapfractiedichtheid is gelijk aan het deel van de inkomende golven dat tot een klap leidt (N_{klap}/N). Het totale aantal golfklappen op het talud is derhalve eenvoudig te berekenen door de oppervlakte onder de normale verdeling te vermenigvuldigen met N .

Dit resulteert in de volgende formule voor het aantal golfklappen op een willekeurig stukje doorgaand talud tussen $x' = a$ en $x' = b$:

$$N_{klap,a \rightarrow b} = N \cdot \int_a^b \frac{c_{top}}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x' - \mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}} dx' \quad (4.5)$$

Met:

$N_{klap,a \rightarrow b}$ = het aantal golfklappen op het doorgaande talud tussen $x' = a$ en $x' = b$ (-)

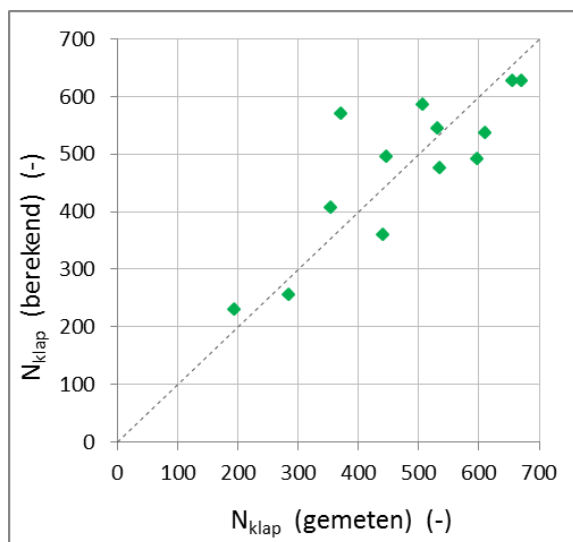
N = het aantal inkomende golven (-)

a = waarde van x' bij de zeewaartse grens van het beschouwde taluddeel (-)

b = waarde van x' bij de landwaartse grens van het beschouwde taluddeel (-)

Door bij a en b respectievelijk de zee- en landwaartse grens van de bermzone in te vullen, volgt uit formule (4.5) het aantal golfklappen in de bermzone. Doordat formule (4.5) is afgeleid op basis van proeven met uitsluitend $\tan \alpha = 1:3$ is de formule vooralsnog alleen geschikt voor proeven met een doorgaand 1:3-talud. In paragraaf 4.2.4 is onderzocht hoe de formule ook gebruikt kan worden voor 1:4-taluds.

Om een indruk te krijgen van de correctheid van formule (4.5) is in Figuur 4.5 het totale aantal gemeten en berekende golfklappen met elkaar vergeleken, voor de proeven met een doorgaand 1:3-talud. Het aantal gemeten golfklappen volgt uit de som van de waarden van $N_{klap,perDRO}$ van de groene meetpunten in de onderste figuren van de bijlagen C.1 t/m C.13. Het aantal berekende golfklappen volgt uit formule (4.5) met $a = -\infty$ en $b = \infty$. De gemeten en berekende aantallen komen gemiddeld uiteraard goed overeen. De spreiding is ook vrij beperkt, wat vertrouwen geeft in de formule.



Figuur 4.5 Het totale aantal gemeten en berekende golfklappen van de proeven met een doorgaand 1:3-talud.

4.2.4 Stap 1c: gebruik van formule (4.5) bij 1:4-taluds

Opgemerkt wordt dat formule (4.5) is afgeleid op basis van proeven met een taludhelling $\tan \alpha = 1:3$. De formule is derhalve vooralsnog alleen geschikt voor doorgaande 1:3-taluds. Omdat

in het onderhavige onderzoek de formule echter ook benodigd is voor doorgaande 1:4-taluds is in deze paragraaf onderzocht of de formule ook geschikt is voor 1:4-taluds.

Uit onderzoeken uit het verleden is het volgende bekend over twee belangrijke eigenschappen van de normale verdeling:

- *Horizontale locatie van de top:*
Volgens Steentoets (Klein Breteler, 2014) is de gemiddelde horizontale locatie van golfklappen op doorgaande taluds alleen afhankelijk van de golfsteilheid en dus niet van de taludhelling. Op basis hiervan is aangenomen dat de horizontale locatie van de top (en dus de waarde van μ) voor hellingen van zowel 1:3 als 1:4 gelijk is.
- *Grootte van de golfklapfractie (de oppervlakte onder de normale verdeling):*
In bijlagen A.27 en A.28 van Klein Breteler e.a. (2012) is te zien dat het totale aantal golfklappen tijdens een proef niet tot nauwelijks afhankelijk is van de taludhelling. De beschouwde proeven in die bijlagen hebben taludhellingen van $\tan\alpha = 1:3$ tot $\tan\alpha = 1:4$. Op basis hiervan is aangenomen dat de golfklapfractie (en dus de oppervlakte onder de normale verdeling, en de waarde van c_{top}) voor hellingen van zowel 1:3 als 1:4 gelijk is.

Op basis van het voorgaande wordt aangenomen dat de horizontale locatie van de top en de oppervlakte onder de normale verdeling bij taludhellingen van 1:3 en 1:4 gelijk zijn. Echter, de invloed van de taludhelling op σ (de mate waarin de normale verdeling wordt 'platgedrukt', met behoud van de oppervlakte eronder) is onbekend.

Bij een wat flauwer talud is enerzijds een wat grotere spreiding in de golfklaplocatie (en dus een enigszins platgedrukte normale verdeling) te verwachten, maar anderzijds houdt dit in dat een groter deel van de klappen boven de stilwaterlijn zal optreden. Omdat dit niet voor de hand ligt, is in eerste instantie aangenomen dat de taludhelling geen invloed heeft op σ . Bovendien zou een eventuele correctie van σ voor de taludhelling behoorlijk arbitrair zijn.

Op basis van het voorgaande is aangenomen dat formule (4.5) toepasbaar is voor taludhelling van zowel 1:3 als 1:4. Aangenomen is dat de vorm van de normale verdeling voor beide taludhellingen hetzelfde is. Bij het bepalen van het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud ($N_{klap,zberm}$) heeft de taludhelling slechts invloed op de locatie van de grenzen a en b.

4.3 Stap 2: invloedsfactor $f_{B,N}$ voor het totale aantal golfklappen op een berm

4.3.1 Algemeen

Zoals uitgelegd in paragraaf 4.1, wordt in stap 2 invloedsfactor $f_{B,N}$ afgeleid waarmee het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud ($N_{klap,zberm}$) kan worden omgerekend naar het totale aantal golfklappen op een berm ($N_{klap,zberm}$). Invloedsfactor $f_{B,N}$ volgt uit de verhouding tussen $N_{klap,zberm}$ en $N_{klap,zberm}$. De ontwikkeling van deze invloedsfactor bestaat uit de volgende stappen:

- 2a) Eerst wordt het aantal gemeten golfklappen op de berm geteld ($N_{klap,zberm}$).
- 2b) Vervolgens wordt berekend hoeveel golfklappen zijn te verwachten in de bermzone van een doorgaand talud ($N_{klap,zberm}$). Vergelijking van $N_{klap,zberm}$ en $N_{klap,zberm}$ leidt tot invloedsfactor $f_{B,N}$.

4.3.2 Stap 2a: aantal gemeten golfklappen op de berm

Ten aanzien van het bepalen van het totale aantal golfklappen op de berm ($N_{\text{klap,zberm}}$) wordt opgemerkt dat dit aantal niet simpelweg volgt uit de som van de groene meetpunten (uit de onderste grafieken van bijlage C) boven de berm. Immers, de meest zee- en landwaarts gelegen drukopnemer van de berm dragen soms volledig bij, maar soms slechts gedeeltelijk. Als de drukopnemers dicht bij de rand liggen, kunnen door deze drukopnemers immers klappen geregistreerd worden, die in werkelijkheid op het onder- of boventalud zijn opgetreden. Op vergelijkbare wijze kunnen ook de drukopnemers direct onder en boven de berm in sommige gevallen gedeeltelijk bijdragen aan het aantal golfklappen op de berm.

Voor elke proef met een berm onder of gelijk aan de stilwaterlijn is daarom het stukje van de groene lijn (uit de onderste grafieken van bijlage C) ter plaatse van de berm geselecteerd vanaf het meetpunt direct onder de berm tot en met het meetpunt direct boven de berm. Van elk van deze drukopnemers op en direct onder en boven de berm is vervolgens bepaald welk percentage van x_{dro} op de berm ligt en derhalve bijdraagt aan het aantal golfklappen op de berm, waarna de geselecteerde groene meetpunten voor dit percentage zijn gecorrigeerd. De som van het aantal golfklappen dat na correctie overblijft, is aangehouden als het totale aantal golfklappen op de berm: $N_{\text{klap,zberm}}$.

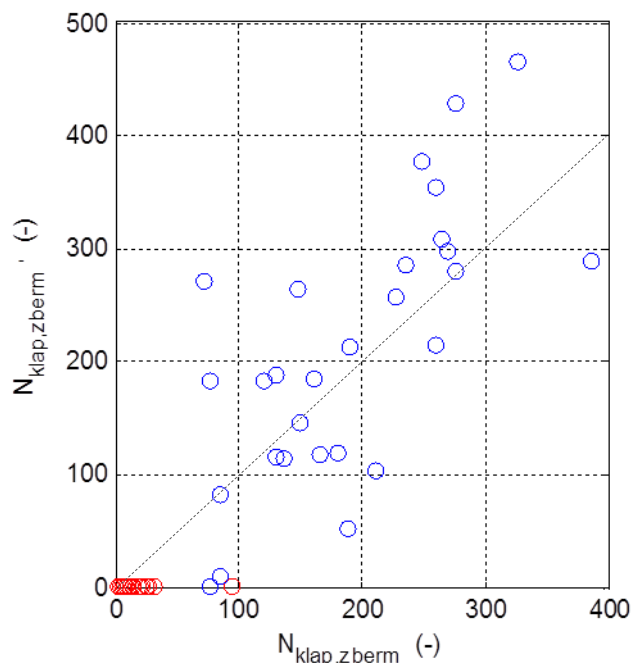
Proeven met een berm boven de stilwaterlijn zijn buiten beschouwing gelaten, omdat ANALYSEWAVE niet geschikt is voor analyse daarvan. Bij deze proeven ligt de berm overigens zodanig hoog boven water, dat daar geen golfklappen te verwachten zijn.

4.3.3 Stap 2b: vergelijking van $N_{\text{klap,zberm}}$ en $N_{\text{klap,zberm}}'$

Voor elke proef met een berm onder of gelijk aan de stilwaterlijn is het aantal gemeten golfklappen op de berm ($N_{\text{klap,zberm}}$) bepaald volgens de methode van paragraaf 4.3.2. Daarnaast is met behulp van formule (4.5) tevens het aantal golfklappen berekend dat bij dezelfde golfcondities zou optreden binnen de bermzone van een doorgaand talud ($N_{\text{klap,zberm}}'$).

Per proef zijn de zo bepaalde $N_{\text{klap,zberm}}$ en $N_{\text{klap,zberm}}'$ tegen elkaar uitgezet in Figuur 4.6. In de figuur geven de blauwe meetpunten de proeven met een berm onder de stilwaterlijn weer, en de rode meetpunten de proeven met een berm gelijk aan de stilwaterlijn. Hoewel de spreiding in de meetpunten vooralsnog relatief groot is, is te zien dat $N_{\text{klap,zberm}}$ en $N_{\text{klap,zberm}}'$ gemiddeld ongeveer even groot zijn. Kennelijk kan een berm ten aanzien van het aantal golfklappen globaal worden gezien als een in horizontale richting 'uitgesmeerd' talud. In het vervolg van deze paragraaf is onderzocht hoe de spreiding in de meetpunten verder verkleind kan worden.

Bij de rode meetpunten valt op dat het aantal berekende golfklappen $N_{\text{klap,zberm}}'$ zeer klein is met steeds minder dan een halve golfklap, terwijl het aantal gemeten klappen $N_{\text{klap,zberm}}$ duidelijk groter is met soms zelfs enkele tientallen golfklappen. Op bermen gelijk aan de stilwaterlijn (dus boven de gebruikelijke golfklapzone) treden doorgaans kennelijk meer golfklappen op dan in de dezelfde zone van een doorgaand talud. Verderop in deze paragraaf is onderzocht of het geconstateerde verschil tussen $N_{\text{klap,zberm}}$ en $N_{\text{klap,zberm}}'$ verkleind kan worden door aan het aantal golfklappen op de berm een ondergrens te stellen.

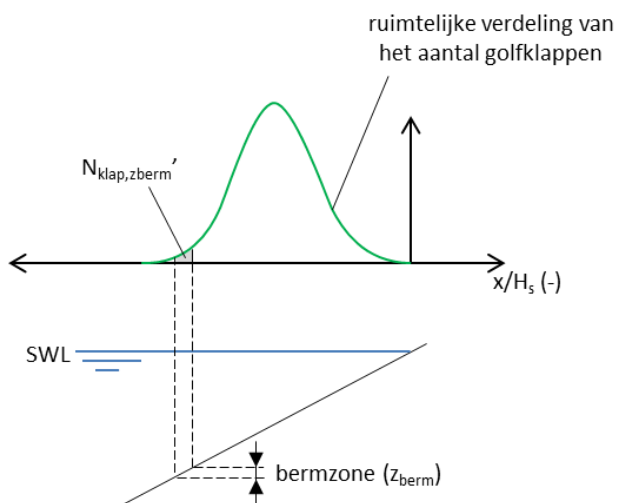


Figuur 4.6 Het aantal gemeten golfklappen op de berm ($N_{\text{klap,zberm}}$), uitgezet tegen het aantal berekende golfklappen dat bij overeenkomstige hydraulische condities zou zijn opgetreden in de bermzone van een doorgaand talud ($N_{\text{klap,zberm}'}$). De blauwe meetpunten hebben betrekking op proeven met de berm onder de stilwaterlijn, en de rode meetpunten op proeven met de berm gelijk aan de stilwaterlijn.

Ook bij enkele blauwe meetpunten valt op dat het aantal berekende golfklappen $N_{\text{klap,zberm}'}$ veel kleiner is dan het aantal gemeten klappen $N_{\text{klap,zberm}}$. Dit is vooral het geval bij proef 4113 ($N_{\text{klap,zberm}} = 85$ en $N_{\text{klap,zberm}'} = 10,1$) en proef 4114 ($N_{\text{klap,zberm}} = 76$ en $N_{\text{klap,zberm}'} = 0,05$).

Nader onderzoek leert dat deze meetpunten betrekking hebben op relatief diepe bermen met $d_B/H_s \approx 1$. De grenzen a en b uit formule (4.5) liggen daardoor vrij ver zeewaarts, met als gevolg dat slechts de staart van de normale verdeling wordt beschouwd, zie Figuur 4.7. Doordat de oppervlakte onder de normale verdeling (en dus het aantal gemeten golfklappen) in die zone snel toe- of afneemt, zijn dergelijke diepgelegen bermen relatief gevoelig voor kleine variaties in de bermdiepte. Deze problematiek speelt ook een rol bij bermen bovenin de gebruikelijke golfklapzone.

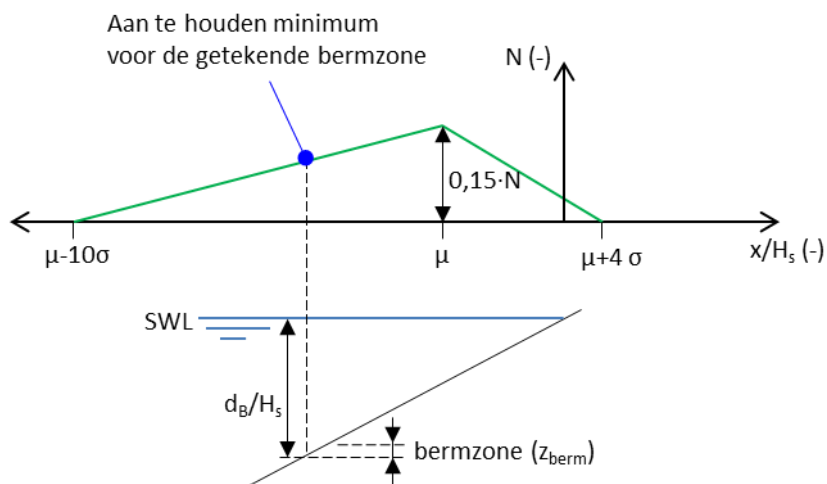
Naast de hierboven beschreven problematiek ligt het ook fysisch voor de hand dat op diepgelegen bermen meer golfklappen optreden dan in de overeenkomstige bermzone van een doorgaand talud. Ondanks een relatief grote bermdiepte is het te verwachten dat inkomende golven onder water door de berm plotseling worden afgeremd, breken en een klap veroorzaken.



Figuur 4.7 Bij diepgelegen bermen neemt de oppervlakte onder de normale verdeling in de bermzone (en dus het aantal berekende golfklappen) snel toe of af naarmate de berm iets hoger of lager ligt. Bermen boven- en onderin de gebruikelijke golfklapzone zijn daardoor relatief gevoelig voor kleine variaties in de bermdiepte.

Vanwege de beschreven verschillen tussen $N_{klap,zberm}$ en $N_{klap,zberm}'$ ter plaatse van beide staarten van de normale verdeling is ervoor gekozen een ondergrens te hanteren voor het aantal golfklappen op bermen. Er is gezocht naar een ondergrens die zo goed mogelijk overeenkomt met het aantal gemeten golfklappen op de berm ($N_{klap,zberm}$) van tenminste de sterkst afwijkende proeven 4113 en 4114 en de proeven met de berm gelijk aan de stilwaterlijn.

Er is gekozen voor een ondergrens die maximaal is bij de top van de normale verdeling en in zee- en landwaartse richting geleidelijk afneemt naar 0 (zie Figuur 4.8). De ondergrens is gekoppeld aan de met de formules (4.2) en (4.3) berekende waarden van μ en σ . Op basis van de proeven 4113 en 4114 is gekomen tot een staart van $10 \cdot \sigma$ aan de linkerkant, en op basis van de proeven met een berm gelijk aan de stilwaterlijn is gekomen tot een staart van $4 \cdot \sigma$ aan de rechterkant. Dat de linker staart langer is dan de rechter staart ligt fysisch voor de hand, doordat inkomende golven onder water sterker worden afgeremd door relatief diepgelegen bermen dan door relatief hooggelegen bermen.



Figuur 4.8 Ondergrens voor het aantal golfklappen op een berm.

Het linker (stijgende) lijnstuk van Figuur 4.8 wordt beschreven door formule (4.6):

$$N_{klap,min,o} = \frac{0,15N}{10\sigma} \cdot \left(\frac{x}{H_s} - \mu + 10\sigma \right) \quad (4.6)$$

En het rechter (dalende) lijnstuk wordt beschreven door formule (4.7):

$$N_{klap,min,b} = \frac{0,15N}{4\sigma} \cdot \left(-\frac{x}{H_s} + \mu + 4\sigma \right) \quad (4.7)$$

Merk op dat de groene lijn, zoals beschreven met de formules (4.6) en (4.7), is uitgedrukt als functie van de dimensieloze horizontale locatie ten opzichte van het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn (x/H_s). Voor praktisch gebruik van de ondergrens is het echter handiger als de ondergrens wordt uitgedrukt als functie van de dimensieloze bermdiepte d_B/H_s . Het minimale aantal golfklappen wordt immers gezocht voor een specifieke berm met diepte d_B/H_s . In de formules (4.6) en (4.7) is daartoe x/H_s vervangen door $(-d_B/H_s) \cdot \cot \alpha$ (de bermdiepte d_B is negatief als de berm boven water ligt en de horizontale locatie x in dat geval dus positief is).

Het vervangen van x/H_s door $(-d_B/H_s) \cdot \cot \alpha$ en het verder vereenvoudigen van de formules resulteert in formule (4.8) voor het linker deel van de groene lijn en in formule (4.9) voor het rechterdeel van de lijn:

$$N_{klap,min,o} = \frac{0,15N}{10\sigma} \cdot \left(\frac{-d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha - \mu + 10\sigma \right) \quad (4.8)$$

$$N_{klap,min,b} = \frac{0,15N}{4\sigma} \cdot \left(\frac{d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha + \mu + 4\sigma \right) \quad (4.9)$$

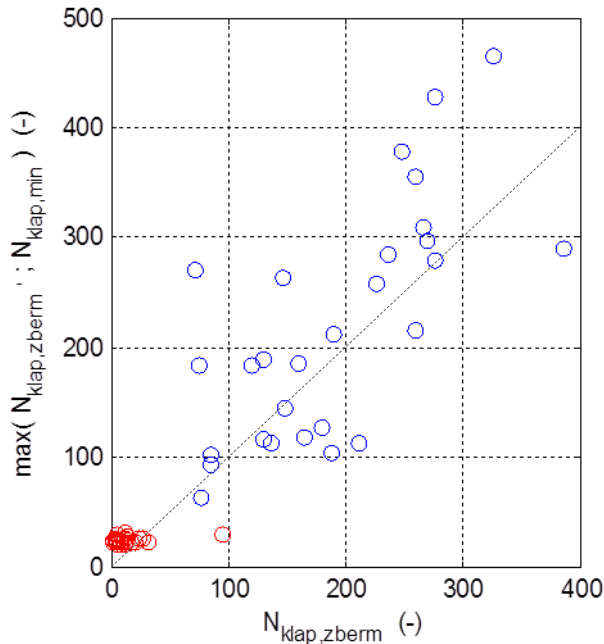
De ondergrens volgt nu uit het minimum van de formules (4.8) en (4.9), zie formule (4.10):

$$N_{klap,min} = \min \left(\frac{0,15N}{10\sigma} \cdot \left(\frac{-d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha - \mu + 10\sigma \right); \frac{0,15N}{4\sigma} \cdot \left(\frac{d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha + \mu + 4\sigma \right) \right) \quad (4.10)$$

Het is niet nodig de ondergrens $N_{klap,min}$ aan de onderkant te begrenzen op $N = 0$, doordat het totale aantal berekende golfklappen op de berm volgt uit het maximum van de oppervlakte onder de normale verdeling en de ondergrens: $\max(N_{klap,zberm}; N_{klap,min})$. Vanwege de vorm van de normale verdeling kan dit nooit kleiner worden dan 0.

Net als in Figuur 4.6 is in Figuur 4.9 nogmaals van elke proef het aantal gemeten en berekende golfklappen op de berm tegen elkaar uitgezet, maar nu met inachtneming van de ondergrens. De verticale as bevat nu: $\max(N_{klap,zberm}; N_{klap,min})$.

In Figuur 4.9 is te zien dat de afwijkende blauwe meetpunten van de proeven 4113 en 4114 nu mooi in lijn vallen met de andere meetpunten. Ook enkele andere blauwe meetpunten vallen door toepassing van de ondergrens wat beter in de trend. Daarnaast komt nu ook van de rode meetpunten de berekende waarde beter overeen met de gemeten waarde.

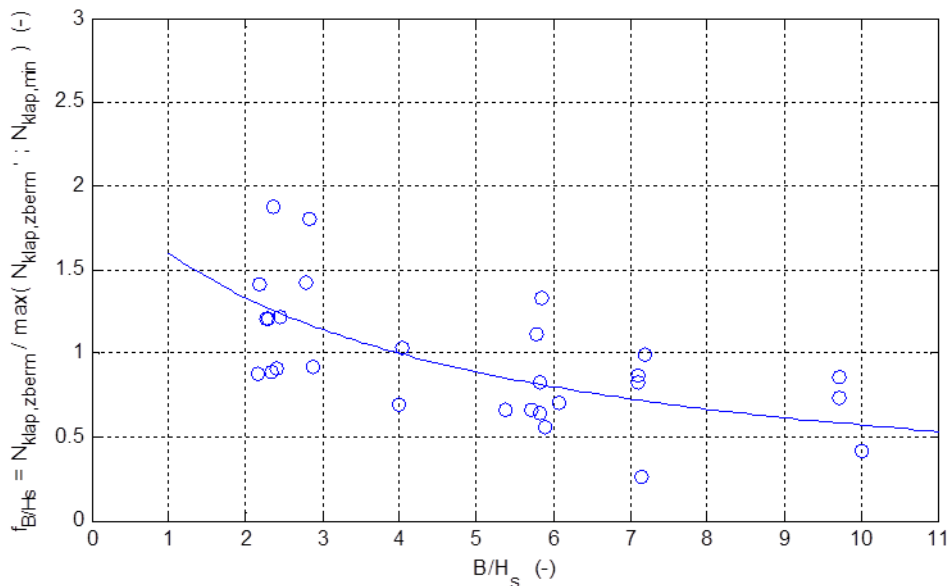


Figuur 4.9 Het aantal gemeten golfklappen op de berm ($N_{klap,zberm}$), uitgezet tegen het aantal berekende golfklappen met inachtneming van de ondergrens: $\max(N_{klap,zberm}' ; N_{klap,min})$. De blauwe meetpunten hebben betrekking op proeven met de berm onder de stilwaterlijn, en de rode meetpunten op proeven met de berm gelijk aan de stilwaterlijn.

Om de spreiding in Figuur 4.9 nog verder te verkleinen, is onderzocht of er een verband bestaat tussen de verhouding van de gemeten en berekende waarden ($N_{klap,zberm} / \max(N_{klap,zberm}' ; N_{klap,min})$) en de dimensieloze bermbreedte (B/H_s), de dimensieloze bermdiepte (d_B/H_s), de golfsteilheid (s_{op}), de helling van het ondertalud ($\tan\alpha$) en de significante golfhoogte (H_s). Analyse van de gegevens leert dat er slechts een duidelijk verband is met de dimensieloze bermbreedte (B/H_s), zie Figuur 4.10. Naarmate de dimensieloze bermbreedte toeneemt, is het aantal gemeten golfklappen op de berm kennelijk wat kleiner dan op basis van de formules voor een doorgaand talud te verwachten is. Figuur 4.10 heeft betrekking op de proeven met een berm onder de stilwaterlijn. Bij proeven boven de stilwaterlijn is een vergelijkbare trend aanwezig.

De blauwe lijn, die in Figuur 4.10 door de meetpunten is getrokken, kan gebruikt worden als correctiefactor voor het verkleinen van de spreiding in Figuur 4.9. De invloedsfactor is aangeduid als f_{B/H_s} en wordt beschreven met de volgende formule:

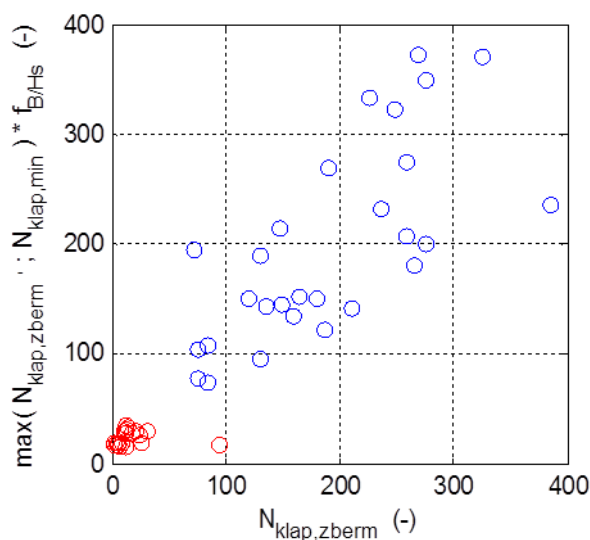
$$f_{B/H_s} = \frac{8}{\left(\frac{B}{H_s} + 4\right)} \quad (4.11)$$



Figuur 4.10 De relatie tussen de verhouding van de gemeten en berekende waarden ($N_{klap,zberm} / \max(N_{klap,zberm}; N_{klap,min})$) en de dimensieloze bermbreedte (B/H_s). De blauwe lijn geeft de invloedsfactor f_{B/H_s} voor de dimensieloze bermbreedte.

Vermenigvuldiging van de waarden op de verticale as van Figuur 4.9 met invloedsfactor f_{B/H_s} resulteert inderdaad in een duidelijkere trend in zowel de rode als blauwe meetpunten, zie Figuur 4.11.

Het afwijkende rode meetpunt bij $N_{klap,zberm} = 94$ heeft betrekking op proef 4203. In bijlage C.59 is te zien dat daarbij sprake is van een zeer grote drukopnemerafstand x_{dro} (bijna $2 \cdot H_s$) in combinatie met een zeer laag aantal daadwerkelijk gemeten golfklappen (slechts één, zie de rode lijn). Het afwijkende rode meetpunt in Figuur 4.11 is daardoor zeer onbetrouwbaar, waardoor het niet logisch is de gehanteerde formules hiervoor aan te passen.



Figuur 4.11 Het aantal gemeten golfklappen op de berm ($N_{klap,zberm}$), uitgezet tegen het aantal berekende golfklappen met inachtneming van de ondergrens en de invloedsfactor voor de dimensieloze bermbreedte: $\max(N_{klap,zberm}; N_{klap,min}) \cdot f_{B/H_s}$. De blauwe meetpunten hebben betrekking op proeven met de berm onder de stilwaterlijn, en de rode meetpunten op proeven met de berm gelijk aan de stilwaterlijn.

Figuur 4.11 laat zien dat de gemeten en berekende aantallen golfklappen na toevoeging van de ondergrens en na correctie voor de dimensieloze bermbreedte ongeveer aan elkaar gelijk zijn. Uitgaande van het gemiddelde van de meetpunten volgt daaruit de onderstaande formule voor het berekenen van het totale aantal golfklappen op de berm, $N_{klap,zberm}$:

$$N_{klap,zberm} = \max(N_{klap,zberm}'; N_{klap,min}) \cdot f_{B/Hs} \quad (4.12)$$

Merk op dat formule (4.12) weliswaar geschikt is voor het berekenen van het aantal golfklappen op de berm, maar dat het nog geen echte invloedsfactor betreft voor het omrekenen van het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud naar het aantal golfklappen op de berm. De formule moet daarom nog worden omgeschreven tot invloedsfactor $f_{B,N}$.

Uit Figuur 4.11 en formule (4.12) volgt dat invloedsfactor $f_{B,N}$ eenvoudigweg gelijk is aan $f_{B/Hs}$, ervan uitgaande dat Golfklap zelf eerst het maximum uitrekent van $N_{klap,zberm}'$ en $N_{klap,min}$:

$$f_{B,N} = f_{B/Hs} = \frac{8}{\left(\frac{B}{H_s} + 4\right)} \quad (4.13)$$

Het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud ($N_{klap,zberm}'$) kan momenteel al eenvoudig door Golfklap berekend worden. Echter, voor het berekenen van het minimum aantal golfklappen waarvan moet worden uitgegaan ($N_{klap,min}$) zijn momenteel nog geen formules in Golfklap beschikbaar. Het is daarom noodzakelijk eerst formule (4.10) voor het berekenen van $N_{klap,min}$ in Golfklap te implementeren.

4.4 Stap 3: invloedsfactor $f_{verdeling,Z \rightarrow L}$ voor de ruimtelijke verdeling over de berm

4.4.1 Algemeen

In stap 2 is invloedsfactor $f_{B,N}$ bepaald waarmee het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud kan worden omgerekend naar het totale aantal golfklappen op een berm. In de onderhavige paragraaf wordt een extra invloedsfactor ($f_{verdeling,Z \rightarrow L}$) afgeleid, die de ruimtelijke verdeling van het totale aantal golfklappen op de berm beschrijft.

4.4.2 Afleiding van invloedsfactor $f_{verdeling,Z \rightarrow L}$ voor de ruimtelijke verdeling

Vanwege de constatering dat $N_{klap,zberm}$ en $N_{klap,zberm}'$ vrij goed overeenkomen (paragraaf 4.3.3), is eerst onderzocht in hoeverre de ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen op de berm (het grijs gearceerde deel in het rechterdeel van Figuur 4.1) overeenkomt met het grijs gearceerde deel in het rechterdeel van de figuur, wanneer dat zou worden uitgesmeerd over de breedte van de berm. Uit die analyse volgde dat er helaas geen duidelijke overeenkomst is. Omdat dit bovendien een erg gecompliceerde invloedsfactor zou opleveren, is verder gezocht naar een eenvoudigere methode.

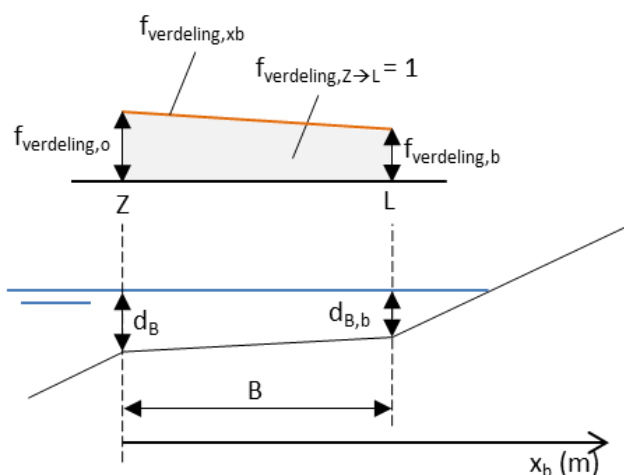
In de figuren in bijlage C valt op dat de verdeling van het aantal golfklappen op de berm in veel drukopnemers ongeveer evenredig is met de waterdiepte boven de betreffende drukopnemer. Daarom is in de onderhavige paragraaf onderzocht in hoeverre de groene lijn uit de bijlagen overeenkomt met het uit formule (4.12) volgende aantal golfklappen

($N_{\text{klap,zberm}}$), wanneer dat aantal evenredig met de waterdiepte wordt uitgesmeerd over de breedte van de berm.

Invoedsfactor $f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow \text{L}}$ dient geschikt te zijn voor het omrekenen van het totale aantal golfklappen op de berm naar het aantal golfklappen op elk willekeurig stukje van de bermbreedte. De zeewaartse grens van dit stukje wordt aangeduid als Z, en de landwaartse grens als L (zie Figuur 4.12, waarin het stukje toevallig de hele berm beslaat). De waarde van invoedsfactor $f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow \text{L}}$ volgt uit de oppervlakte onder de oranje lijn tussen Z en L. De oranje lijn is aangeduid als $f_{\text{verdeling,xb}}$.

Voor het afleiden van invoedsfactor $f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow \text{L}}$ is het nodig eerst de formule voor $f_{\text{verdeling,xb}}$ te bepalen. Uitgangspunt daarbij is dat de formule voor $f_{\text{verdeling,xb}}$ evenredig is met de waterdiepte op de berm (dus $d_B/d_{B,b} = f_{\text{verdeling,o}}/f_{\text{verdeling,b}}$). Om de formule voor $f_{\text{verdeling,xb}}$ niet onnodig gecompliceerd te maken, is ervan uitgegaan dat de berm in werkelijkheid, net als tijdens de proeven, over de hele breedte altijd dezelfde helling heeft.

Een ander uitgangspunt is dat de oppervlakte onder de oranje lijn, tussen de zee- en landwaartse rand van de berm gelijk moet zijn aan 1, omdat het totale aantal golfklappen op de berm na vermenigvuldiging met invoedsfactor $f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow \text{L}}$ gelijk moet blijven.



Figuur 4.12 De invoedsfactor voor het bepalen van de ruimtelijke verdeling van de golfklappen op de berm.

Omdat de oranje lijn ($f_{\text{verdeling,xb}}$) evenredig is met de waterdiepte boven de berm, is eerst de formule voor de waterdiepte op de berm op locatie x_b ($d_{B,xb}$) afgeleid, ervan uitgaande dat de berm over de hele breedte dezelfde helling heeft:

$$d_{B,xb} = d_{B,b} - \frac{(d_B - d_{B,b})}{B} \cdot x_b \quad (4.14)$$

Mits $0 < x_b < B$

Met:

$d_{B,xb}$ = waterdiepte boven de berm, op locatie x_b (m)

d_B = waterdiepte boven de zeewaartse rand van de berm (= bermdiepte) (m)

$d_{B,b}$ = waterdiepte boven de landwaartse rand van de berm (m)

B = bermbreedte (m)

x_b = horizontale locatie op de berm, ten opzichte van de zeewaartse rand van de berm (positief = op de berm; negatief = zeewaarts van de berm) (m)

Zoals beschreven, is de formule voor $f_{\text{verdeling},x_b}$ evenredig met formule voor d_{B,x_b} maar moet de oppervlakte tussen de oranje lijn en de berm gelijk zijn aan 1. De formule van $f_{\text{verdeling},x_b}$ wordt verkregen door de formule voor d_{B,x_b} te delen door de oppervlakte tussen de stilwaterlijn en de berm:

$$f_{\text{verdeling},x_b} = \frac{d_{B,b} - \frac{(d_B - d_{B,b}) \cdot x_b}{B}}{0,5 \cdot (d_B + d_{B,b}) \cdot B} \quad (4.15)$$

Mits $0 < x_b < B$

Met:

$f_{\text{verdeling},x_b}$ = invloedsfactor voor de ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen over de berm, evenredig met de waterdiepte boven de berm, op locatie x_b (m^{-1})

Merk op dat formule (4.15) de opmerkelijke dimensie m^{-1} heeft. Dit komt doordat $f_{\text{verdeling},x_b}$ slechts de waarde van de invloedsfactor geeft op één oneindig smalle locatie. De waarde van de gezochte invloedsfactor $f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$ tussen Z en L volgt echter uit de oppervlakte onder de formule voor $f_{\text{verdeling},x_b}$ tussen Z en L. Ofwel, $f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$ volgt uit de integraal van $f_{\text{verdeling},x_b}$ tussen Z en L, zie formule (4.16). De invloedsfactor wordt daardoor wél dimensieloos.

$$f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L} = \int_Z^L \frac{d_{B,b} - \frac{(d_B - d_{B,b}) \cdot x_b}{B}}{0,5 \cdot (d_B + d_{B,b}) \cdot B} dx_b \quad (4.16)$$

Mits $0 < x_b < B$

Met:

$f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$ = invloedsfactor voor de verdeling van het aantal golfklappen over de breedte van de berm, evenredig met de waterdiepte boven de berm, tussen $x_b = Z$ en $x_b = L$ (-)

Z = = zeewaartse x_b -locatie van het deel van de berm waarvoor $f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$ wordt bepaald (m)

L = = landwaartse x_b -locatie van het deel van de berm waarvoor $f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$ wordt bepaald (m)

Doordat sprake is van een lineaire functie, kan de integraal vrij eenvoudig geïmplementeerd worden in het rekenmodel Golfklap.

Voor veel drukopnemers op de bermen blijkt het aantal gemeten golfklappen (groene meetpunten in onderste figuren van bijlage C) kleiner dan of gelijk aan het aantal golfklappen dat volgt uit $f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$. Echter, boven de zee- en landwaartse rand van onder de stilwaterlijn gelegen bermen is het aantal golfklappen vaak beduidend hoger dan in het midden van de berm (zie bijlage C). Het aantal golfklappen bij de randen wordt in dat geval door $f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$ soms aanzienlijk onderschat. Het is daarom nodig om boven de zee- en landwaartse rand van onder de stilwaterlijn gelegen bermen de invloedsfactor lokaal te verhogen. Dat wordt gedaan door aan $f_{\text{verdeling},Z \rightarrow L}$ een extra factor f_{rand} toe te voegen.

Uit analyse van de meetresultaten blijkt bij onder de stilwaterlijn gelegen bermen ($d_B > 0$) dat de groene lijnen uit bijlage C nauwelijks meer worden onderschreden door de berekende aantallen, wanneer factor $f_{\text{rand}} = 4$, en wordt toegepast tussen $0 \leq x_b < 0,5 \cdot H_s$ en tussen $B - 0,5 \cdot H_s < x_b \leq B$. Tussen deze zones blijft $f_{\text{rand}} = 1$. Voor f_{rand} geldt dus:

Als $d_B > 0$ EN ($0 \leq x_b < 0,5 \cdot H_s$ OF $B - 0,5 \cdot H_s \leq x_b \leq B$), dan:

$$f_{\text{rand}} = 4$$

Anders:

$$f_{\text{rand}} = 1$$

Conform het bovenstaande wordt formule (4.16) als volgt uitgebreid met factor f_{rand} :

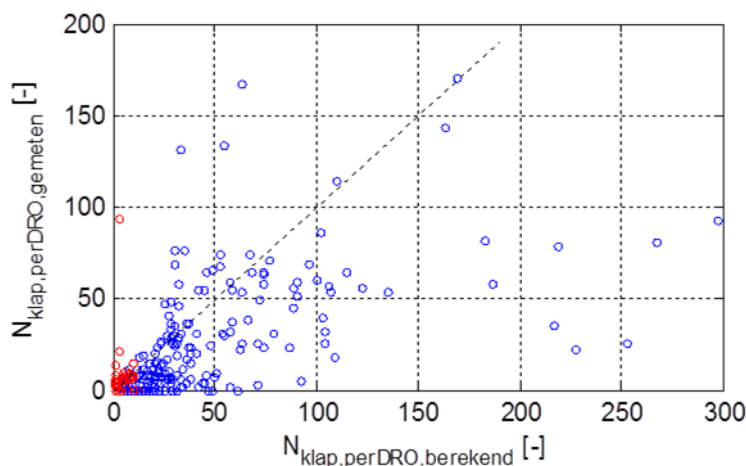
$$f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow \text{L}} = \int_{\text{Z}}^{\text{L}} f_{\text{rand}} \cdot \frac{d_{\text{B,b}} - \frac{(d_B - d_{\text{B,b}}) \cdot x_b}{B}}{0,5 \cdot (d_B + d_{\text{B,b}}) \cdot B} dx_b \quad (4.17)$$

Mits $0 < x_b < B$

Met:

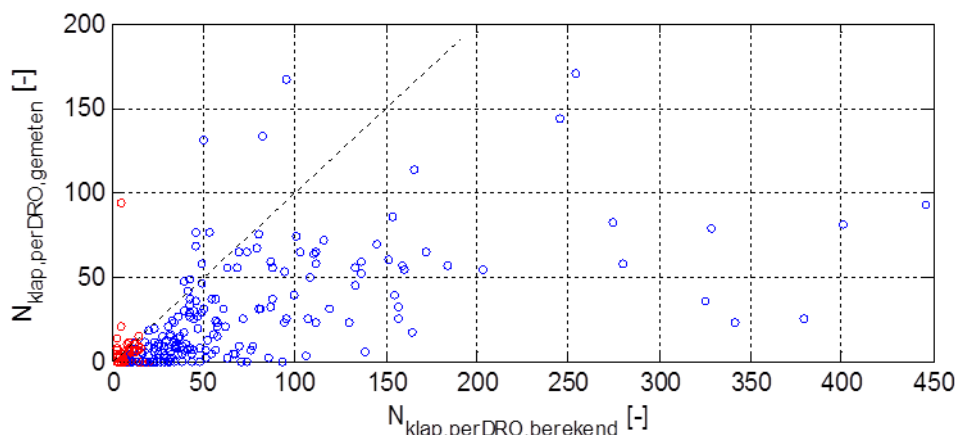
f_{rand} = factor vanwege het hogere aantal golfklappen bij de zee- en landwaartse rand van bermen onder de stilwaterlijn (-)

Met de ontwikkelde formules kan voor elke drukopnemer op de berm het aantal verwachte golfklappen ($N_{\text{klap,perDRO,berekend}}$) berekend worden. Ter controle is in Figuur 4.13 voor elke drukopnemer op de berm dit aantal berekende golfklappen uitgezet tegen het aantal gemeten golfklappen ($N_{\text{klap,perDRO,gemeten}}$). De blauwe meetpunten hebben betrekking op proeven met de berm onder de stilwaterlijn, en de rode meetpunten op proeven met de berm gelijk aan de stilwaterlijn.



Figuur 4.13 Het aantal gemeten en berekende golfklappen per op de berm gelegen drukopnemer. De blauwe meetpunten hebben betrekking op proeven met de berm onder de stilwaterlijn, en de rode meetpunten op proeven met de berm gelijk aan de stilwaterlijn.

De stippellijn in Figuur 4.13 geeft de ideale trend tussen de gemeten en berekende waarden. Omdat gezocht wordt naar een conservatieve invloedsfactor $f_{\text{B,NZ} \rightarrow \text{L}}$ (zie paragraaf 1.2) dienen de meetpunten in het ideale geval op of onder de stippellijn te vallen. In de figuur is echter te zien dat nog vrij veel meetpunten net bóven de lijn vallen. Door invloedsfactor $f_{\text{B,NZ} \rightarrow \text{L}}$ te vermenigvuldigen met 1,5, wordt $N_{\text{klap,perDRO,berekend}}$ met een factor 1,5 vergroot. Daardoor vallen de meeste meetpunten nu net ónder de stippellijn, zie Figuur 4.14.



Figuur 4.14 Het aantal gemeten en berekende golfklappen per op de berm gelegen drukopnemer, na verdiscontering van de factor 1,5.

In bijlage C is voor elke drukopnemer op de berm het aantal berekende golfklappen ($N_{\text{klap,perDRO,berekend}}$), inclusief de factor 1,5, weergegeven door middel van de magenta lijnen. De magenta lijnen zijn alleen weergegeven voor proeven met een berm onder en gelijk aan de stilwaterlijn. Merk op dat variaties in de hoogte van de magenta lijnen, anders dan veroorzaakt door f_{rand} , het gevolg zijn van variaties in de afstand waarop de drukopnemers betrekking hebben.

De meetpunten die in Figuur 4.14 boven de stippellijn vallen, zijn in de onderste figuren van bijlage C te herkennen doordat in de betreffende drukopnemer de magenta lijn hoger ligt dan de groene lijn. Dit is doorgaans het geval bij drukopnemers met een grote drukopnemer-afstand in combinatie met een klein aantal golfklappen, waardoor de nauwkeurigheid van deze meetpunten relatief laag is. Daarom is ervoor gekozen op basis van deze meetpunten de factor 1,5 niet verder te vergroten.

Invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$ volgt uit vermenigvuldiging van de invloedsfactoren $f_{B,N}$, $f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow L}$ en de hierboven geconstateerde correctiefactor (1,5):

$$f_{B,N,Z \rightarrow L} = 1,5 \cdot f_{B,N} \cdot f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow L} \quad (4.18)$$

Invullen van $f_{B,N}$ en $f_{\text{verdeling,Z} \rightarrow L}$ geeft:

$$f_{B,N,Z \rightarrow L} = \frac{12}{\left(\frac{B}{H_s} + 4\right)} \cdot \int_Z^L f_{\text{rand}} \cdot \frac{d_{B,b} - \frac{(d_B - d_{B,b})}{B} \cdot x_b}{0,5 \cdot (d_B + d_{B,b}) \cdot B} dx_b \quad (4.19)$$

Mits $0 < x_b < B$

Gelet op de range waarbinnen de diverse parameters tijdens het modelonderzoek varieerden, wordt aanbevolen de invloedsfactor alleen te gebruiken binnen de volgende grenzen:

- $1:2,8 \leq$ helling van talud onder de berm $\leq 1:4,5$
- $1:9 \leq$ helling van de berm $\leq 1:20$
- $0,01 \leq s_{\text{op}} \leq 0,045$
- $-0,1 \leq d_B/H_s \leq 1,4$
- $2 \leq B/H_s \leq 10$

5 Invloedsfactor voor de golfklapgrootte op bermen

5.1 Opzet

In het onderhavige hoofdstuk wordt toegewerkt naar de invloedsfactor voor de golfklapgrootte op bermen. Daarvoor is gebruikgemaakt van de verdelingen van de golfklapgrootte zoals toegelicht in paragraaf 3.3 en weergegeven in de bijlagen C.1 t/m C.73. In de analyse is, zoals uitgelegd in paragraaf 3.3, als maat voor de golfklapgrootte gebruikgemaakt van de dimensieloze significante piekdruk: $p_{\max,s}/H_s$. Zoals genoemd in paragraaf 3.2, wordt met druk de drukhoogte in m waterkolom bedoeld.

De invloedsfactor volgt uit de verhouding van de golfklapgrootte op bermen ten opzichte van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds (zie paragraaf 4.1 voor uitleg van het begrip 'bermzone'). De golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds betreft daarbij de referentiesituatie, van waaruit de golfklapgrootte op bermen met behulp van de invloedsfactor berekend zal kunnen worden.

De invloedsfactor voor de golfklapgrootte op bermen, $f_{B,p}$, volgt uit de volgende deling:

$$f_{B,p} = \frac{\text{golfklapgrootte op berm}}{\text{golfklapgrootte in bermzone van doorgaand talud}} = \frac{p_{\max,s,\text{berm}} / H_s}{p_{\max,s,\text{talud}} / H_s} \quad (5.1)$$

Met:

$f_{B,p}$ = invloedsfactor voor het bepalen van de golfklapgrootte op bermen, ten opzichte van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds (-)

$p_{\max,s,\text{berm}}$ = significante piekdruk op de berm (m waterkolom)

$p_{\max,s,\text{talud}}$ = significante piekdruk in de bermzone van een doorgaand talud (m waterkolom)

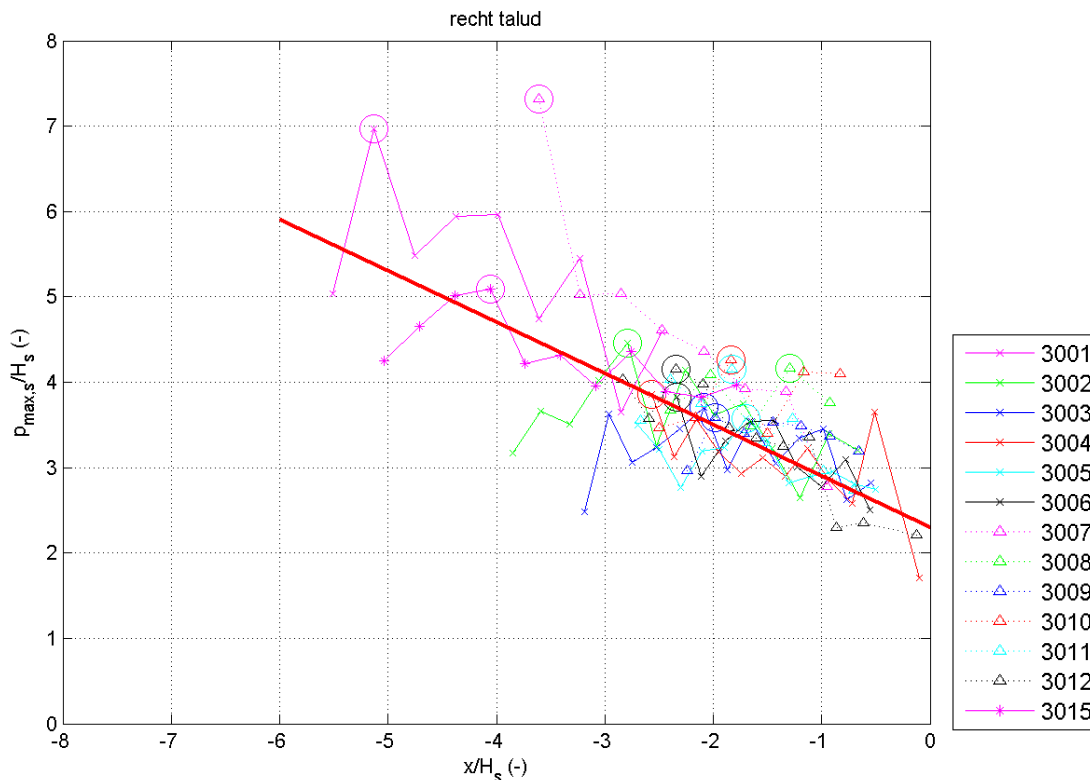
H_s = significante golfhoogte (m)

De dimensieloze significante piekdruk in de bermzone van doorgaande taluds ($p_{\max,s,\text{talud}}/H_s$) is geanalyseerd in paragraaf 5.2. De dimensieloze significante piekdruk op bermen ($p_{\max,s,\text{berm}}/H_s$) is geanalyseerd in de paragrafen 5.4 en 5.5.

5.2 Verdeling van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds

Omdat de proeven met een doorgaand talud vanwege de gelijke geometrie het makkelijkst te interpreteren zijn, zijn de ruimtelijke verdelingen van de golfklapgrootte eerst voor deze proeven weergegeven, zie Figuur 5.1. De verticale as bevat de dimensieloze significante piekdruk: $p_{\max,s}/H_s$ (-). De horizontale as bevat de horizontale locatie ten opzichte van het snijpunt van het talud met de stilwaterlijn, dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte: x/H_s (-). De verschillende lijnen hebben betrekking op verschillende proeven. De cirkels markeren van elke lijn het maximum. De lijn en cirkel van dezelfde proef hebben dezelfde kleur.

In de figuur is te zien dat de golfklapgrootte toeneemt naarmate de klap dieper op het talud terecht komt. Dat is logisch, want hoe dieper de golf aangrijpt op het talud, des te groter is de golf. En hoe groter de golven, des te groter zijn doorgaans de golfklappen.



Figuur 5.1 De ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte over het talud (doorgaand talud). De omcirkelde meetpunten betreffen het maximum van de proef.

Zoals is uitgelegd in paragraaf 5.1 is voor het bepalen van invloedsfactor $f_{B,p}$ onder andere de significante piekdruk in de bermzone van doorgaande taluds ($p_{\max,s,\text{talud}}/H_s$) benodigd. Omdat het niveau van de bermzone kan variëren, is voor doorgaande taluds gezocht naar een formule voor de significante piekdruk die afhankelijk is van de locatie op het talud ten opzichte van de stilwaterlijn, zie de rode lijn in Figuur 5.1.

Omdat bij het bepalen van invloedsfactor $f_{B,p}$ het beste resultaat wordt verkregen wanneer de lijnen zoveel mogelijk op elkaar liggen, is geprobeerd de spreiding in de lijnen te verkleinen. Bij doorgaande taluds zijn de golfsteilheid s_{op} en de taludhelling $\tan\alpha$ de enige parameters, die invloed kunnen hebben op de ruimtelijke verdelingen. Nadere analyse van de lijnen leert dat de spreiding in de lijnen niet noemenswaardig verkleind kan worden door toevoeging van de golfsteilheid.

Of de taludhelling invloed heeft op $p_{\max,s}/H_s$ kan op basis van de beschouwde proeven niet onderzocht worden, doordat alleen proeven beschikbaar zijn met een taludhelling van 1:3. In het verleden is voor steenzettingen echter gebleken dat de taludhelling geen invloed heeft op de piekdruk p_{\max} (bijlage A.57 van Klein Breteler e.a., 2012). In het onderhavige onderzoek wordt daarom aangenomen dat de taludhelling ook geen invloed heeft op $p_{\max,s}/H_s$ en de spreiding in de lijnen.

De rode lijn is iets onder het gemiddelde van de meeste ruimtelijke verdelingen getrokken. Zoals in paragraaf 1.2 is uitgelegd, is het conservatief (veilig) om ten aanzien van doorgaande taluds uit te gaan van een relatief lage belasting.

De rode lijn is beschreven door middel van de volgende formule:

$$\frac{p_{\max,s,talud}}{H_s} = -0,6 \cdot \frac{x}{H_s} + 2,3 \quad (5.2)$$

waarin x binnen de bermzone moet liggen

Met:

$p_{\max,s,talud}$ = significante piekdruk in de bermzone van een doorgaand talud (m waterkolom)

H_s = significante golfhoogte (m)

Voor praktisch gebruik van de formule is het handiger om de formule van de rode lijn uit te drukken als functie van de dimensieloze bermdiepte d_B/H_s . De golfklapgrootte in de bermzone wordt immers gezocht voor een specifieke berm met diepte d_B/H_s .

Volgens Steentoets (Klein Breteler, 2014) is de gemiddelde horizontale locatie van de maximale druk op doorgaande taluds niet afhankelijk van de taludhelling. Op basis hiervan is in het onderhavige onderzoek aangenomen dat de taludhelling geen invloed heeft op het verloop van de rode lijn als functie van x/H_s .

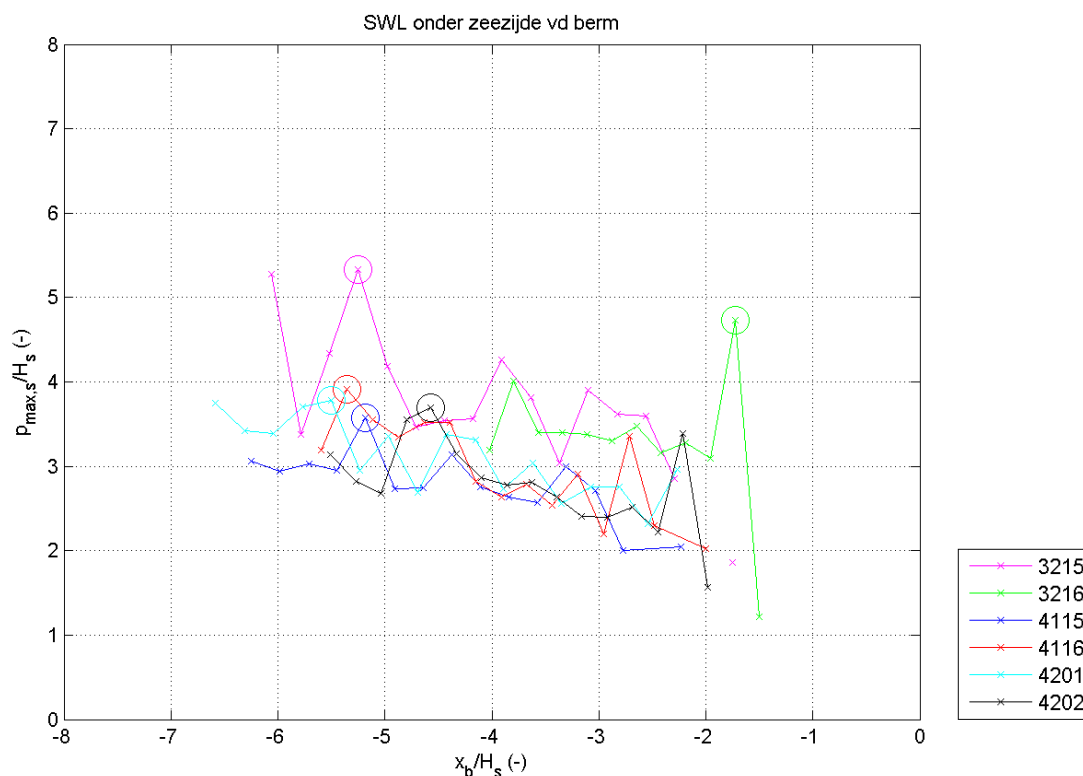
In formule (5.2) is daarom x/H_s vervangen door $(-d_B/H_s) \cdot \cot \alpha$ (de bermdiepte d_B is negatief als de berm boven water ligt en de horizontale locatie x in dat geval dus positief is). Dat resulteert in de volgende formule:

$$\frac{p_{\max,s,talud}}{H_s} = 0,6 \cdot \frac{d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha + 2,3 \quad (5.3)$$

5.3 Verdeling van de golfklapgrootte bij bermen boven de stilwaterlijn

Het is te verwachten dat de ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte bij zowel een doorgaand talud als bij de proeven met de berm boven de stilwaterlijn vergelijkbaar is. Golfklappen treden gewoonlijk immers onder de stilwaterlijn op en in beide gevallen is daar geen berm aanwezig. Van de proeven met de berm boven de stilwaterlijn is de ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte ter vergelijking weergegeven in Figuur 5.2. Rechts van $x_b/H_s = -1,5$ à -2 ontbreken de lijnen doordat dat deel van het talud boven de stilwaterlijn lag. Indien een berm aanwezig is, is de zeewaartse rand van de berm immers gedefinieerd als nulpunt voor de locatie.

De lijnen liggen gemiddeld iets lager dan bij doorgaande taluds. Wanneer boven de stilwaterlijn een berm aanwezig is, is de golfklapgrootte doorgaans dus iets kleiner dan op een doorgaand talud (conservatief). Het ligt voor de hand dat het geringe verschil tussen doorgaande taluds en bermen boven de stilwaterlijn een gevolg is van verschillen in de golfneerloop.



Figuur 5.2 De ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte over het talud (SWL onder zeewaartse rand van de berm). De omcirkelde meetpunten betreffen het maximum van de proef.

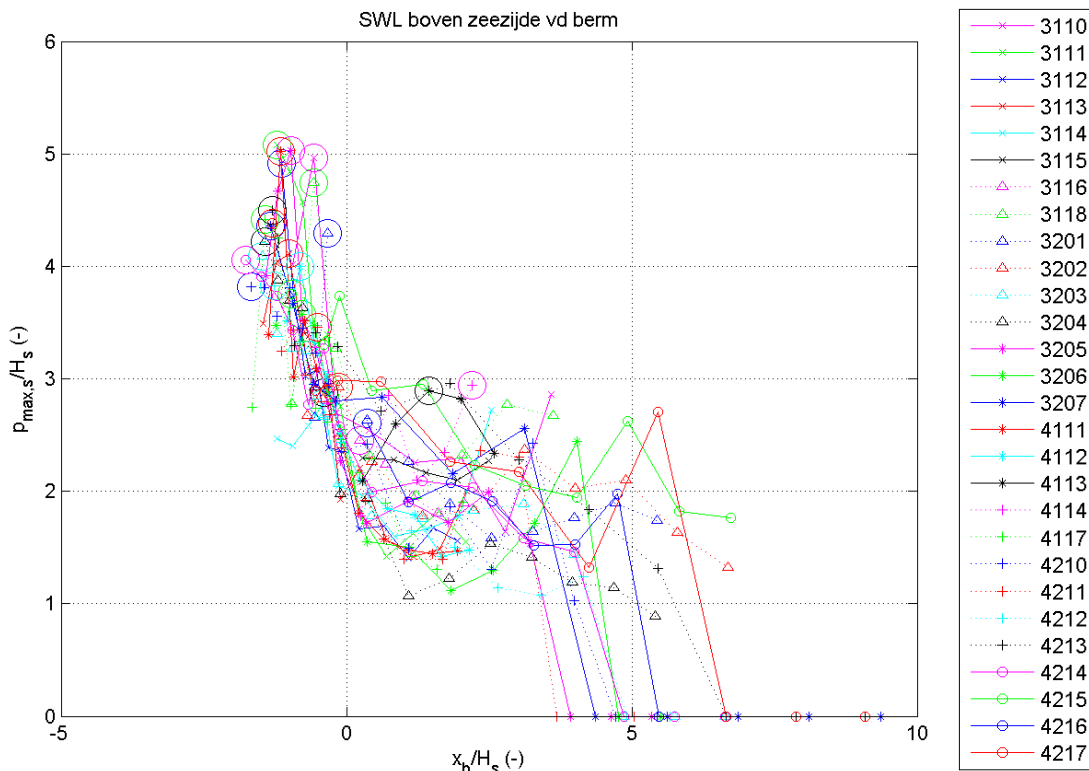
5.4 Verdeling van de golfklapgrootte bij bermen onder de stilwaterlijn

Zoals eerder is uitgelegd, volgt invloedsfactor $f_{B,p}$ uit de verhouding van de golfklapgrootte op bermen ten opzichte van de golfklapgrootte op doorgaande taluds. Na het analyseren van de doorgaande taluds (de referentiesituatie) in paragraaf 5.2, richt de analyse zich in de onderhavige en de volgende paragraaf op proeven met bermen.

Eerst, in deze paragraaf, worden de proeven beschouwd met een berm onder de stilwaterlijn, omdat bij deze proeven de meeste variabelen, zoals de waterdiepte op de berm d_B , een rol spelen. Er wordt gezocht naar een verband tussen die variabelen en de ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte op de berm.

Wanneer voor bermen onder de stilwaterlijn een verband is gevonden, wordt vervolgens in paragraaf 5.5 onderzocht of dat verband ook toepasbaar is op de proeven, waarbij de berm gelijk is aan de stilwaterlijn. Als het verband op beide situaties toepasbaar blijkt, kan het gebruikt worden voor het bepalen van invloedsfactor $f_{B,p}$.

De verdelingen van de golfklapgrootte van de proeven met de berm onder de stilwaterlijn zijn weergegeven in Figuur 5.3. Net als in Figuur 5.1 bevat de verticale as de dimensieloze significante piekdruk: $p_{max,s}/H_s$ (-). De horizontale as bevat de horizontale locatie ten opzichte van de zeewaartse rand van de berm, dimensieloos gemaakt met de significante golfhoogte: x_b/H_s (-). Merk op dat slechts de lijnstukken bij $x_b/H_s > 0$ betrekking hebben op de berm. De lijnstukken bij $x_b/H_s < 0$ hebben betrekking op het ondertalud. De meetpunten die betrekking hebben op het boventalud zijn weggelaten.



Figuur 5.3 De ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte over het talud (SWL boven zeezijdse rand van de berm).

In Figuur 5.3 is te zien dat de golfklapgrootte op de bermen duidelijk kleiner is dan op de taluds onder de bermen. De golfklapgrootte is voor de meeste proeven vrij gelijkmatig verdeeld over de hele bermbreedte, waaruit geconcludeerd kan worden dat de locatie op de berm weinig tot geen invloed heeft op de grootte van de golfklappen. Dat de lijnen vanaf circa $x_b/H_s = 4$ afnemen tot $p_{\max,s}/H_s = 0$ komt doordat daar geen golfklappen zijn geregistreerd.

Omdat de spreiding in de lijnen in Figuur 5.3 nog vrij groot is, wordt eerst onderzocht of die spreiding verkleind kan worden. Naarmate de spreiding in de lijnen afneemt, wordt het immers gemakkelijker om conclusies te trekken ten aanzien van de golfklapgrootte op de berm, ten opzichte van de golfklapgrootte op een talud zonder berm.

Hiervoor wordt gezocht naar een invloedsfactor waarmee de hoogte van elke afzonderlijke lijn boven de berm zodanig kan worden gecorrigeerd dat de lijnen beter over elkaar heen vallen. Deze invloedsfactor is in de onderstaande tekst afgeleid op basis van Figuur 5.4 en is beschreven met formule (5.4). Door de verticale as van Figuur 5.3 te corrigeren met formule (5.4) wordt vervolgens Figuur 5.5 verkregen.

Het ligt voor de hand dat de golfklapgrootte op de berm wordt beïnvloed door de waterdiepte op de berm d_B . Om die invloed inzichtelijk te maken, is in Figuur 5.4 voor alle proeven met een berm onder of gelijk aan de stilwaterlijn de dimensieloze waterdiepte op de berm (d_B/H_s) uitgezet tegen de golfklapgrootte op de berm. Als maat voor de golfklapgrootte op de berm is gekozen voor de significante waarde van de dimensieloze piekdrukken van alle golfklappen, die tijdens de beschouwde proef ergens op de berm zijn opgetreden: $p_{\max,s, \text{ alle DROs op berm}}/H_s$. Elk meetpunt heeft dus betrekking op één proef. Er is voor gekozen om per proef alle golfklappen op de berm samen te voegen, zodat de significante waarde gebaseerd kan worden op voldoende golfklappen. Het groeperen van de golfklappen mag, omdat de grootte

van de golfklappen over de hele lengte van de berm ongeveer vergelijkbaar is, zie Figuur 5.3 ($x_B/H_s > 0$).

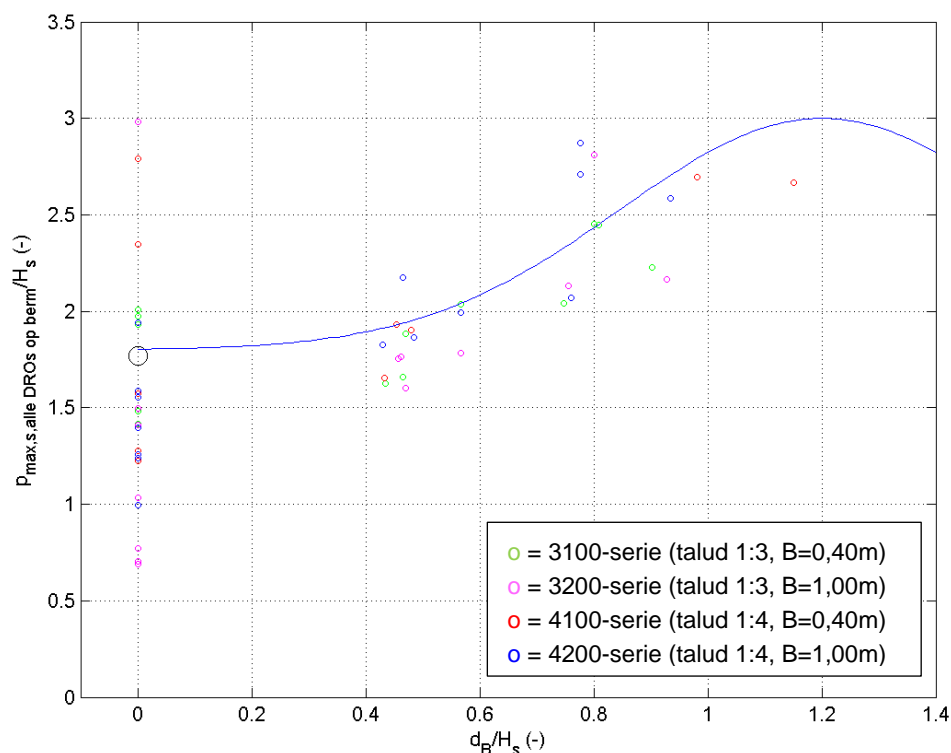
De verschillende kleuren corresponderen met de verschillende proevenseries. De meetpunten bij $d_B/H_s = 0$ hebben betrekking op de proeven met een berm op de stilwaterlijn. De meetpunten bij $d_B/H_s > 0$ hebben betrekking op de proeven met een berm onder water.

In Figuur 5.4 is bij bermen onder water ($d_B/H_s > 0$) duidelijk te zien dat de golfklapgrootte toeneemt als d_B/H_s toeneemt. Voor bermen op de waterlijn ($d_B/H_s = 0$) is de spreiding een stuk groter. Nadere beschouwing van de meetpunten bij $d_B/H_s = 0$ leert dat de grote spreiding een gevolg is van het kleine aantal golfklappen op deze bermen. De hoogte van het meetpunt is daardoor sterk afhankelijk van toevalligheden.

Om bij $d_B/H_s = 0$ de trendlijn toch te kunnen baseren op een betrouwbare golfklapgrootte, is bij $d_B/H_s = 0$ ook de significante waarde bepaald van de dimensieloze piekdrücken alle golfklappen tezamen, die ergens op de berm zijn opgetreden tijdens alle proeven met de berm op de stilwaterlijn. Zie het grote ronde zwarte meetpunt. De trendlijn kan bij $d_B/H_s = 0$ op dit zwarte meetpunt gebaseerd worden.

Daarnaast is ook onderzocht of de golfsteilheid invloed heeft op de spreiding, maar dat blijkt niet het geval.

Omdat het logisch is dat de golfklapgrootte bij grote waarden van d_B/H_s weer zal afnemen, is gekozen voor een trendlijn met de vorm van een standaard-verdeling, met het minimum nabij het grote ronde zwarte meetpunt. Deze trendlijn vormt de invloedsfactor voor de dimensieloze waterdiepte op de berm. Deze invloedsfactor voor de dimensieloze waterdiepte op de berm wordt $f_{d_B/H_s,p}$ genoemd.



Figuur 5.4 Relatie tussen de dimensieloze waterdiepte op de berm, d_B/H_s , en de dimensieloze significante piekdruk van alle golfklappen tezamen, die per proef op de berm zijn opgetreden, $p_{max,s,gem,berm}/H_s$.

De invloedsfactor $f_{dB/Hs,p}$ voor de dimensieloze waterdiepte op de berm is beschreven met de volgende formule:

$$f_{dB/Hs,p} = 1,8 + 1,2 \cdot e^{-4 \left(\frac{d_B}{H_s} - 1,2 \right)^2} \quad (5.4)$$

Met:

- $f_{dB/Hs,p}$ = invloedsfactor voor de dimensieloze waterdiepte op de berm d_B/H_s , ten aanzien van de golfklapgrootte (-)
 d_B = waterdiepte op de berm, ter plaatse van de zeewaartse rand van de berm (positief = berm ligt onder stilwaterlijn; negatief = berm ligt boven stilwaterlijn) (m)
 H_s = significante golfhoogte (m)
 e = grondtal van de natuurlijke logaritme (-)

In Figuur 5.5 zijn de lijnen van Figuur 5.3 nogmaals weergegeven, maar nu is de verticale as gecorrigeerd met de hierboven gevonden invloed van de dimensieloze waterdiepte op de berm.

Omdat de spreiding in de lijnen verder niet verkleind lijkt te kunnen worden, wordt Figuur 5.5 gebruikt als uitgangspunt voor het bepalen van de invloedsfactor $f_{B,p}$ voor de verhouding van de golfklapgrootte op de berm en de golfklapgrootte op een doorgaand talud zonder berm. Boven de lijnen wordt daartoe de omhullende lijn getekend (conservatief, zie paragraaf 1.2), zie de dikke rode lijn. Omdat bij ongeveer 2/3^e deel van de weergegeven proeven geen duidelijke afname van de golfklapgrootte over de berm aanwezig is, is gekozen voor een rechte lijn. Deze lijn heeft betrekking op de golfklapgrootte op bermen ($p_{\max,s,berm}/H_s$), die moet worden ingevuld in formule (5.1). Voor de golfklapgrootte op doorgaande taluds geldt:

$$\frac{\left(\frac{p_{\max,s,berm}}{H_s} \right)}{f_{dB/Hs,p}} = 1,25 \quad (5.5)$$

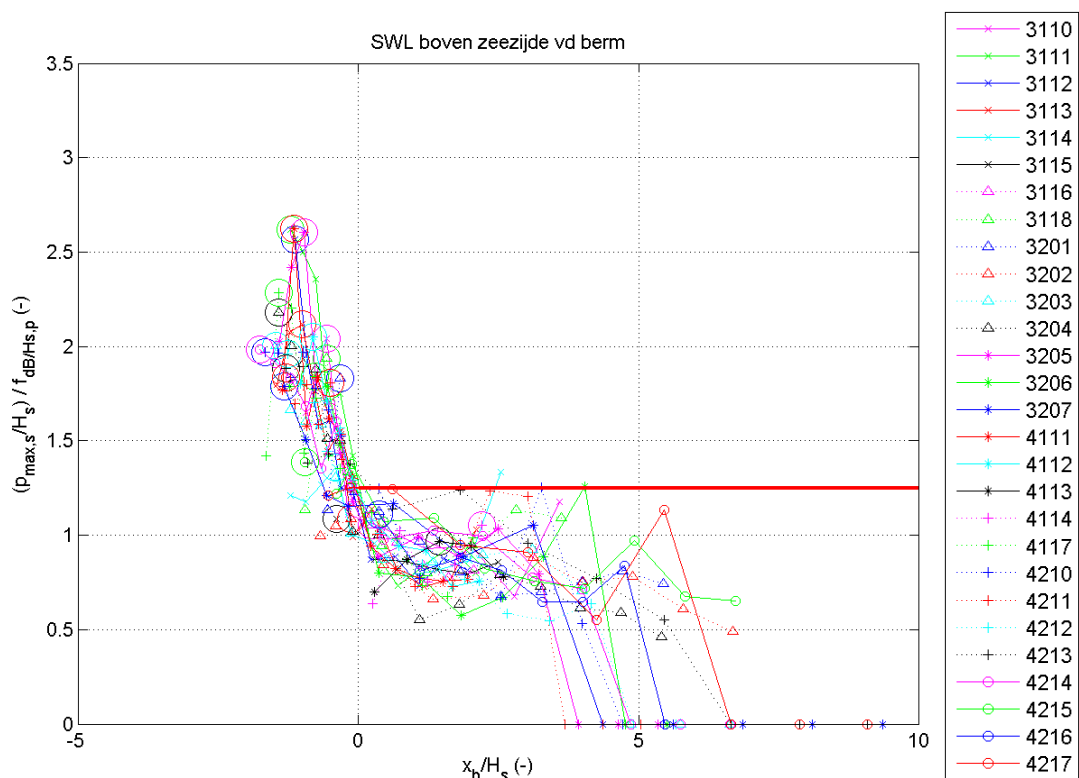
Met:

- $p_{\max,s,berm}$ = significante piekdruk op de berm (m waterkolom)
 H_s = significante golfhoogte (m)
 $f_{dB/Hs,p}$ = invloedsfactor voor de dimensieloze waterdiepte op de berm d_B/H_s , ten aanzien van de golfklapgrootte (-)

Om aan te sluiten op de vorm van formule (5.2), voor de golfklapgrootte op doorgaande taluds, is formule (5.5) als volgt herschreven:

$$\frac{p_{\max,s,berm}}{H_s} = 1,25 \cdot f_{dB/Hs,p} \quad (5.6)$$

In paragraaf 5.5 is onderzocht of de omhullende lijn ook toepasbaar is op de proeven, waarbij de berm gelijk is aan de stilwaterlijn.



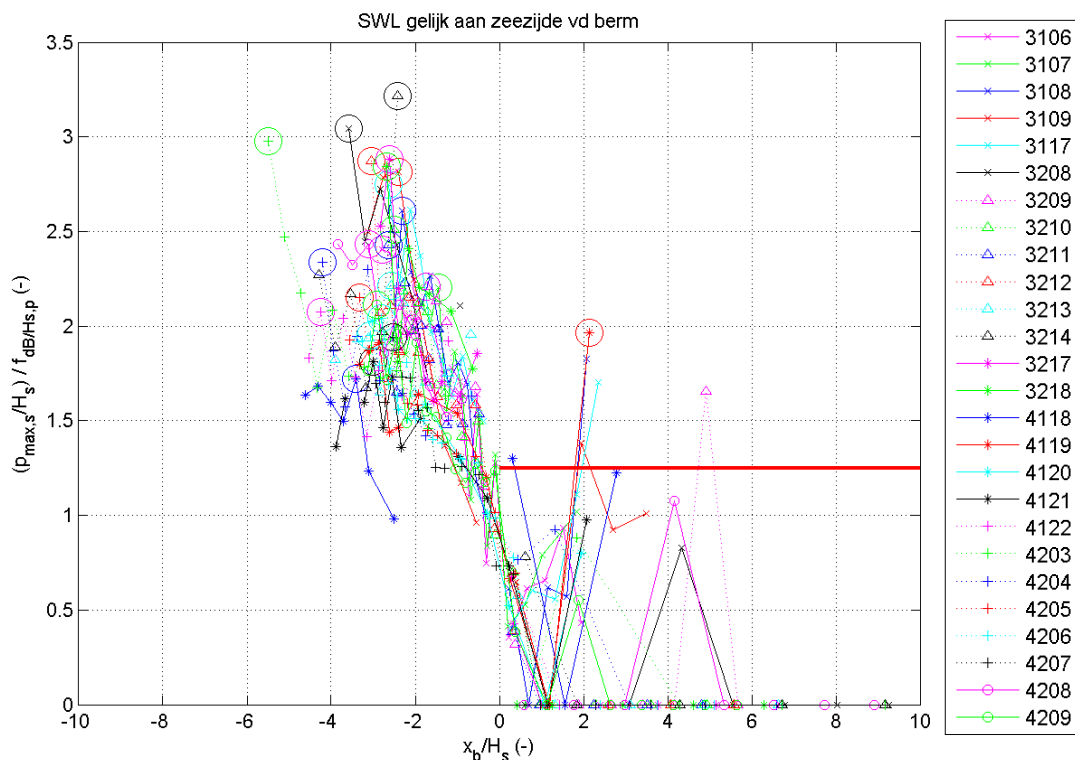
Figuur 5.5 De ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte over het talud, in verticale richting gecorrigeerd met de correctiefactor voor de dimensieloze waterdiepte op de berm (SWL boven zeevaartse rand van de berm).

5.5 Verdeling van de golfklapgrootte bij bermen gelijk aan de stilwaterlijn

Om te controleren of de in Figuur 5.5 getekende omhullende ook toepasbaar is op de proeven waarbij de berm gelijk is aan de stilwaterlijn, is eenzelfde figuur gemaakt als Figuur 5.5, maar nu voor de proeven met de berm op de stilwaterlijn, zie Figuur 5.6. In de figuur is te zien dat de omhullende in bijna alle gevallen boven de meetpunten langs gaat. Slechts in enkele gevallen liggen meetpunten boven de omhullende.

Dat is een gevolg van het kleine aantal golfklappen dat op deze bermen is opgetreden. De significante piekdruk is voor de betreffende drukopnemers gebaseerd op één tot enkele golfklappen, en is derhalve erg gevoelig voor toevalligheden. Vanwege het kleine aantal golfklappen zijn de lijnen vaak gebaseerd op de grootste golfklap per drukopnemer (zie paragraaf 3.3). Wanneer bij een veel langere proefduur meer golfklappen zouden zijn opgetreden, had $p_{max,s}$ nauwkeuriger berekend kunnen worden en had de omhullende naar verwachting wel voldaan. Om dezelfde reden is in Figuur 5.4 de trendlijn bij $d_B/H_s = 0$ gebaseerd op het grote ronde zwarte meetpunt (gemiddelde van alle proeven) en niet op de kleine ronde meetpunten (afzonderlijke proeven).

Het is vanwege de voorgaande reden niet realistisch de omhullende voor de buitenliggende proeven te corrigeren. Er kan daarom geconcludeerd worden dat de omhullende ook toepasbaar is op de proeven met de berm op de stilwaterlijn.



Figuur 5.6 De ruimtelijke verdeling van de golfklapgrootte over het talud, in verticale richting gecorrigeerd met de correctiefactor voor de dimensieloze waterdiepte op de berm (SWL gelijk aan zeewaartse rand van de berm).

5.6 Invloedsfactor voor de golfklapgrootte op bermen

De invloedsfactor voor de golfklapgrootte op bermen volgt uit de verhouding van de golfklapgrootte op bermen ten opzichte van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds. De invloedsfactor, $f_{B,p}$, volgt uit de volgende deling:

$$f_{B,p} = \frac{\text{golfklapgrootte op berm}}{\text{golfklapgrootte in bermzone van doorgaand talud}} = \frac{p_{\max,s,\text{berm}} / H_s}{p_{\max,s,\text{talud}} / H_s} \quad (5.7)$$

Met:

$f_{B,p}$ = invloedsfactor voor het bepalen van de golfklapgrootte op bermen, ten opzichte van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds (-)

$p_{\max,s,\text{berm}}$ = significante piekdruk op de berm (m waterkolom)

$p_{\max,s,\text{talud}}$ = significante piekdruk in de bermzone van een doorgaand talud (m waterkolom)

H_s = significante golfhoogte (m)

De golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds ($p_{\max,s,\text{talud}}/H_s$) is bepaald in paragraaf 5.2, zie formule (5.3). De golfklapgrootte op bermen ($p_{\max,s,\text{berm}}/H_s$) is bepaald in de paragrafen 5.4 en 5.5, zie formule (5.6).

Invullen van formule (5.7) geeft:

$$f_{B,p} = \frac{1,25 \cdot f_{dB/H_s,p}}{0,6 \cdot \frac{d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha + 2,3} \quad (5.8)$$

Waarin:

$$f_{dB/H_s,p} = 1,8 + 1,2 \cdot e^{-4 \cdot \left(\frac{d_B}{H_s} - 1,2\right)^2} \quad (5.9)$$

De formules (5.8) en (5.9) resulteren in de invloedsfactor $f_{B,p}$ voor de golfklapgrootte op bermen, ten opzichte van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds:

$$f_{B,p} = \frac{1,5 \cdot e^{-4 \cdot \left(\frac{d_B}{H_s} - 1,2\right)^2} + 2,25}{0,6 \cdot \frac{d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha + 2,3} \quad (5.10)$$

Gelet op de range waarbinnen de diverse parameters tijdens het modelonderzoek varieerden, wordt aanbevolen de formule alleen te gebruiken binnen de volgende grenzen:

- $1:2,8 \leq$ helling van talud onder de berm $\leq 1:4,5$
- $1:9 \leq$ helling van de berm $\leq 1:20$
- $0,01 \leq s_{op} \leq 0,045$
- $-0,1 \leq d_B/H_s \leq 1,4$
- $2 \leq B/H_s \leq 10$

6 Samenvatting en conclusies

6.1 Inleiding

In 2013 is een literatuurstudie uitgevoerd naar de stabiliteit van asfalt op een berm bij golfaanval (Davidse, 2013). Een kennisleemte die daarbij gesignaleerd is, betreft de hydraulische belasting op de asfaltbekleding op de berm, die anders is dan wanneer het asfalt op een talud ligt. Diverse in de literatuur gevonden adviezen stellen dat de hydraulische belasting op bermen rond de waterlijn, of op zeer brede bermen, aanzienlijk minder is dan op doorgaande taluds, maar er zijn geen formules gevonden voor het berekenen van de hydraulische belasting op asfaltbermen. Omdat daar wel behoefte aan is, zijn in het onderhavige rapport formules ontwikkeld voor het berekenen van de hydraulische belasting op de asfaltbekleding op bermen. De hydraulische belasting is gekwantificeerd op basis van beschikbare metingen uit 1992 (De Waal, 1992).

De resulterende formules zijn bedoeld voor gebruik in het rekenmodel Golfklap, dat gebruikt wordt voor het beoordelen van asfaltbekledingen. In het rekenmodel Golfklap worden onder andere de volgende twee aspecten van de hydraulische belasting onderscheiden: 1) het aantal golfklappen, en 2) de grootte van de golfklappen. In Golfklap wordt niet gekeken naar golffronten, omdat wordt verondersteld dat deze nauwelijks invloed hebben op de stabiliteit van asfaltbekledingen.

Volgens de toetsing moet bij de beoordeling op het mechanisme 'golfklappen' in geval van een berm worden gerekend met de taludhelling van het talud onder de berm. Per saldo wordt daardoor bij bermen gerekend met de hydraulische belasting, die optreedt op een doorgaand talud zonder berm. Omdat het voorgaande mogelijk zeer conservatief is, zijn in de onderhavige analyse twee invloedsfactoren ontwikkeld:

- Invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$: de verhouding tussen het aantal golfklappen op een willekeurig stukje van de berm (van dit stukje is de zeewaartse zijde aangeduid met Z en de landwaartse zijde met L) en het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud. De bermzone betreft de verticale zone waarbinnen de berm ligt (zie Figuur 4.1).
- Invloedsfactor $f_{B,p}$: de verhouding tussen de golfklapgrootte (piekdruk op het asfalt) op de berm en de golfklapgrootte in de bermzone van een doorgaand talud.

Gedurende de analyse is gebleken dat het zeer gecompliceerd is om de grootte en de ruimtelijke verdeling van de hydraulische belasting op bermen te beschrijven door middel van formules. Op basis van de gebruikte meetdata, met een beperkte range aan geometrieën en hydraulische condities en een beperkt aantal proeven en drukopnemers, is voorsnog gekozen voor het afleiden van conservatieve invloedsfactoren. Opgemerkt wordt dat de ontwikkelde invloedsfactoren overigens al een veel kleinere hydraulische belasting opleveren dan de belasting waarmee tot nu toe wordt gerekend op asfaltbermen. Voorsnog wordt op asfaltbermen immers gerekend met de hydraulische belasting die optreedt op een doorgaand talud zonder berm.

Overigens moet worden opgemerkt dat de belasting op een asfaltbekleding op een berm niet alleen bestaat uit golfklappen. Wanneer een berm zich onder de stilwaterlijn bevindt, kunnen

er ook statische stijghoogteverschillen ontstaan, die het asfalt kunnen doen opbarsten. Daarnaast kan verkeersbelasting optreden als de berm zich boven de stilwaterlijn bevindt. Ook met deze, soms wellicht meer maatgevende, belastingen moet bij het toetsen en ontwerpen van asfaltbekledingen op bermen rekening gehouden worden.

6.2 Invloedsfactor ten aanzien van het aantal golfklappen

De analyse in hoofdstuk 4 heeft geleid tot de volgende invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$ waarmee het aantal golfklappen op elk willekeurig stukje van de berm tussen $x_b = Z$ en $x_b = L$ kan worden berekend, uitgaande van het aantal golfklappen dat op een doorgaand talud zou zijn opgetreden binnen de bermzone.

$$f_{B,N,Z \rightarrow L} = \frac{12}{\left(\frac{B}{H_s} + 4\right)} \cdot \int_Z^L f_{rand} \cdot \frac{d_{B,b} - \frac{(d_B - d_{B,b})}{B} \cdot x_b}{0,5 \cdot (d_B + d_{B,b}) \cdot B} dx_b \quad (6.1)$$

Mits $0 < x_b < B$

Waarin voor f_{rand} geldt:

Als $d_B > 0$ EN ($0 \leq x_b < 0,5 \cdot H_s$ OF $B - 0,5 \cdot H_s \leq x_b \leq B$), dan:

$$f_{rand} = 4$$

Anders:

$$f_{rand} = 1$$

Met:

$f_{B,N,Z \rightarrow L}$ = invloedsfactor voor het bepalen van het aantal golfklappen op een willekeurig stukje berm tussen $x_b = Z$ en $x_b = L$ (-)

B = bermbreedte (m)

H_s = significante golfhoogte (m)

f_{rand} = factor vanwege het hogere aantal golfklappen bij de zee- en landwaartse rand van bermen onder de stilwaterlijn (-)

d_B = waterdiepte boven de zeewaartse rand van de berm (= bermdiepte) (m)

$d_{B,b}$ = waterdiepte boven de landwaartse rand van de berm (m)

x_b = horizontale locatie op de berm ten opzichte van de zeewaartse rand van de berm (positief = op de berm; negatief = zeewaarts van de berm) (m)

Z = x_b -locatie van zeewaartse zijde van het beschouwde stukje berm (m)

L = x_b -locatie van landwaartse zijde van het beschouwde stukje berm (m)

Met invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$ kan het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud ($N_{klap,zberm}$) worden omgerekend naar het aantal golfklappen op elk willekeurig stukje berm tussen $x_b = Z$ en $x_b = L$. Het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud ($N_{klap,zberm}$) is daarbij het uitgangspunt. $N_{klap,zberm}$ kan eenvoudig in Golfklap bepaald worden.

In de analyse is echter gebleken dat gebruik van uitsluitend $N_{klap,zberm}$ soms een onderschatting oplevert van het aantal golfklappen op de berm. Er is gebleken dat bij het bepalen van het aantal golfklappen op de berm een ondergrens gehanteerd moet worden voor het aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud. Deze ondergrens

$(N_{klap,min})$, die nog in Golfklap geïmplementeerd moet worden, is in de analyse afgeleid en is als volgt:

$$N_{klap,min} = \min \left(\frac{0,15N}{10\sigma} \cdot \left(\frac{-d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha - \mu + 10\sigma \right); \frac{0,15N}{4\sigma} \cdot \left(\frac{d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha + \mu + 4\sigma \right) \right) \quad (6.2)$$

Waarin:

$$\mu = -0,14 \cdot s_{op}^{-0,71} \quad (6.3)$$

$$\sigma = 0,036 \cdot s_{op}^{-0,76} \quad (6.4)$$

Met:

$N_{klap,min}$ = ondergrens aan aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud (-)

N = aantal inkomende golven (-)

s_{op} = golfsteilheid (-)

Omdat invloedsfactor $f_{B,N,Z \rightarrow L}$ dient te worden toegepast over het maximum van $N_{klap,zberm}$ en $N_{klap,min}$, volgt het aantal golfklappen op een willekeurig stukje berm tussen $x_b = Z$ en $x_b = L$ uit de volgende formule:

$$N_{klap,zberm,Z \rightarrow L} = \max(N_{klap,zberm}; N_{klap,min}) \cdot f_{B,N,Z \rightarrow L} \quad (6.5)$$

Met:

$N_{klap,zberm,Z \rightarrow L}$ = aantal golfklappen op het stukje berm tussen $x_b = Z$ en $x_b = L$ (-)

$N_{klap,zberm}$ = aantal golfklappen in de bermzone van een doorgaand talud (-)

Merk op dat f_{rand} er bij bermen onder de stilwaterlijn toe leidt dat het aantal golfklappen in de zones $0 \leq x_b < 0,5 \cdot H_s$ en $B - 0,5 \cdot H_s \leq x_b \leq B$ ongeveer 4 keer zo hoog is als midden op de berm.

Gelet op de range waarbinnen de diverse parameters tijdens het modelonderzoek varieerden, wordt aanbevolen de formules alleen te gebruiken binnen de volgende grenzen:

- $1:2,8 \leq$ helling van talud onder de berm $\leq 1:4,5$
- $1:9 \leq$ helling van de berm $\leq 1:20$
- $0,01 \leq s_{op} \leq 0,045$
- $-0,1 \leq d_B/H_s \leq 1,4$
- $2 \leq B/H_s \leq 10$

6.3 Invloedsfactor ten aanzien van de golfklapgrootte

Uit de analyse is gebleken dat de golfklapgrootte op bermen kleiner is dan in de bermzone van doorgaande taluds zonder berm. In tegenstelling tot het aantal golfklappen is de golfklapgrootte ongeveer overal op de berm even groot.

De analyse heeft geresulteerd in de volgende invloedsfactor $f_{B,p}$ waarmee de golfklapgrootte op de berm berekend kan worden, ten opzichte van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds zonder berm.

$$f_{B,p} = \frac{1,5 \cdot e^{-4 \cdot \left(\frac{d_B}{H_s} - 1,2\right)^2} + 2,25}{0,6 \cdot \frac{d_B}{H_s} \cdot \cot \alpha + 2,3} \quad (6.6)$$

Met:

- $f_{B,p}$ = invloedsfactor voor het bepalen van de golfklapgrootte op bermen, ten opzichte van de golfklapgrootte in de bermzone van doorgaande taluds (-)
- e = grondtal van de natuurlijke logaritme (-)
- d_B = waterdiepte op de berm, ter plaatse van de zeewaartse rand van de berm
(positief = berm ligt onder stilwaterlijn; negatief = berm ligt boven stilwaterlijn)
(m)
- H_s = significante golfhoogte (m)

Gelet op de range waarbinnen de diverse parameters tijdens het modelonderzoek varieerden, wordt aanbevolen de formule alleen te gebruiken binnen de volgende grenzen:

- $1:2,8 \leq$ helling van talud onder de berm $\leq 1:4,5$
- $1:9 \leq$ helling van de berm $\leq 1:20$
- $0,01 \leq s_{op} \leq 0,045$
- $-0,1 \leq d_B/H_s \leq 1,4$
- $2 \leq B/H_s \leq 10$

7 Referenties

Davidse, M.P. (2013), *Bureaustudie asfalt op bermen*, rapport e130230301, definitief, KOAC-NPC, 1 november 2013

De Waal, J.P. (1992), *Taludbekledingen van gezette steen, Golfdruk op het talud*, rapport H195, Waterloopkundig Laboratorium, december 1992

't Hart, R. (2015), *Voorbeeldberekeningen consequenties degradatie asfalt volgens levensduurmodel*, Memo, Deltares, maart 2015

Klein Breteler, M., I. van der Werf, en I. Wenneker (2012), *Kwantificering golfbelasting en invloed lange golven, Onderzoeksprogramma Kennisleemtes Steenbekledingen*, rapport 1204727-009-HYE-0007, Deltares, maart 2012

Klein Breteler, M. (2014), *Documentatie Steentoets2014, Excel-programma voor het berekenen van de stabiliteit van steenzettingen*, rapport 1208045-009-HYE-0008, Deltares, juli 2014

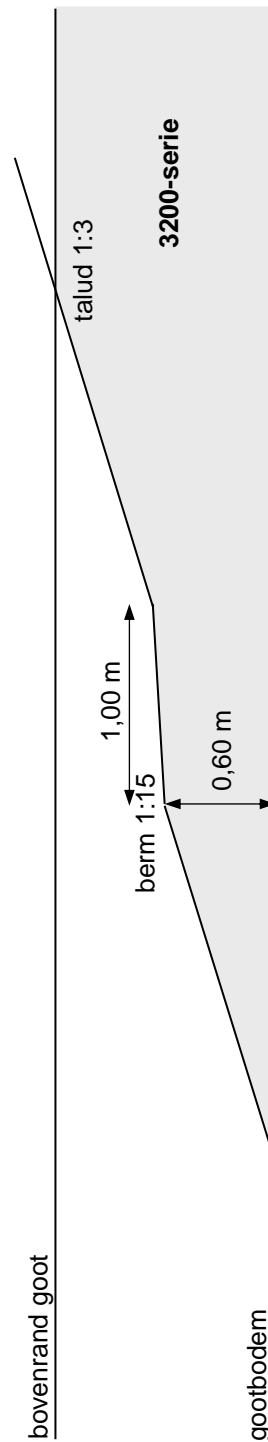
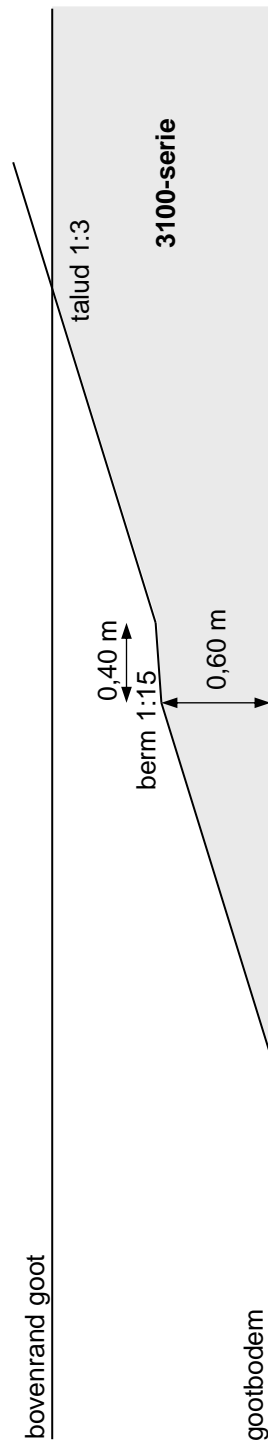
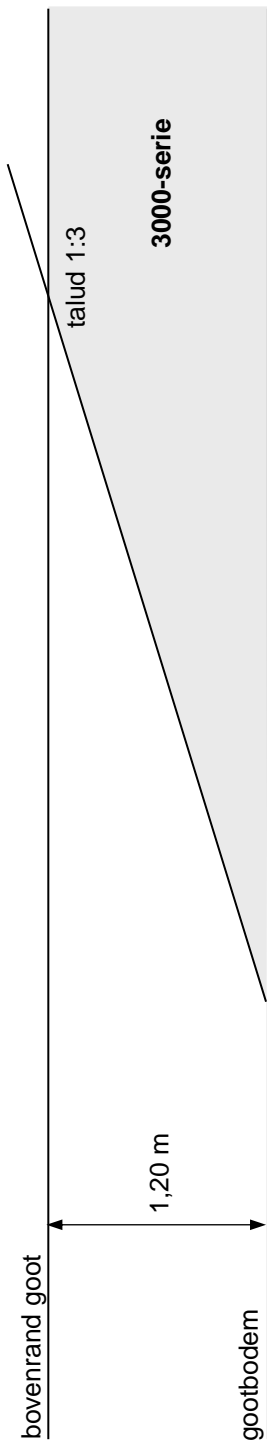
Mourik, G.C., en M. Klein Breteler (2012), *Stabiliteit van steenzettingen boven de stilwaterlijn en invloed van een berm*, rapport 1202551-009-HYE-0006, versie 2.0, Deltares, januari 2012

A Overzicht randvoorwaarden

Proef	Randvoorwaarden								Resultaat ANALYSEWAVE	
	$\tan\alpha$ [-]	B_{berm} [m]	h [m]	H_s [m]	T_p [s]	d_B [m]	s_{op} [-]	ξ_{op} [-]	N [-]	N_{klap} [-]
3001	0.33	0.00	0.60	0.100	2.56	0.00	0.010	3.37	838	157
3002	0.33	0.00	0.60	0.143	2.19	0.00	0.019	2.41	821	396
3003	0.33	0.00	0.60	0.173	1.95	0.00	0.029	1.95	835	555
3004	0.33	0.00	0.60	0.185	1.88	0.00	0.034	1.82	825	572
3005	0.33	0.00	0.60	0.190	1.75	0.00	0.040	1.67	856	631
3006	0.33	0.00	0.60	0.171	1.69	0.00	0.038	1.70	877	608
3007	0.33	0.00	0.60	0.100	1.76	0.00	0.021	2.32	879	285
3008	0.33	0.00	0.60	0.103	1.38	0.00	0.035	1.79	858	289
3009	0.33	0.00	0.60	0.144	1.57	0.00	0.037	1.72	836	454
3010	0.33	0.00	0.60	0.114	1.57	0.00	0.030	1.94	831	373
3011	0.33	0.00	0.60	0.135	1.69	0.00	0.030	1.91	901	470
3012	0.33	0.00	0.60	0.154	1.88	0.00	0.028	1.99	831	487
3015	0.33	0.00	0.60	0.117	2.56	0.00	0.011	3.12	834	244
3101	0.33	0.40	0.52	0.166	1.79	-0.08	0.033	1.83	-	-
3102	0.33	0.40	0.52	0.144	2.15	-0.08	0.020	2.36	-	-
3103	0.33	0.40	0.60	0.101	2.56	0.00	0.010	3.35	-	-
3104	0.33	0.40	0.60	0.141	2.16	0.00	0.019	2.39	-	-
3105	0.33	0.40	0.60	0.173	1.96	0.00	0.029	1.96	-	-
3106	0.33	0.40	0.60	0.184	1.84	0.00	0.035	1.79	850	547
3107	0.33	0.40	0.60	0.196	1.76	0.00	0.041	1.66	871	620
3108	0.33	0.40	0.60	0.173	1.71	0.00	0.038	1.71	874	543
3109	0.33	0.40	0.60	0.103	1.78	0.00	0.021	2.31	839	257
3110	0.33	0.40	0.68	0.100	1.71	0.08	0.022	2.25	867	104
3111	0.33	0.40	0.68	0.172	1.71	0.08	0.038	1.72	885	342
3112	0.33	0.40	0.68	0.184	1.89	0.08	0.033	1.83	850	366
3113	0.33	0.40	0.68	0.170	1.95	0.08	0.029	1.97	889	348
3114	0.33	0.40	0.68	0.141	2.20	0.08	0.019	2.44	894	247
3115	0.33	0.40	0.73	0.144	2.17	0.13	0.020	2.38	899	220
3116	0.33	0.40	0.73	0.174	1.73	0.13	0.037	1.73	860	259
3117	0.33	0.40	0.60	0.152	1.66	0.00	0.035	1.77	848	486
3118	0.33	0.40	0.68	0.099	1.82	0.08	0.019	2.41	848	96
3201	0.33	1.00	0.73	0.172	1.74	0.13	0.036	1.75	822	172
3202	0.33	1.00	0.73	0.140	2.10	0.13	0.020	2.34	864	71
3203	0.33	1.00	0.68	0.141	2.13	0.08	0.020	2.36	852	202
3204	0.33	1.00	0.68	0.173	1.97	0.08	0.029	1.97	808	307
3205	0.33	1.00	0.68	0.175	1.82	0.08	0.034	1.81	798	317
3206	0.33	1.00	0.68	0.170	1.72	0.08	0.037	1.74	837	294
3207	0.33	1.00	0.68	0.100	1.86	0.08	0.019	2.45	842	75
3208	0.33	1.00	0.60	0.101	1.88	0.00	0.018	2.46	810	209
3209	0.33	1.00	0.60	0.165	1.65	0.00	0.039	1.69	854	519
3210	0.33	1.00	0.60	0.190	1.74	0.00	0.040	1.66	801	517
3211	0.33	1.00	0.60	0.195	1.88	0.00	0.035	1.77	810	502
3212	0.33	1.00	0.60	0.168	1.88	0.00	0.030	1.91	841	438
3213	0.33	1.00	0.60	0.141	2.21	0.00	0.019	2.45	836	318
3214	0.33	1.00	0.60	0.102	2.45	0.00	0.011	3.19	866	87
3215	0.33	1.00	0.52	0.141	2.10	-0.08	0.020	2.33	821	411
3216	0.33	1.00	0.52	0.165	1.80	-0.08	0.033	1.84	797	536
3217	0.33	1.00	0.60	0.182	1.88	0.00	0.033	1.83	812	483
3218	0.33	1.00	0.60	0.149	1.64	0.00	0.036	1.77	875	410
Overzicht randvoorwaarden 3000-, 3100- en 3200-serie										
									Talud 1:3	
Deltares									1209832-014	FIG A.1

Proef	Randvoorwaarden								Resultaat ANALYSEWAVE	
	$\tan\alpha$ [-]	B_{berm} [m]	h [m]	H_s [m]	T_p [s]	d_B [m]	s_{op} [-]	ξ_{sop} [-]	N [-]	N_{klap} [-]
4001	0.25	0.00	0.60	0.101	2.48	0.00	0.011	2.44	-	-
4002	0.25	0.00	0.60	0.143	2.21	0.00	0.019	1.82	-	-
4003	0.25	0.00	0.60	0.164	1.95	0.00	0.028	1.50	-	-
4004	0.25	0.00	0.60	0.182	1.82	0.00	0.035	1.33	-	-
4005	0.25	0.00	0.60	0.194	1.74	0.00	0.041	1.23	-	-
4006	0.25	0.00	0.60	0.105	1.78	0.00	0.021	1.72	-	-
4007	0.25	0.00	0.60	0.158	1.70	0.00	0.035	1.34	-	-
4008	0.25	0.00	0.60	0.100	2.48	0.00	0.010	2.45	-	-
4009	0.25	0.00	0.60	0.165	1.55	0.00	0.044	1.19	-	-
4101	0.25	0.40	0.60	0.103	2.48	0.00	0.011	2.41	-	-
4102	0.25	0.40	0.60	0.143	2.21	0.00	0.019	1.82	-	-
4103	0.25	0.40	0.60	0.167	1.99	0.00	0.027	1.52	-	-
4104	0.25	0.40	0.60	0.183	1.86	0.00	0.034	1.36	-	-
4105	0.25	0.40	0.60	0.198	1.74	0.00	0.042	1.22	-	-
4106	0.25	0.40	0.60	0.107	1.78	0.00	0.022	1.70	-	-
4107	0.25	0.40	0.60	0.165	1.74	0.00	0.035	1.34	-	-
4108	0.25	0.40	0.68	0.103	1.82	0.08	0.020	1.77	-	-
4109	0.25	0.40	0.68	0.135	2.10	0.08	0.020	1.78	-	-
4110	0.25	0.40	0.68	0.169	1.95	0.08	0.028	1.48	-	-
4111	0.25	0.40	0.68	0.185	1.82	0.08	0.036	1.32	799	441
4112	0.25	0.40	0.68	0.167	1.71	0.08	0.037	1.31	846	391
4113	0.25	0.40	0.76	0.139	2.21	0.16	0.018	1.85	873	184
4114	0.25	0.40	0.76	0.163	1.74	0.16	0.035	1.35	860	206
4115	0.25	0.40	0.52	0.145	2.10	-0.08	0.021	1.72	840	512
4116	0.25	0.40	0.52	0.162	1.82	-0.08	0.031	1.41	790	574
4117	0.25	0.40	0.68	0.176	1.95	0.08	0.030	1.45	870	494
4118	0.25	0.40	0.60	0.129	2.82	0.00	0.010	2.45	896	218
4119	0.25	0.40	0.60	0.168	2.00	0.00	0.027	1.52	810	336
4120	0.25	0.40	0.60	0.184	1.86	0.00	0.034	1.35	792	368
4121	0.25	0.40	0.60	0.173	2.21	0.00	0.023	1.66	854	363
4122	0.25	0.40	0.60	0.140	2.48	0.00	0.015	2.07	885	283
4201	0.25	1.00	0.52	0.144	2.10	-0.08	0.021	1.73	835	548
4202	0.25	1.00	0.52	0.165	1.82	-0.08	0.032	1.40	779	576
4203	0.25	1.00	0.60	0.102	2.48	0.00	0.011	2.42	850	245
4204	0.25	1.00	0.60	0.142	2.21	0.00	0.019	1.83	844	462
4205	0.25	1.00	0.60	0.168	1.91	0.00	0.030	1.46	862	543
4206	0.25	1.00	0.60	0.183	1.86	0.00	0.034	1.36	831	572
4207	0.25	1.00	0.60	0.191	1.74	0.00	0.040	1.24	806	585
4208	0.25	1.00	0.60	0.105	1.86	0.00	0.019	1.79	809	351
4209	0.25	1.00	0.60	0.166	1.74	0.00	0.035	1.33	838	586
4210	0.25	1.00	0.68	0.172	1.95	0.08	0.029	1.47	819	364
4211	0.25	1.00	0.68	0.186	1.82	0.08	0.036	1.32	795	393
4212	0.25	1.00	0.68	0.165	1.74	0.08	0.035	1.34	854	341
4213	0.25	1.00	0.68	0.103	1.86	0.08	0.019	1.81	829	116
4214	0.25	1.00	0.68	0.141	2.16	0.08	0.019	1.80	876	288
4215	0.25	1.00	0.73	0.139	2.10	0.13	0.020	1.76	869	130
4216	0.25	1.00	0.73	0.171	1.74	0.13	0.036	1.31	851	205
4217	0.25	1.00	0.68	0.103	1.78	0.08	0.021	1.73	843	117
Overzicht randvoorwaarden 4000-, 4100- en 4200-serie										
									Talud 1:4	
Deltares									1209832-014	FIG A.2

B Geometrie modelopstelling, DRO-locaties en waterstandniveaus



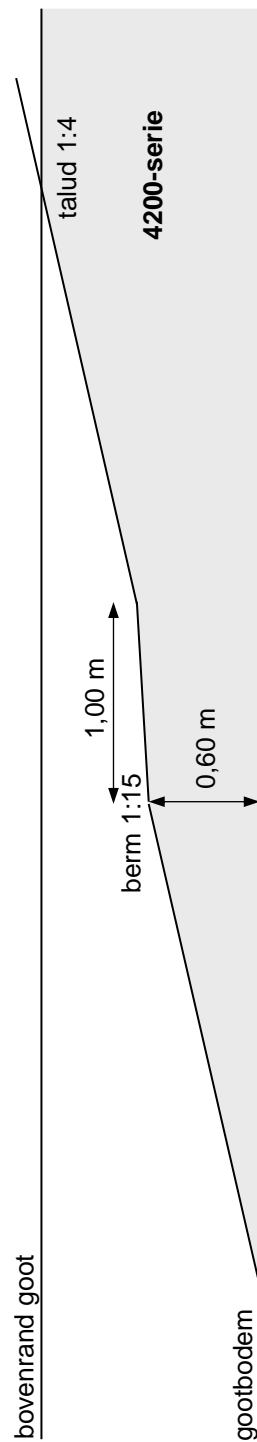
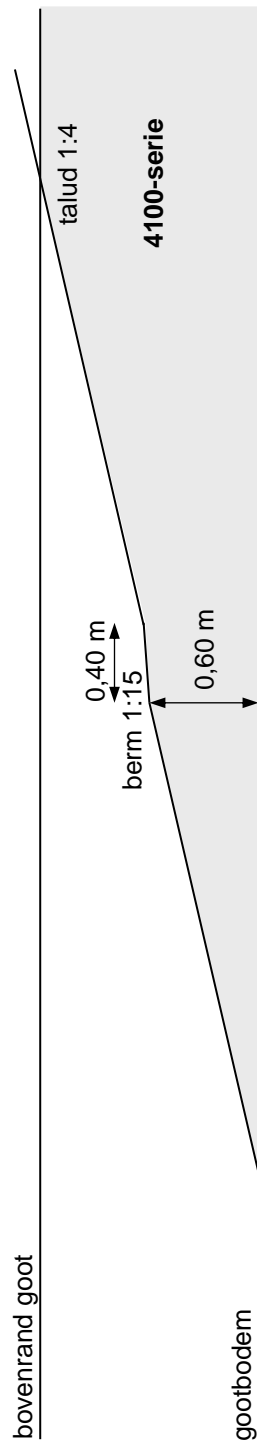
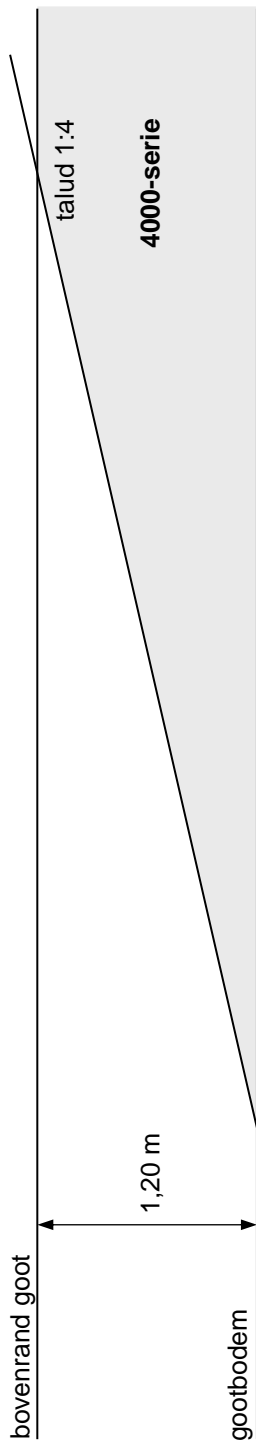
Geometrie modelopstelling
3000-, 3100- en 3200-serie

Talud 1:3

Deltares

1209832-014

FIG B.1



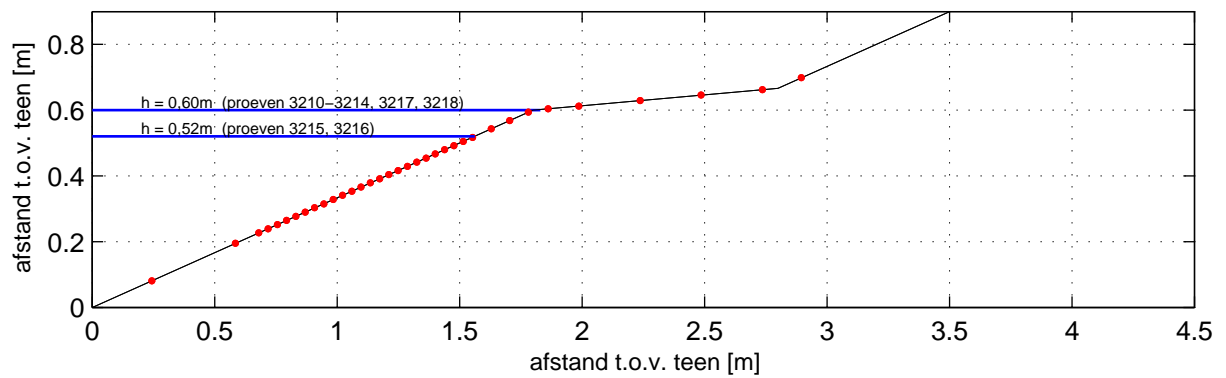
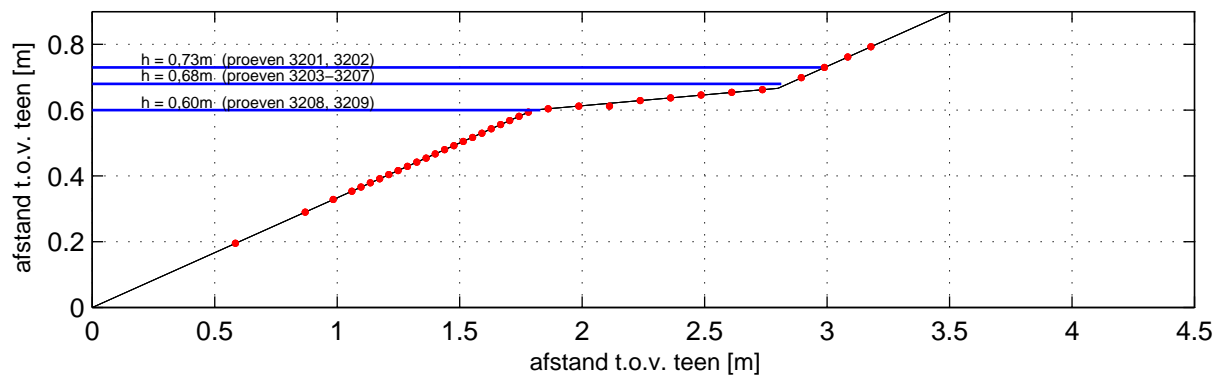
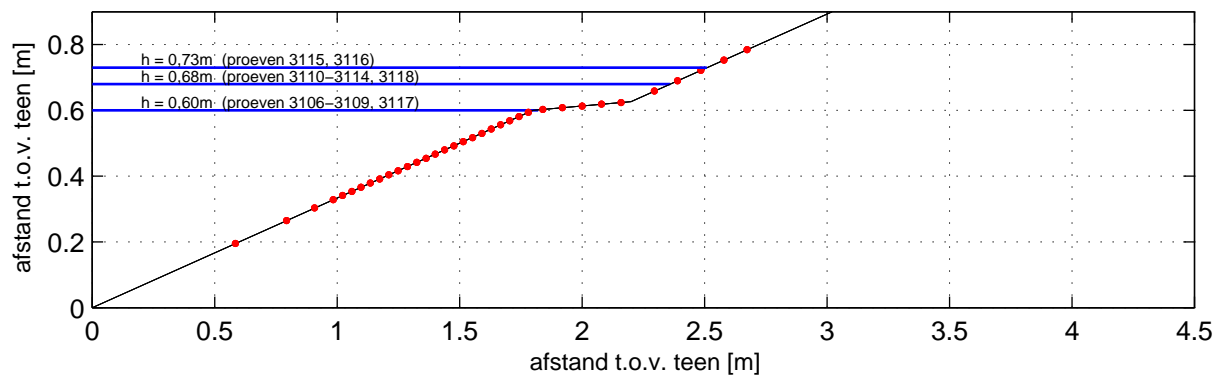
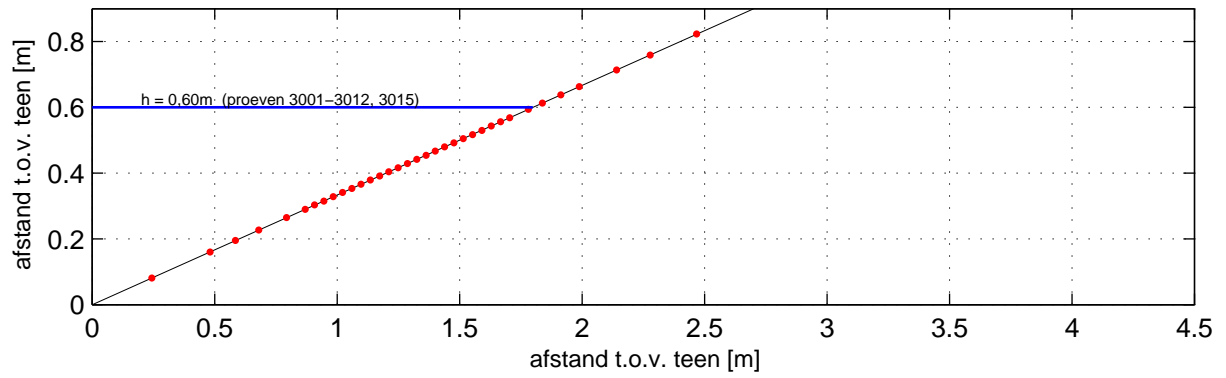
Geometrie modelopstelling
4000-, 4100- en 4200-serie

Talud 1:4

Deltares

1209832-014

FIG B.2



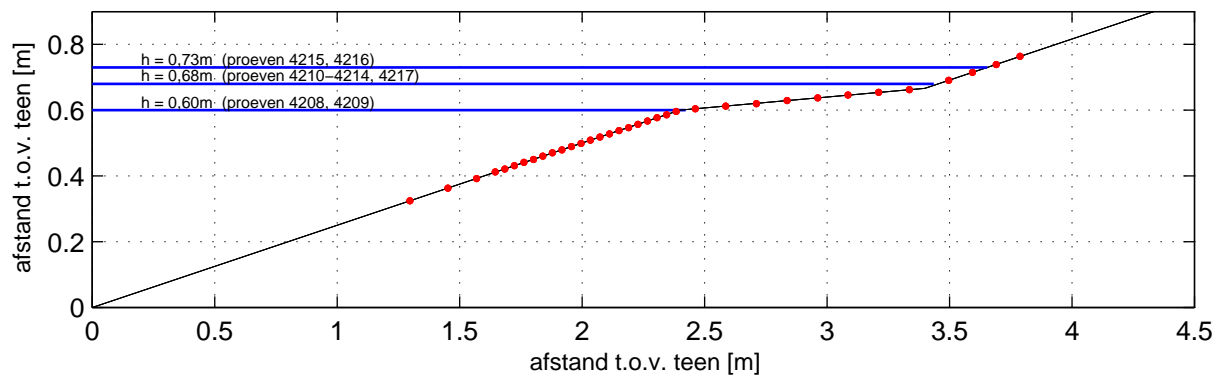
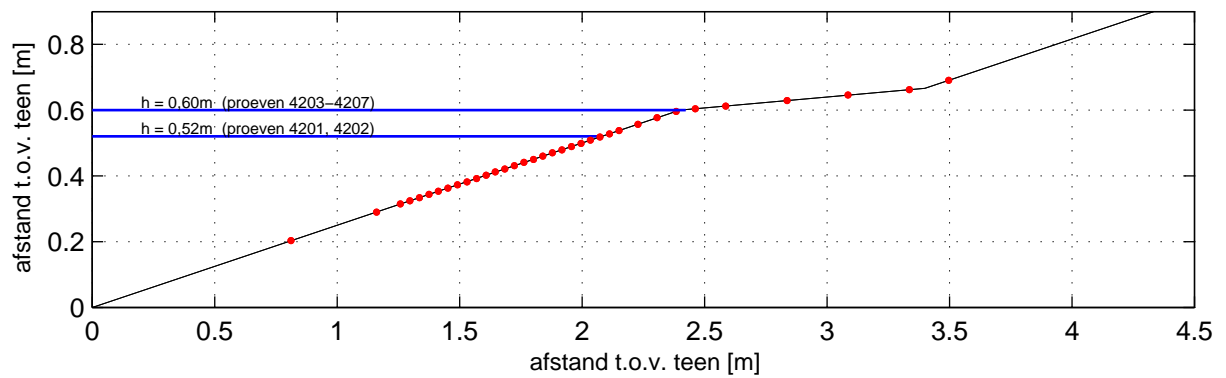
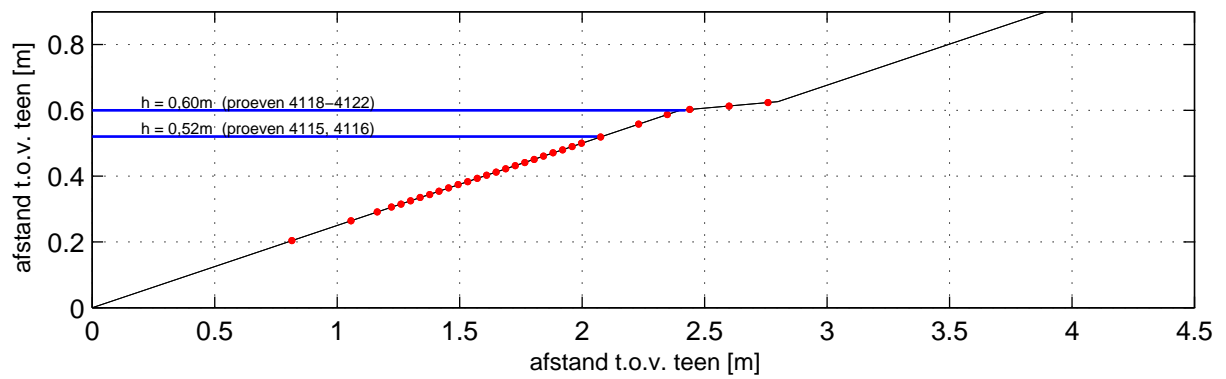
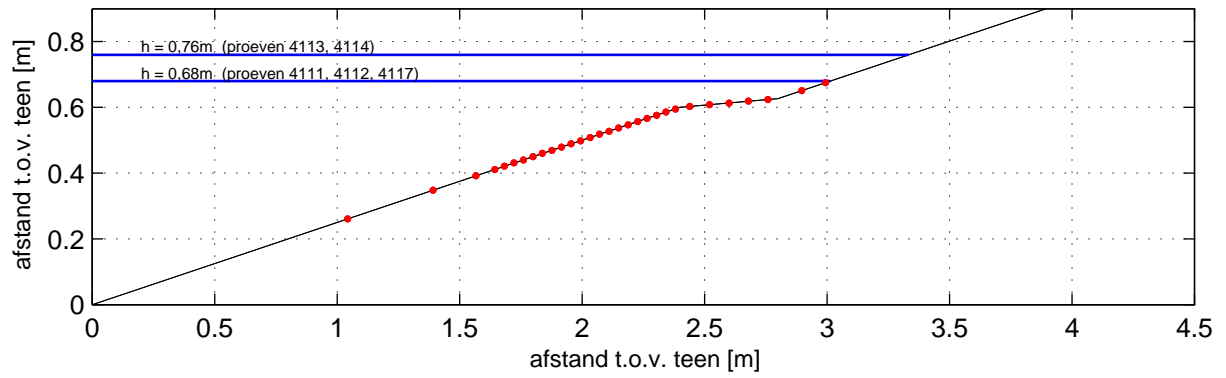
Locaties DRO's en niveau's SWL
3000-, 3100- en 3200-serie

Talud 1:3

Deltares

1209832-014

FIG. B.3



Locaties DRO's en niveau's SWL
 4000-, 4100- en 4200-serie

Talud 1:4

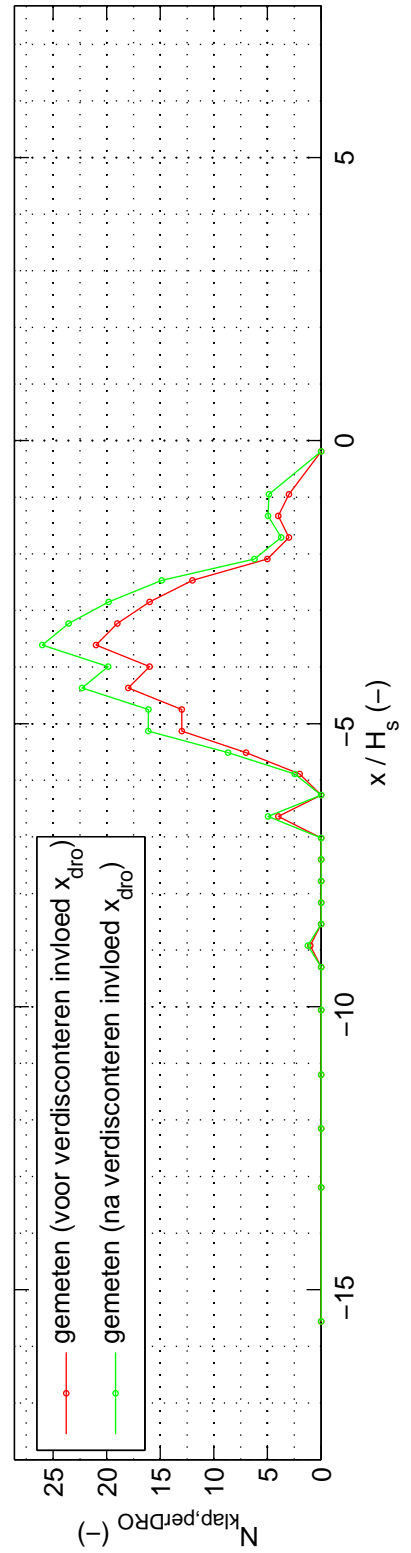
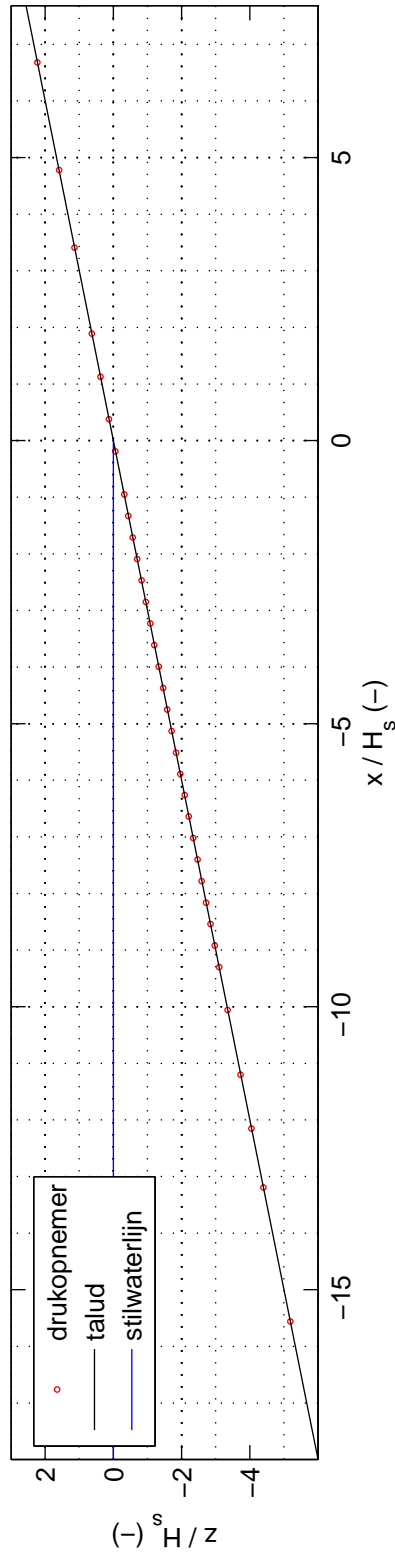
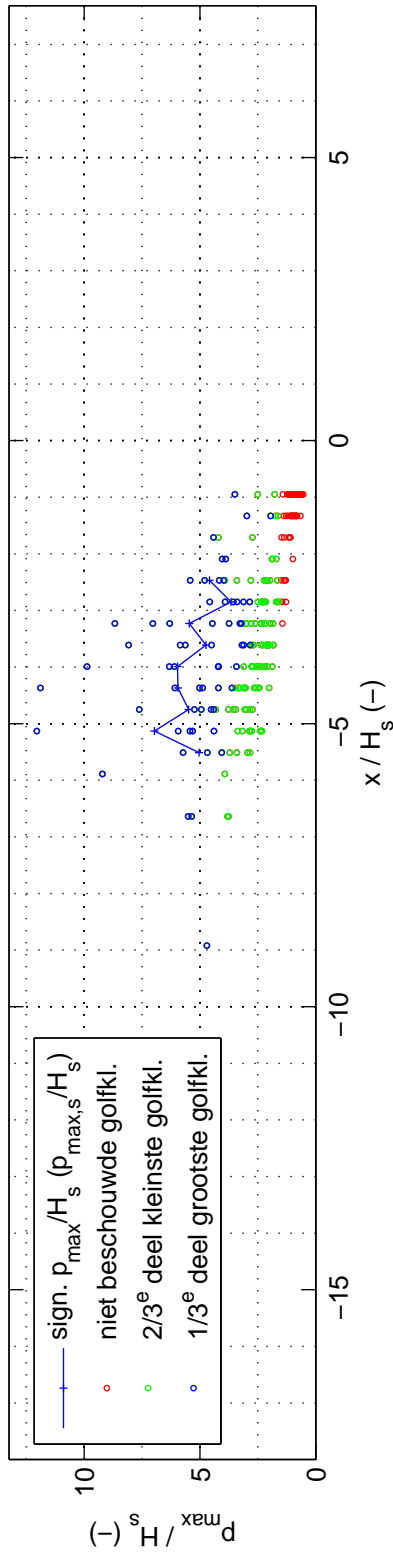
Deltares

1209832-014

FIG. B.4

C Overzicht van golfklapgroottes, modelopstelling en ruimtelijke verdeling van het aantal golfklappen per proef

proef 3001 ; $H_s = 0.100$ m ; $s_{op} = 0.010$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

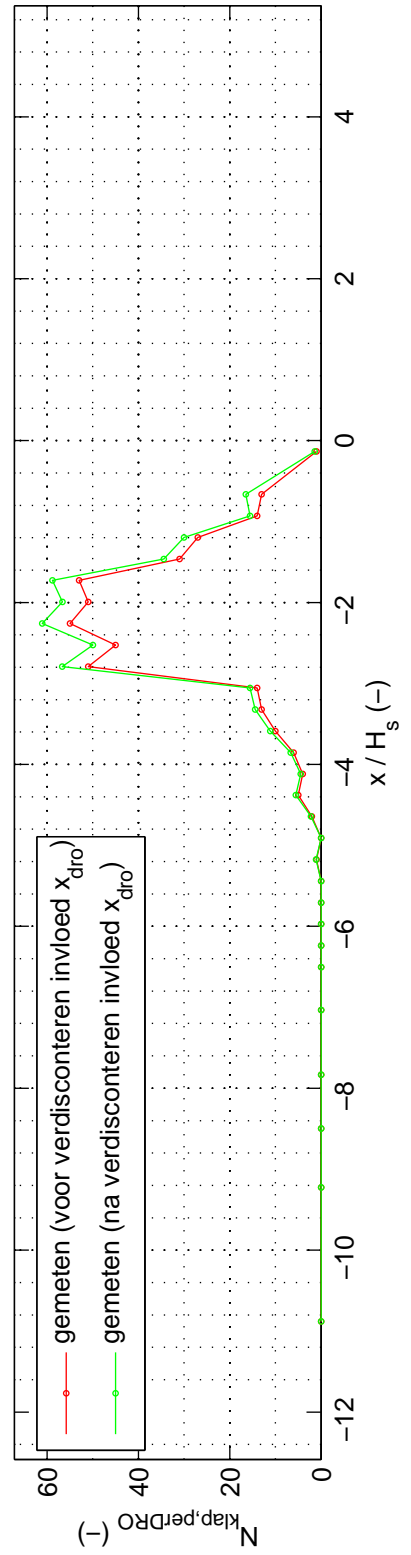
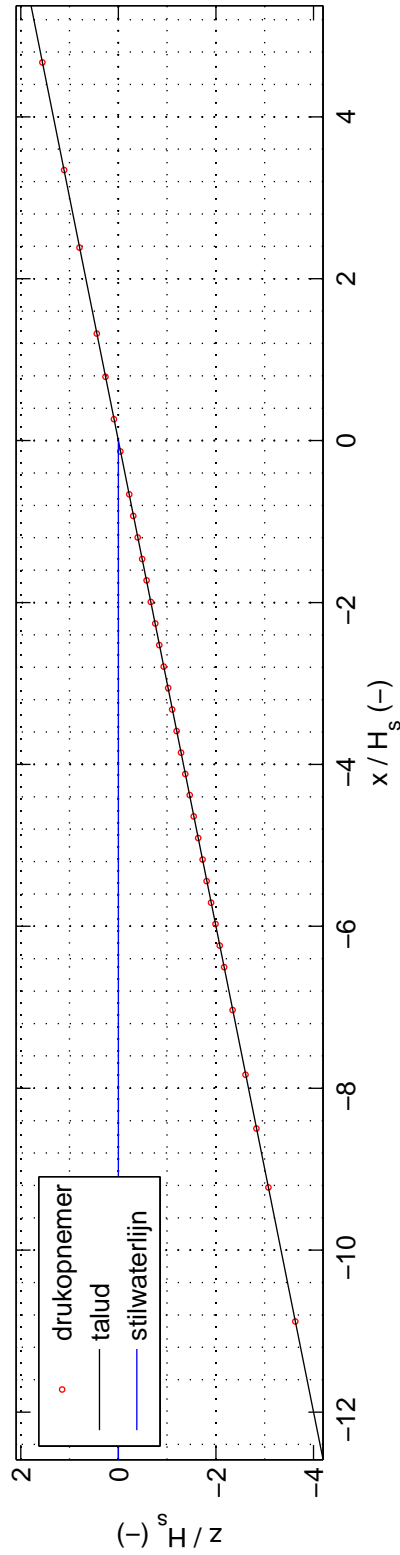
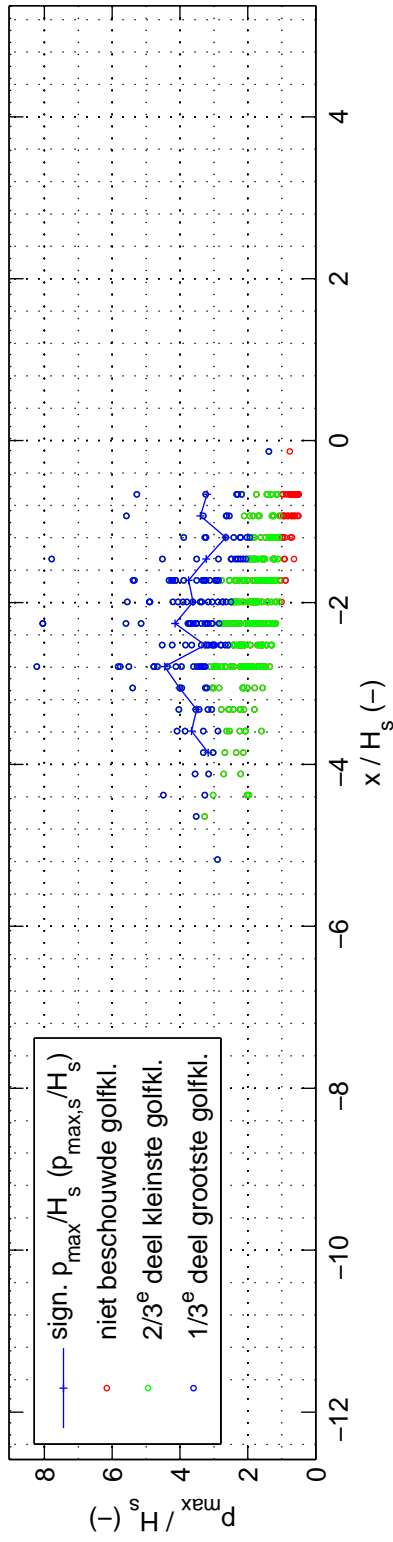
proef 3001

Deltares

1209832-014

FIG. C.1

proef 3002 ; $H_s = 0.143$ m ; $s_{op} = 0.019$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

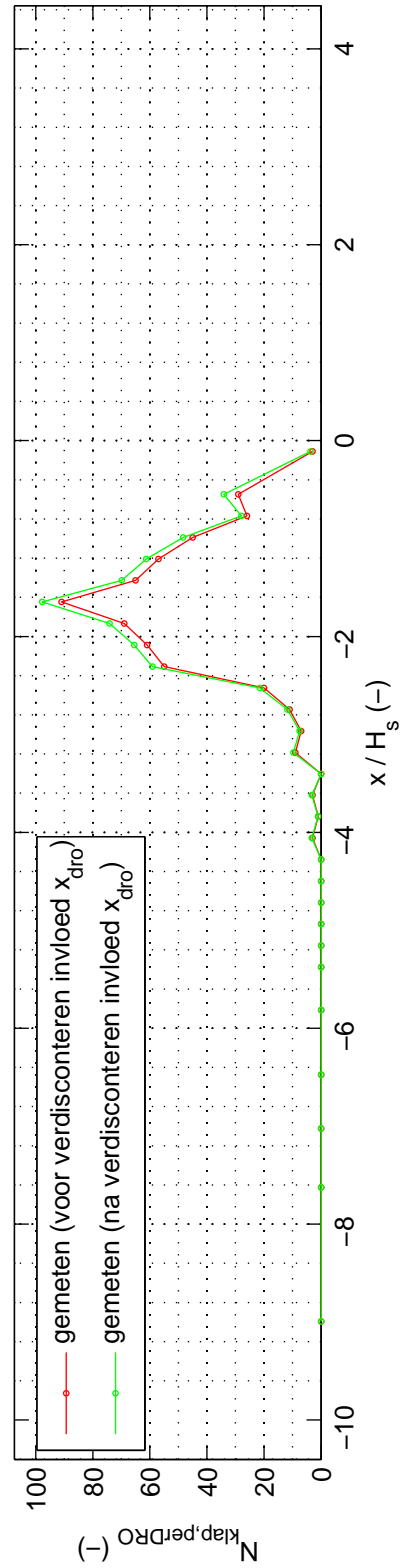
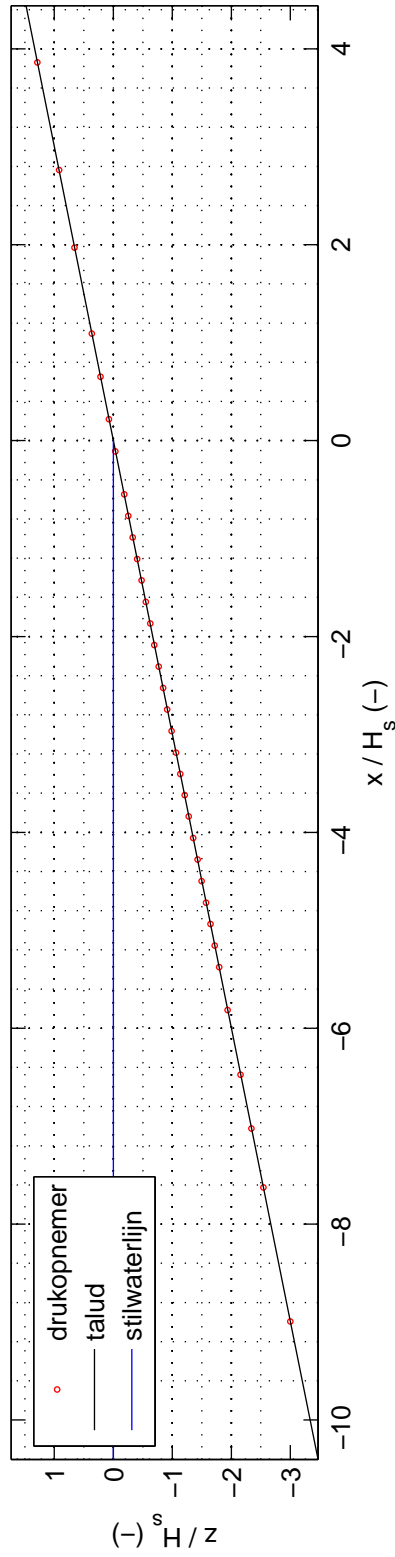
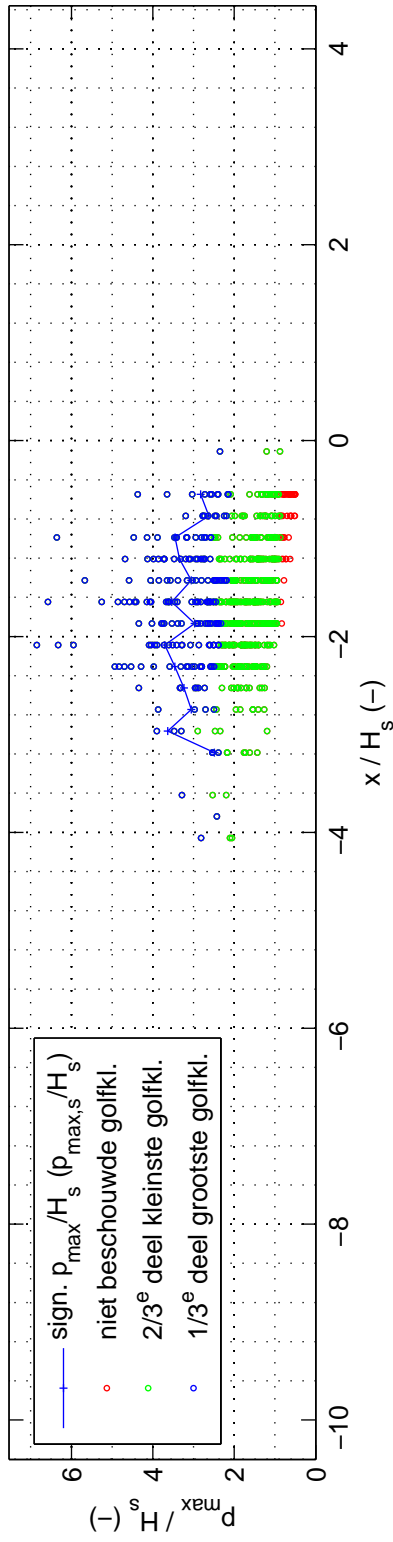
proef 3002

Deltares

1209832-014

FIG. C.2

proef 3003 ; $H_s = 0.173$ m ; $s_{op} = 0.029$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

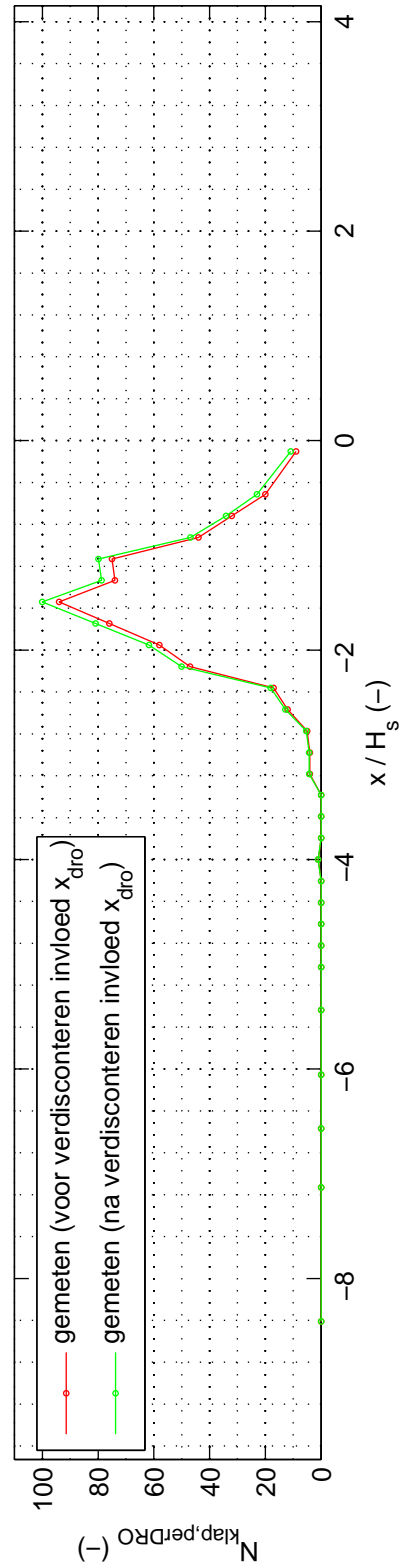
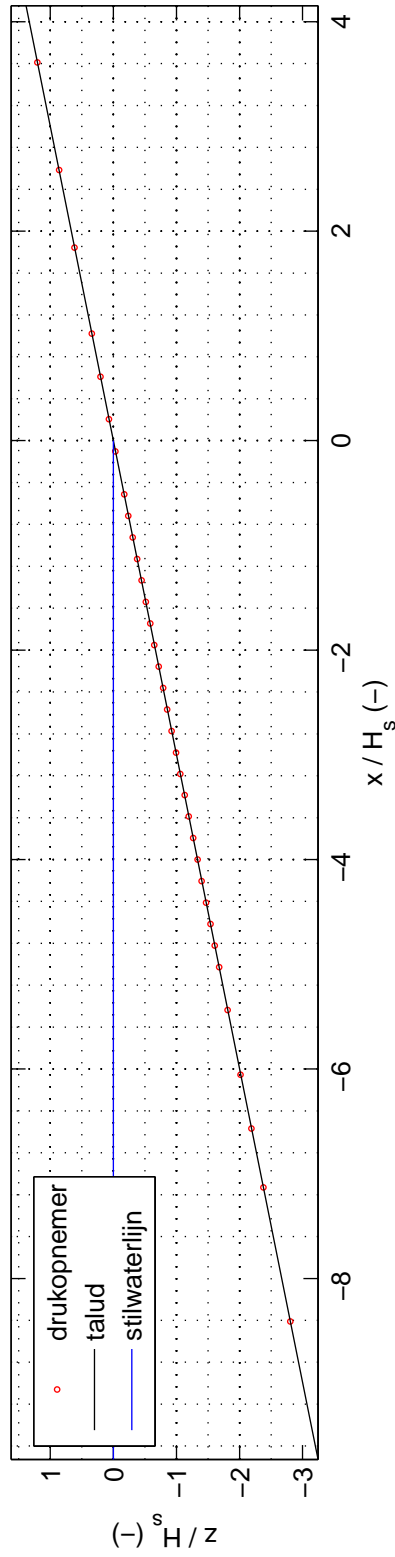
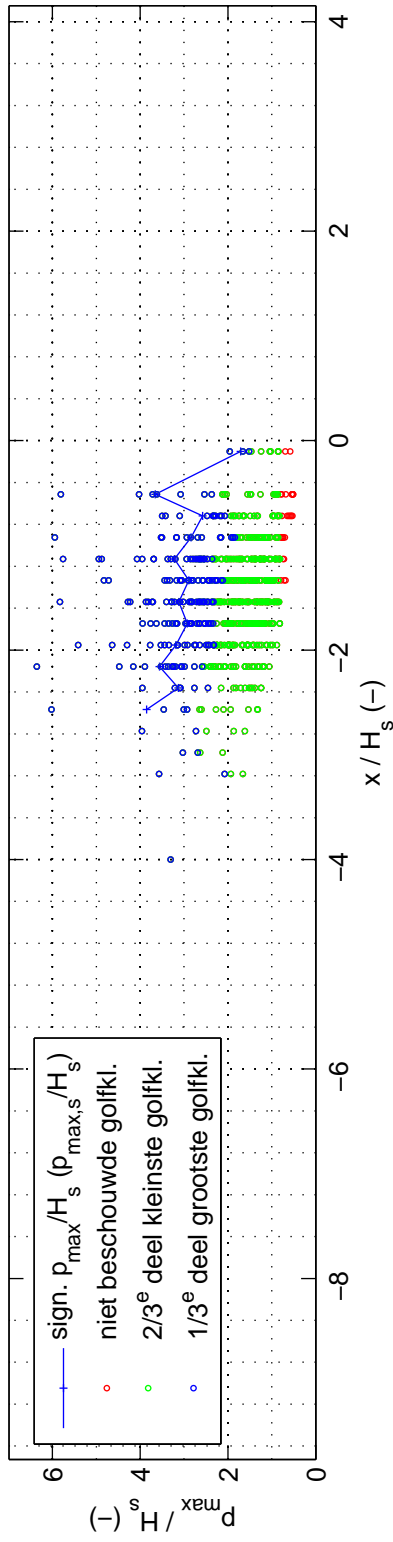
proef 3003

Deltares

1209832-014

FIG. C.3

proef 3004 ; $H_s = 0.185$ m ; $s_{op} = 0.034$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

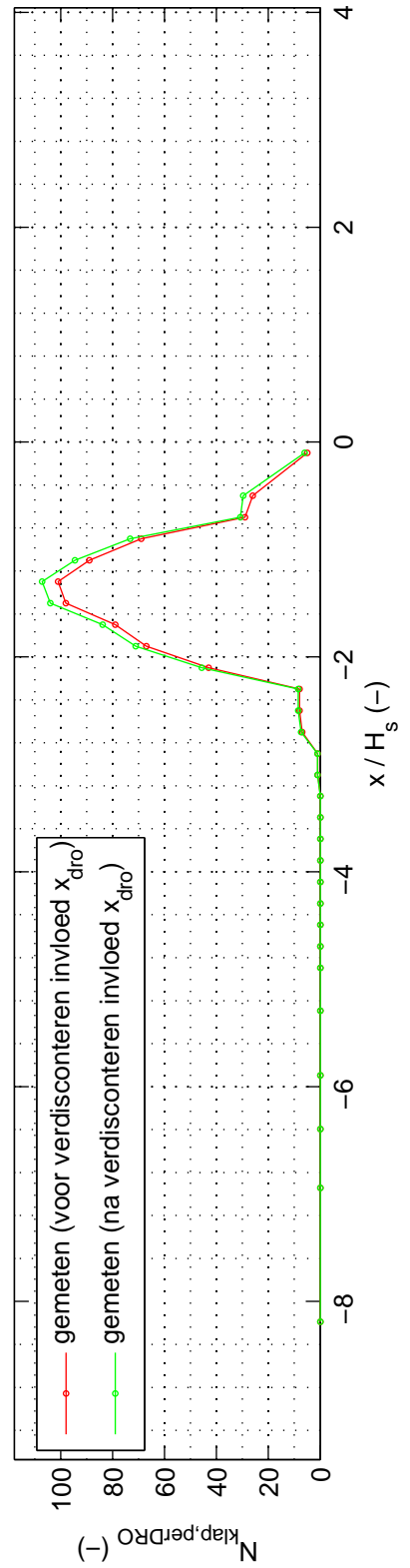
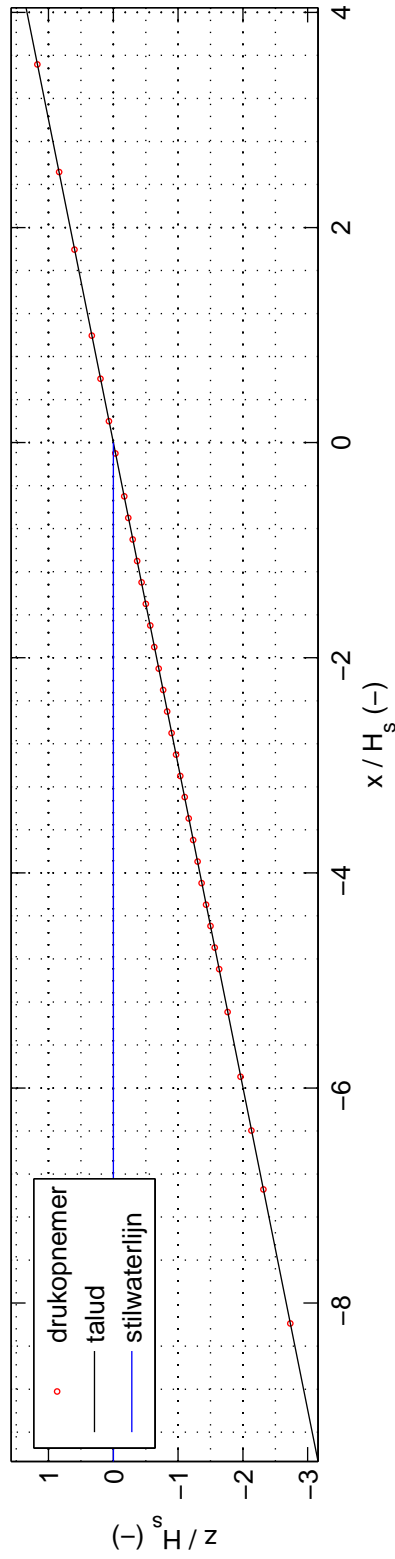
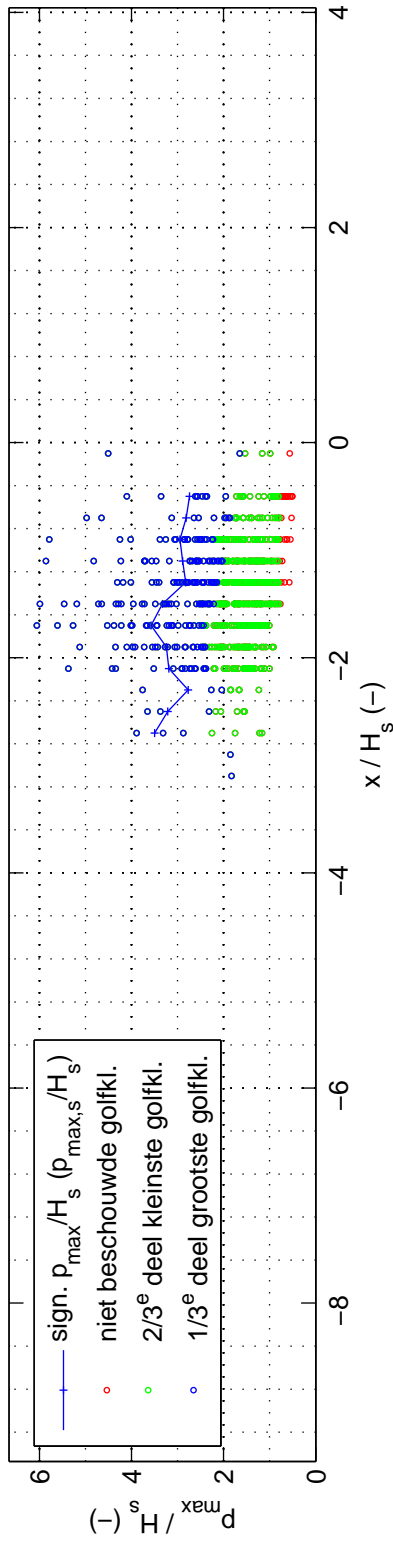
proef 3004

Deltares

1209832-014

FIG. C.4

proef 3005 ; $H_s = 0.190$ m ; $s_{op} = 0.040$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

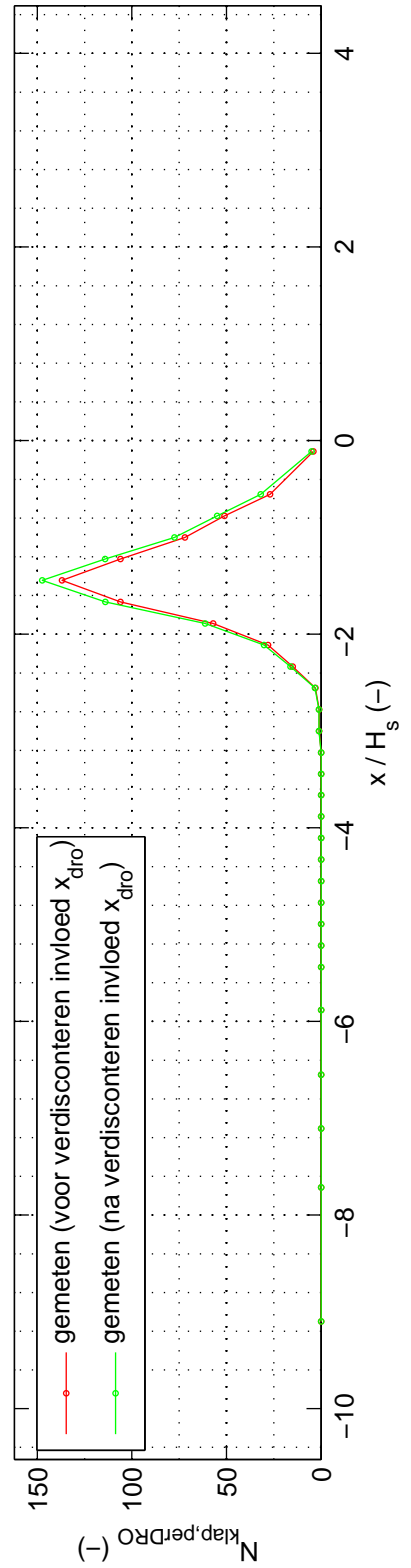
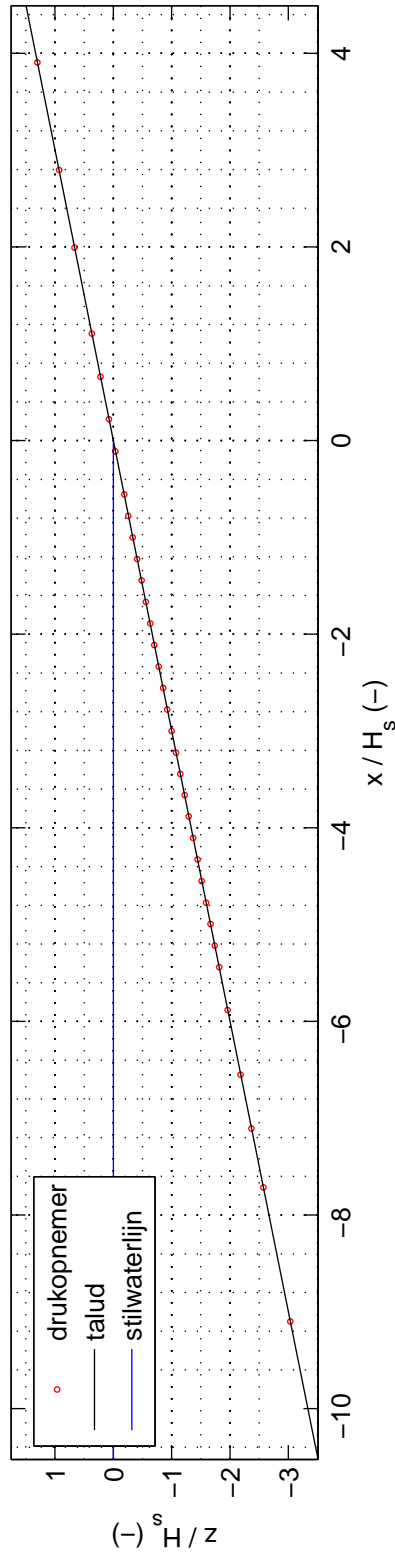
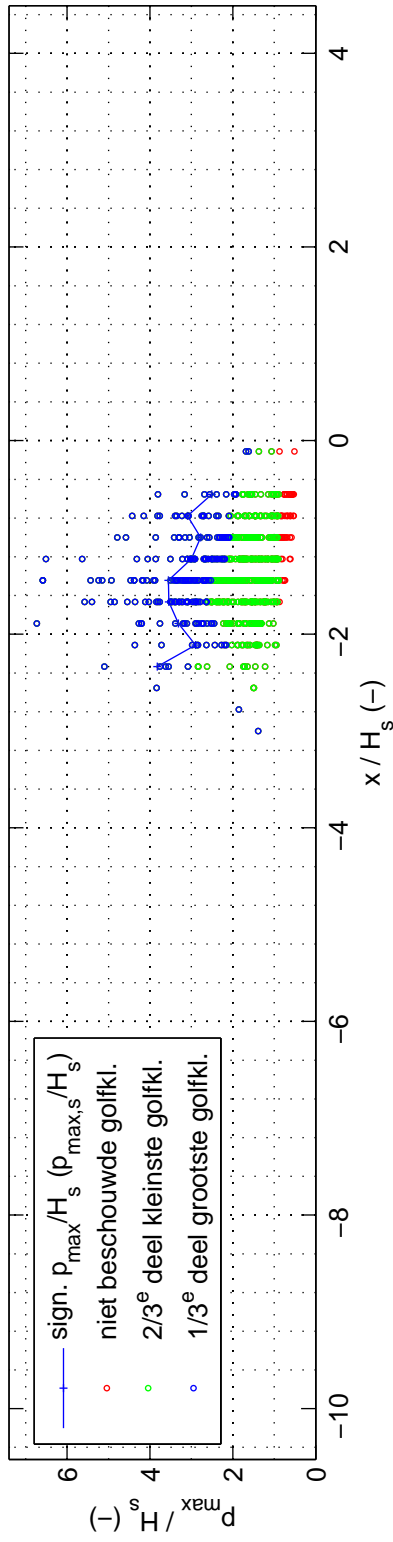
proef 3005

Deltares

1209832-014

FIG. C.5

proef 3006 ; $H_s = 0.171$ m ; $s_{op} = 0.038$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

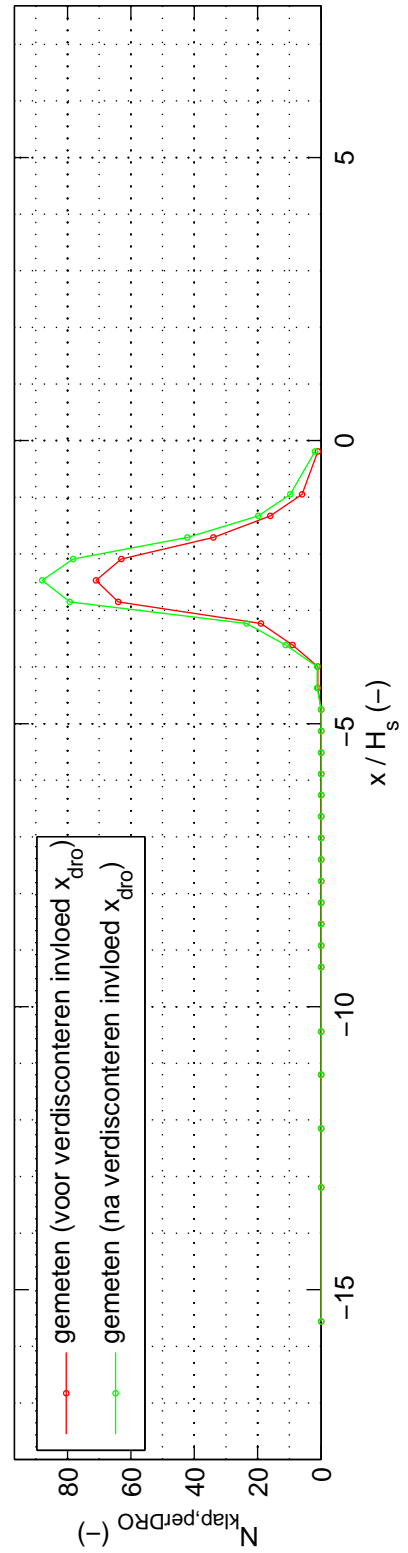
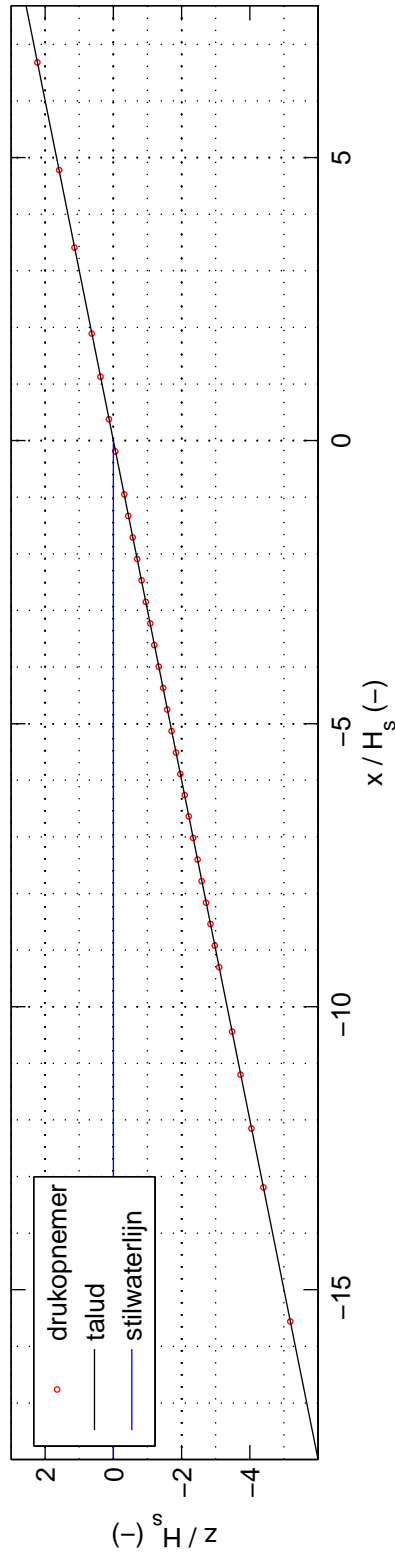
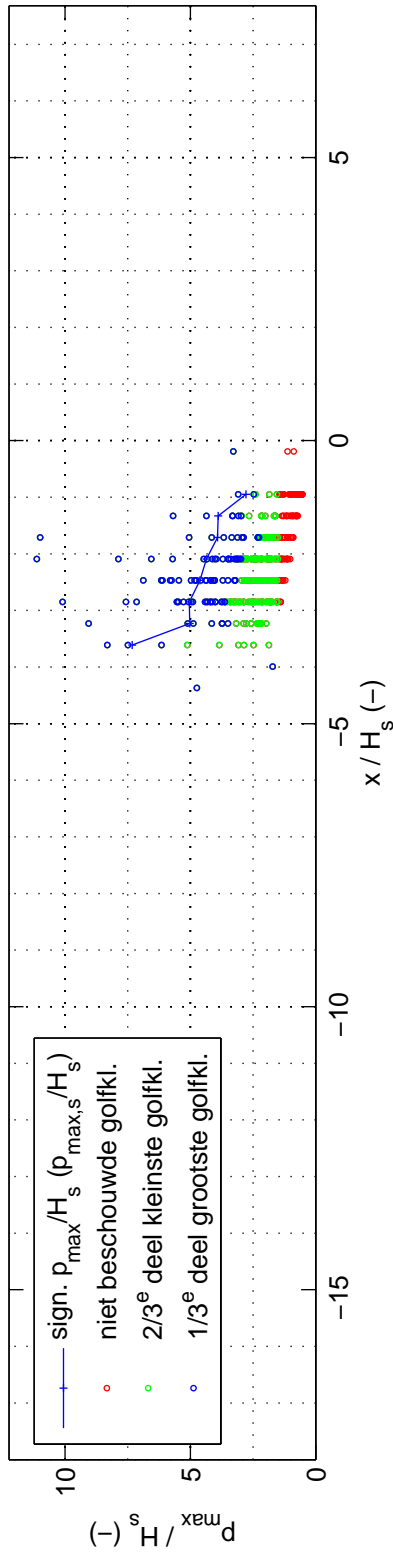
proef 3006

Deltares

1209832-014

FIG. C.6

proef 3007 ; $H_s = 0.100$ m ; $s_{op} = 0.021$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

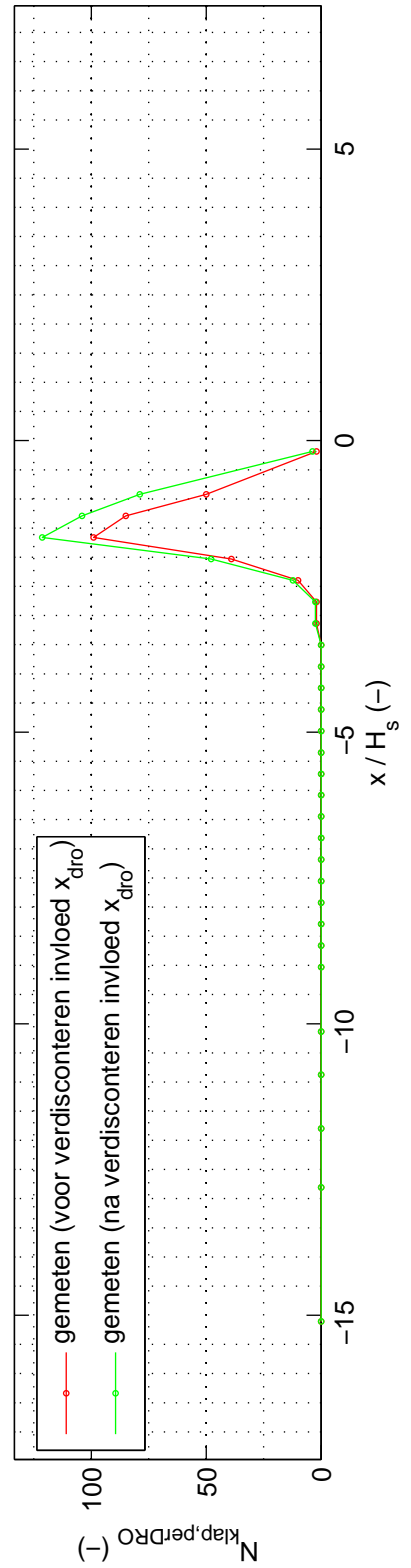
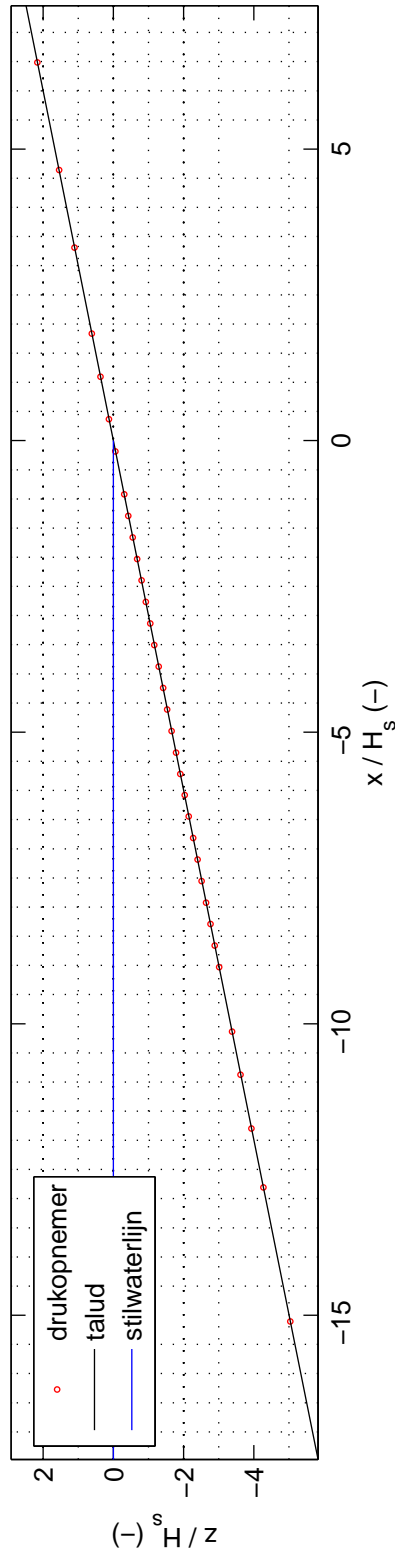
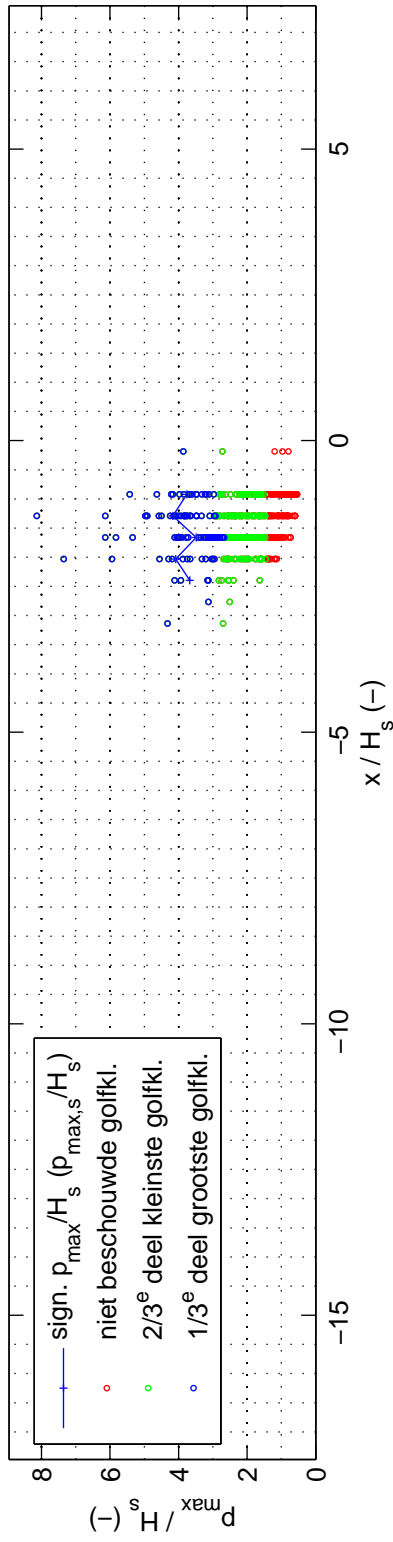
proef 3007

Deltares

1209832-014

FIG. C.7

proef 3008 ; $H_s = 0.103$ m ; $s_{op} = 0.035$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

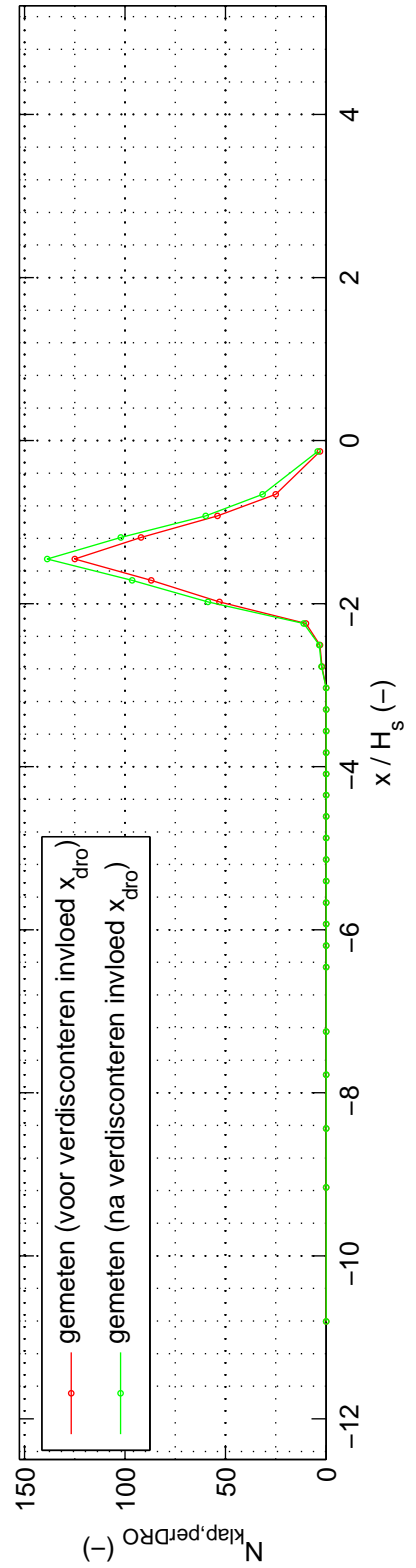
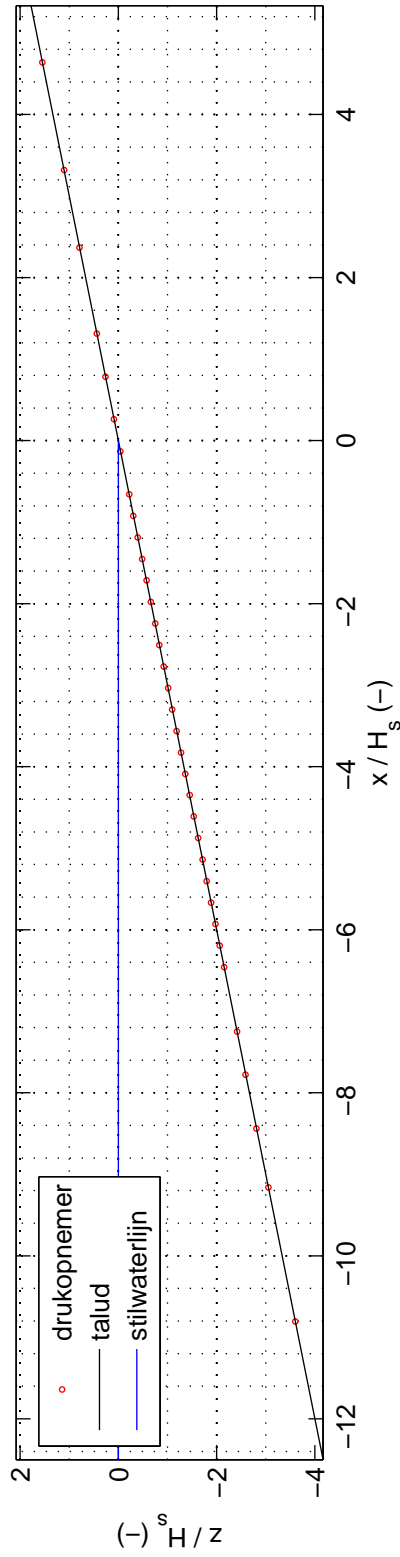
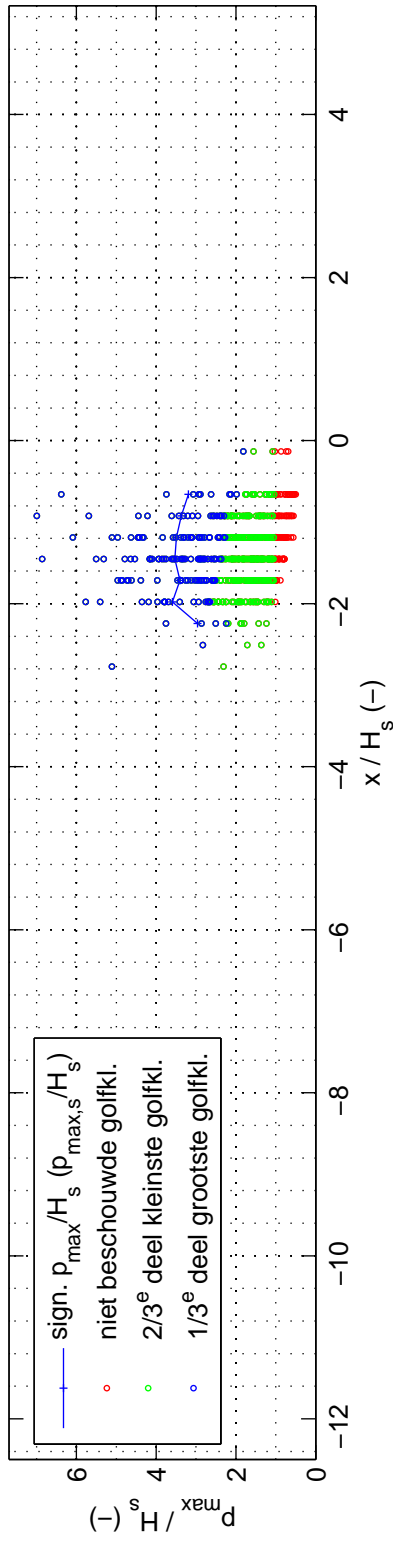
proef 3008

Deltares

1209832-014

FIG. C.8

proef 3009 ; $H_s = 0.144$ m ; $s_{op} = 0.037$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

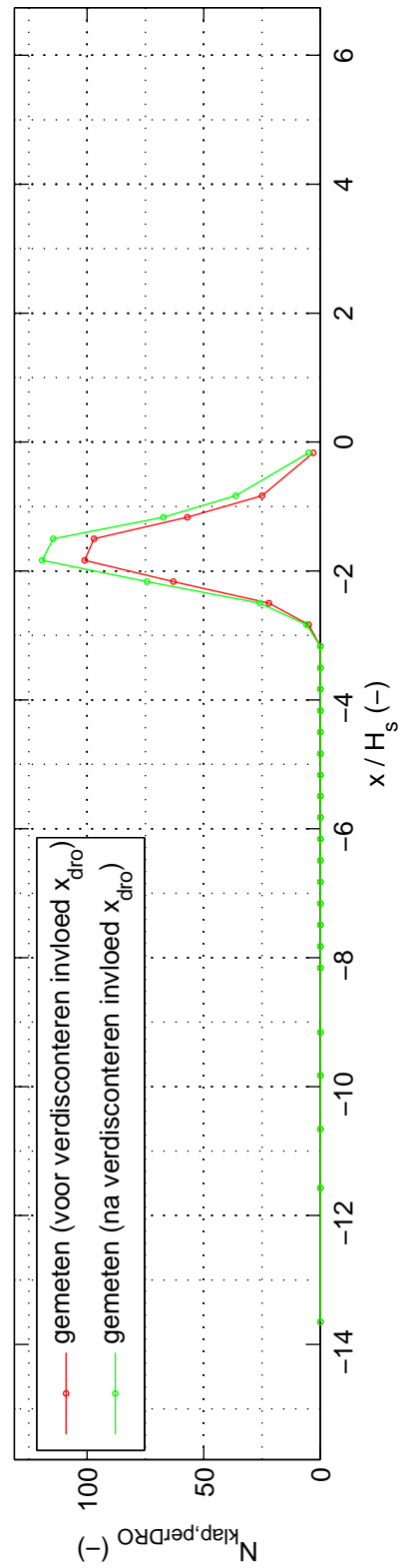
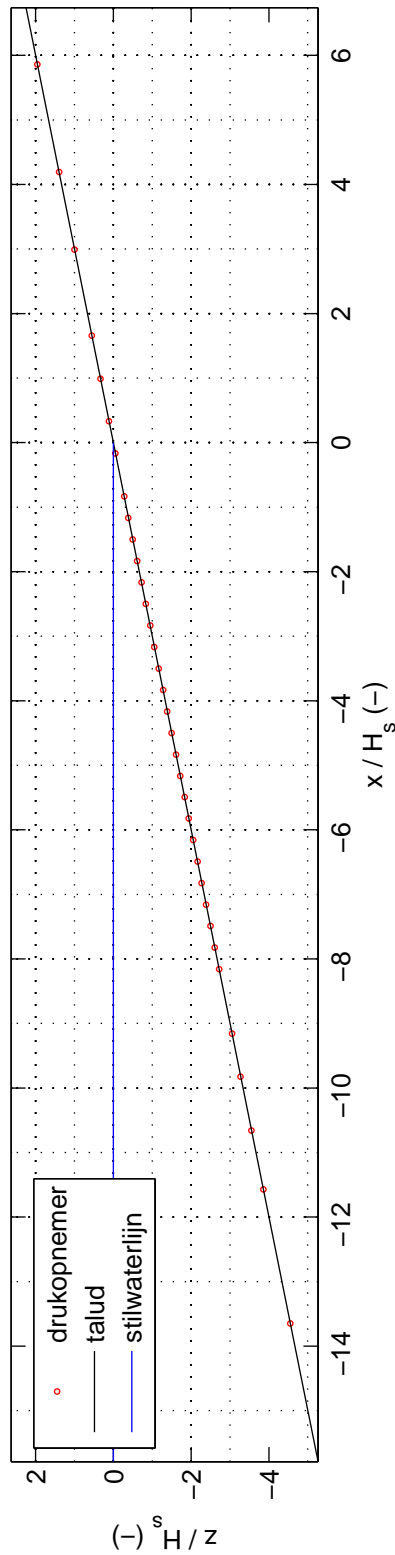
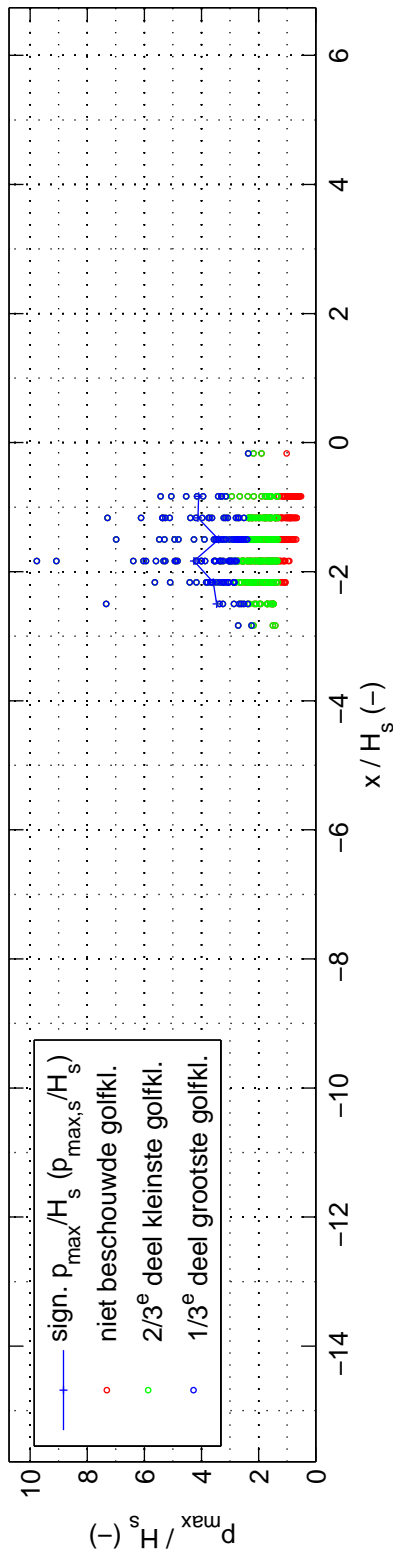
proef 3009

Deltares

1209832-014

FIG. C.9

proef 3010 ; $H_s = 0.114$ m ; $s_{op} = 0.030$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

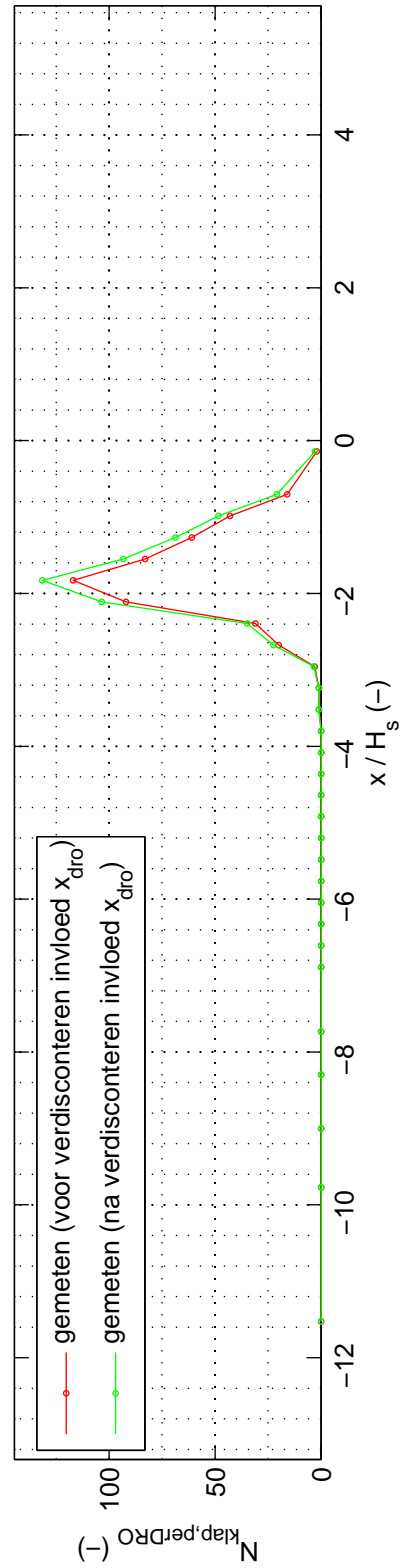
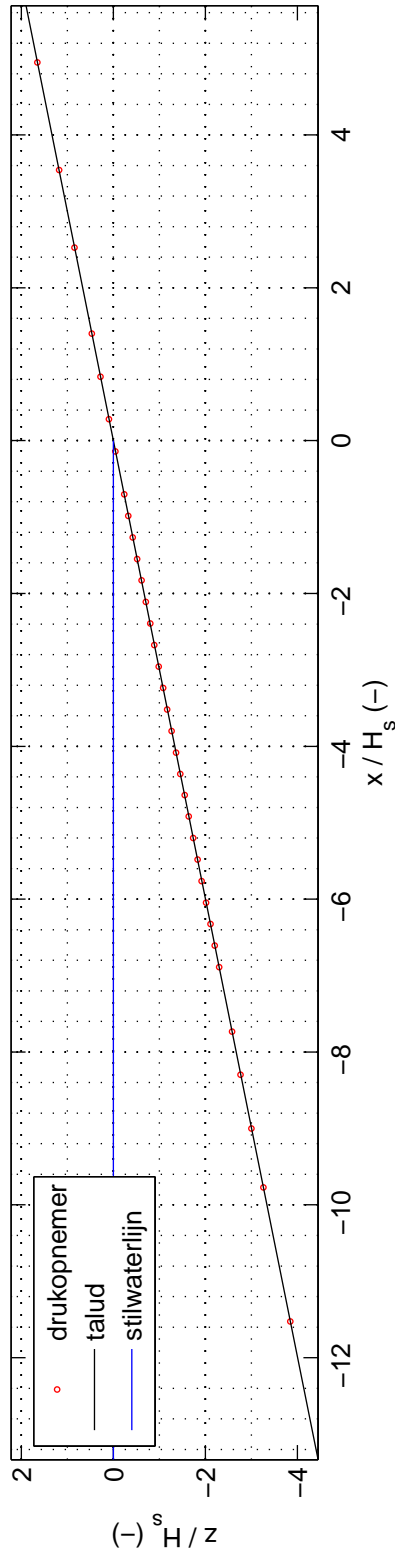
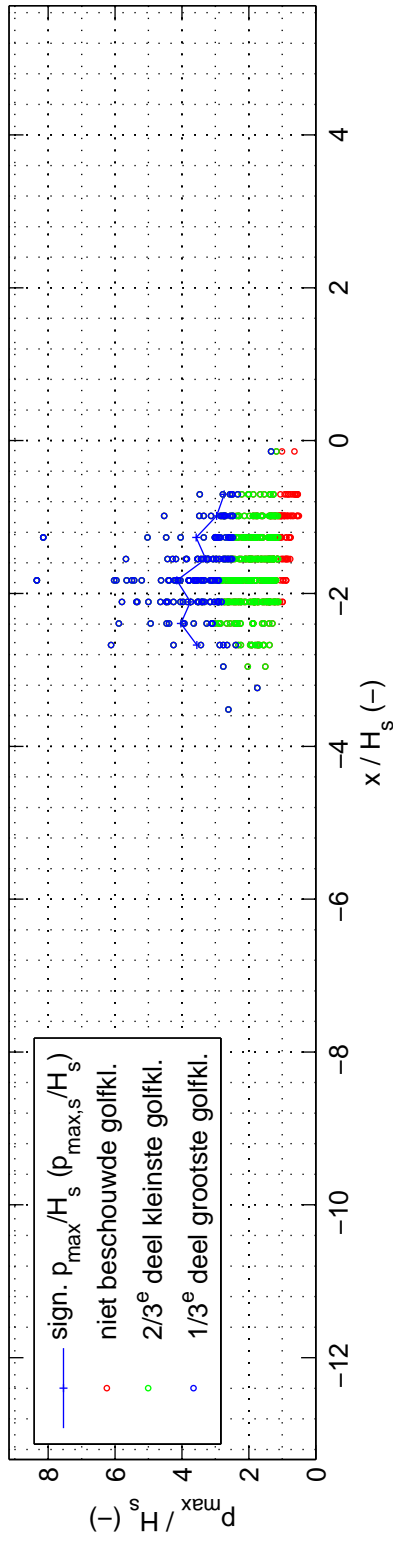
proef 3010

Deltares

1209832-014

FIG. C.10

proef 3011 ; $H_s = 0.135$ m ; $s_{op} = 0.030$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

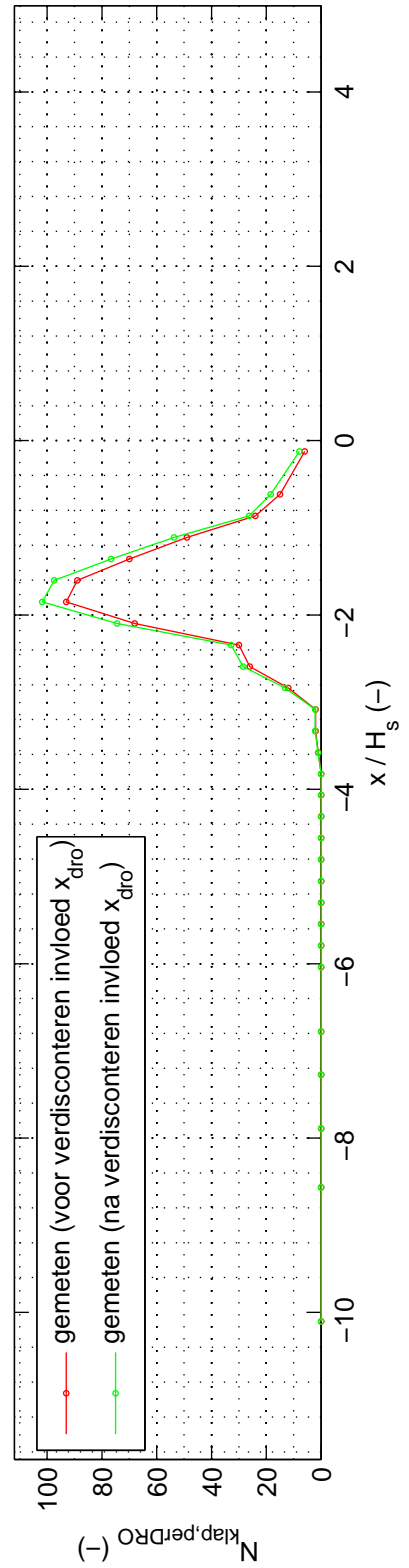
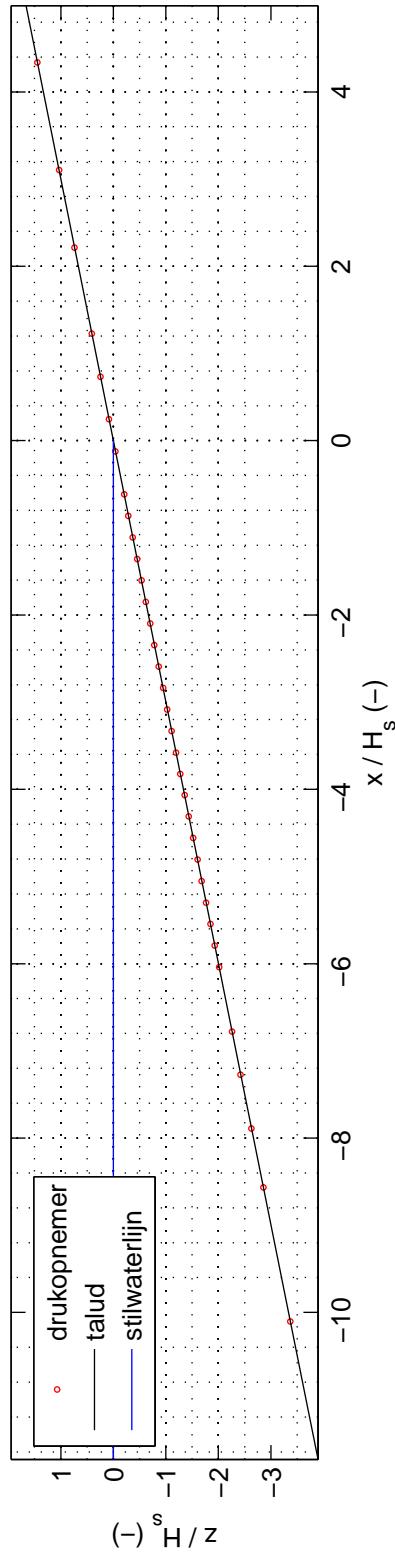
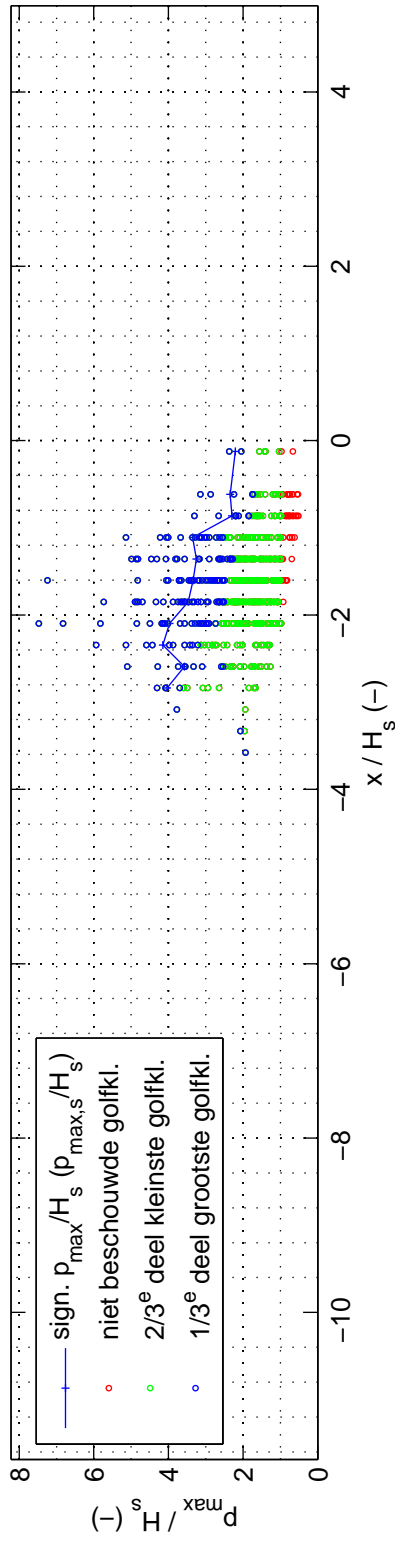
proef 3011

Deltares

1209832-014

FIG. C.11

proef 3012 ; $H_s = 0.154$ m ; $s_{op} = 0.028$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

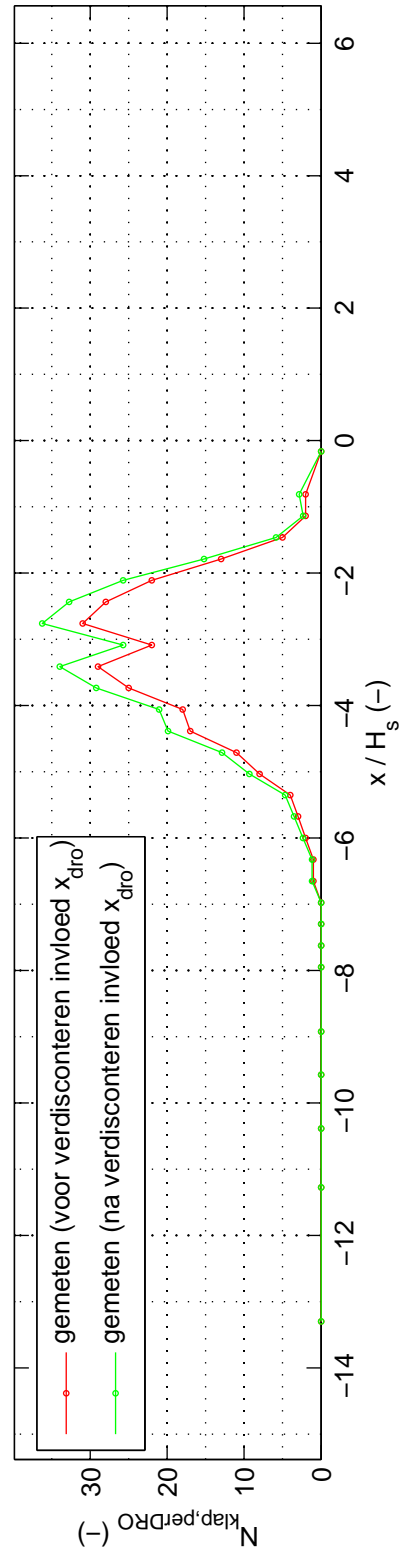
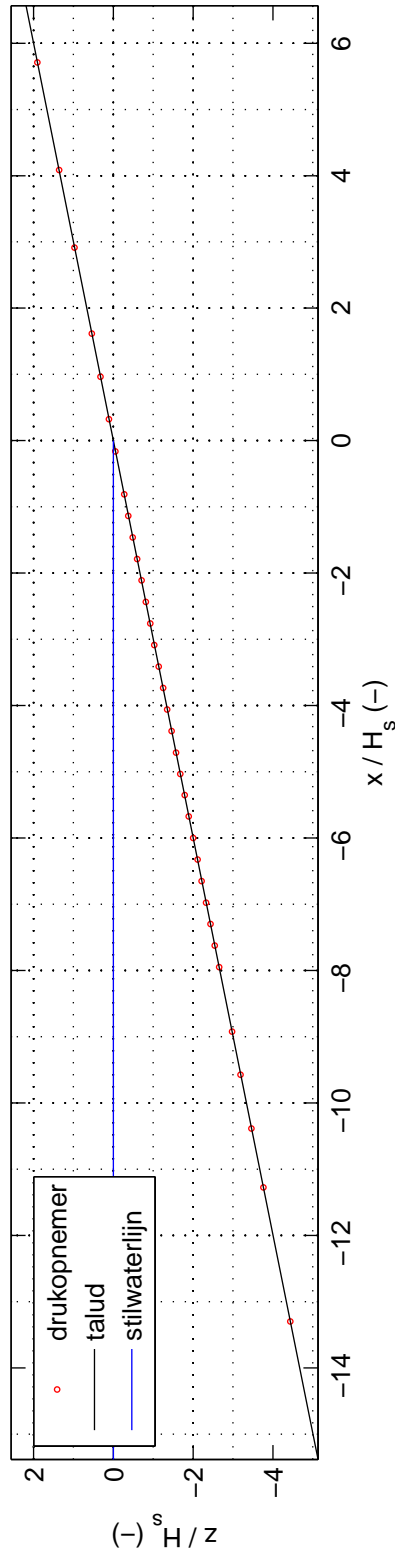
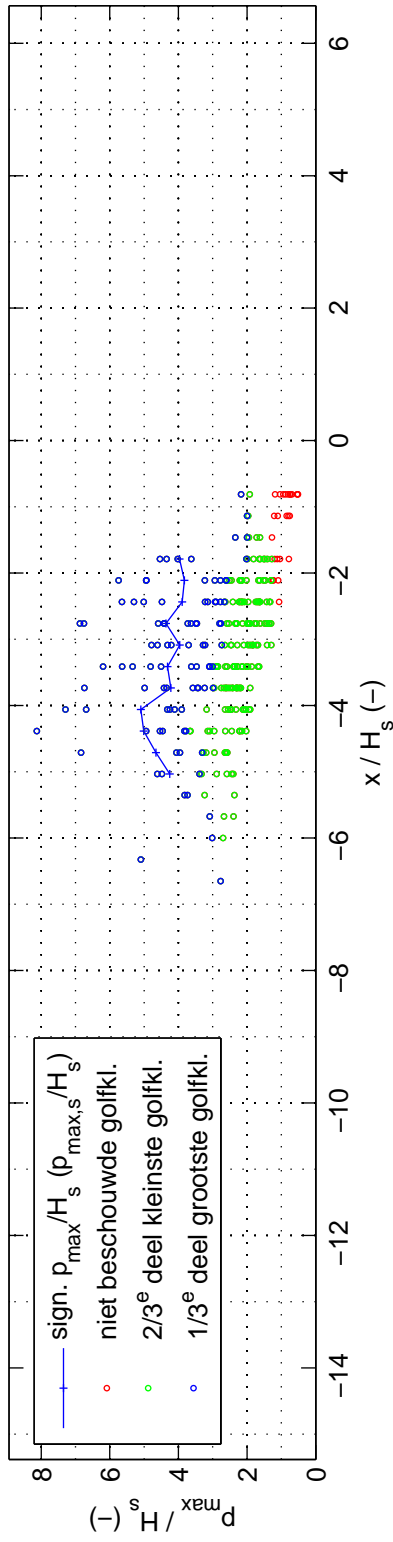
proef 3012

Deltares

1209832-014

FIG. C.12

proef 3015 ; $H_s = 0.117$ m ; $s_{op} = 0.011$; $B = 0.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

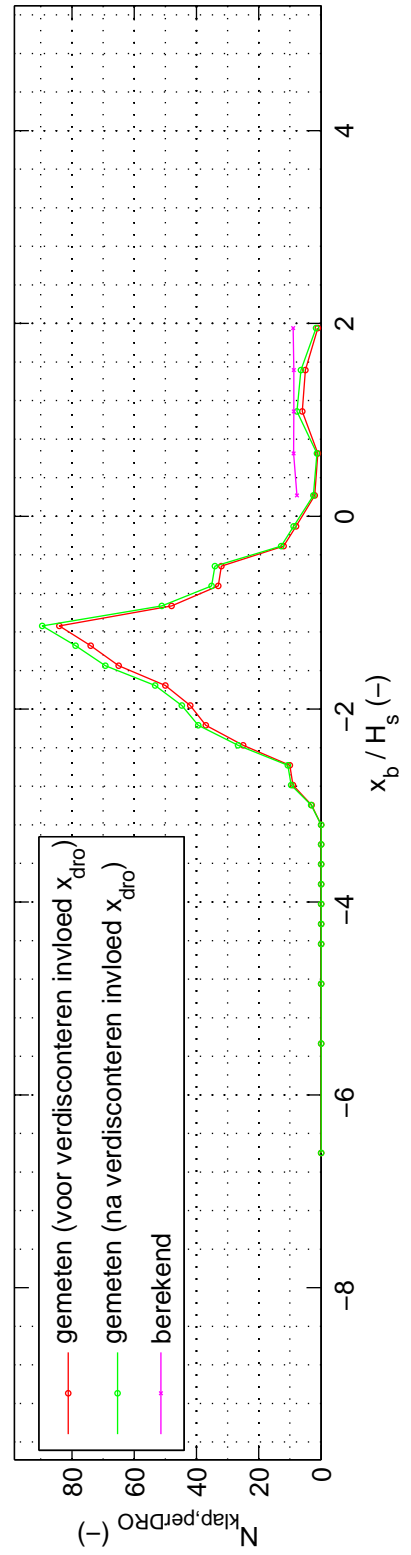
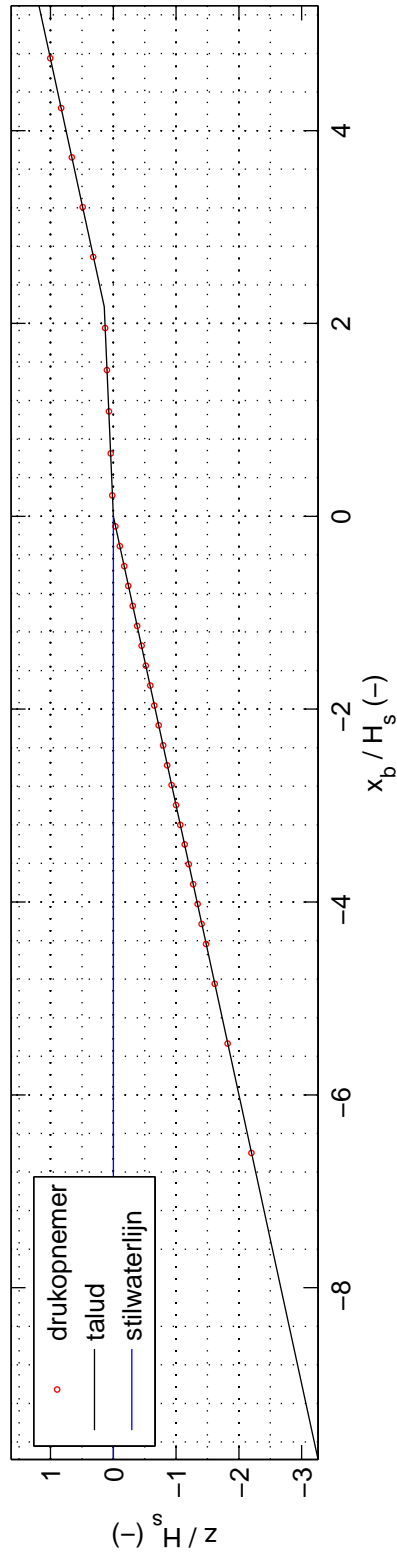
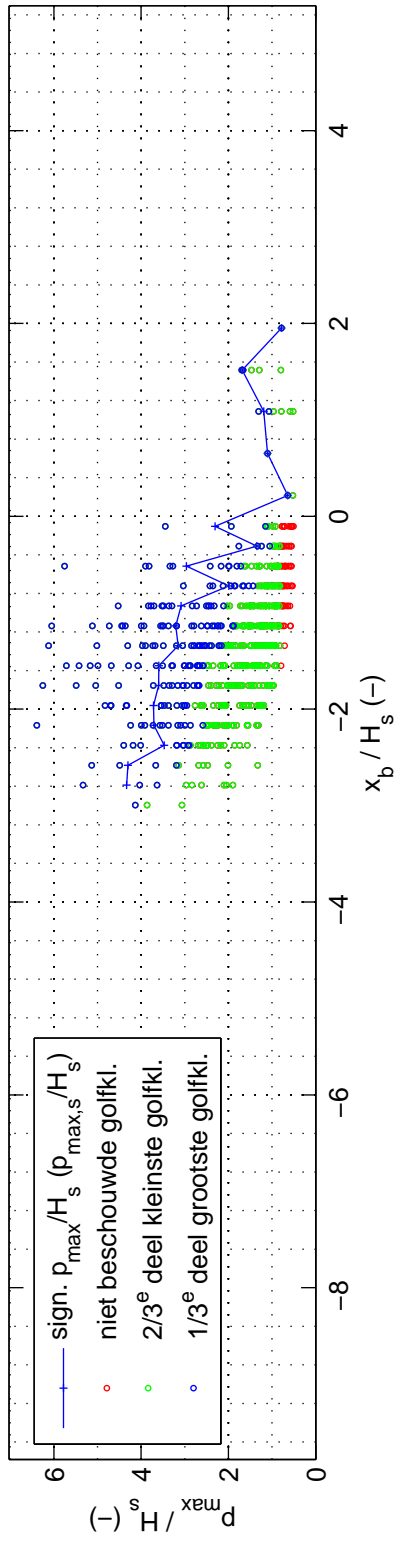
proef 3015

Deltares

1209832-014

FIG. C.13

proef 3106 ; $H_s = 0.184$ m ; $s_{op} = 0.035$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

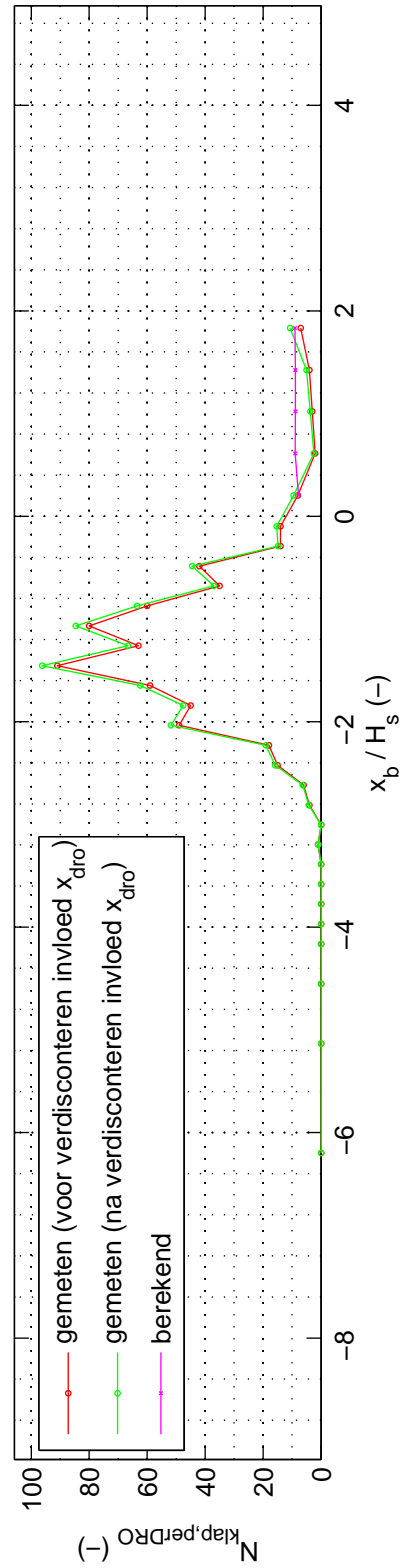
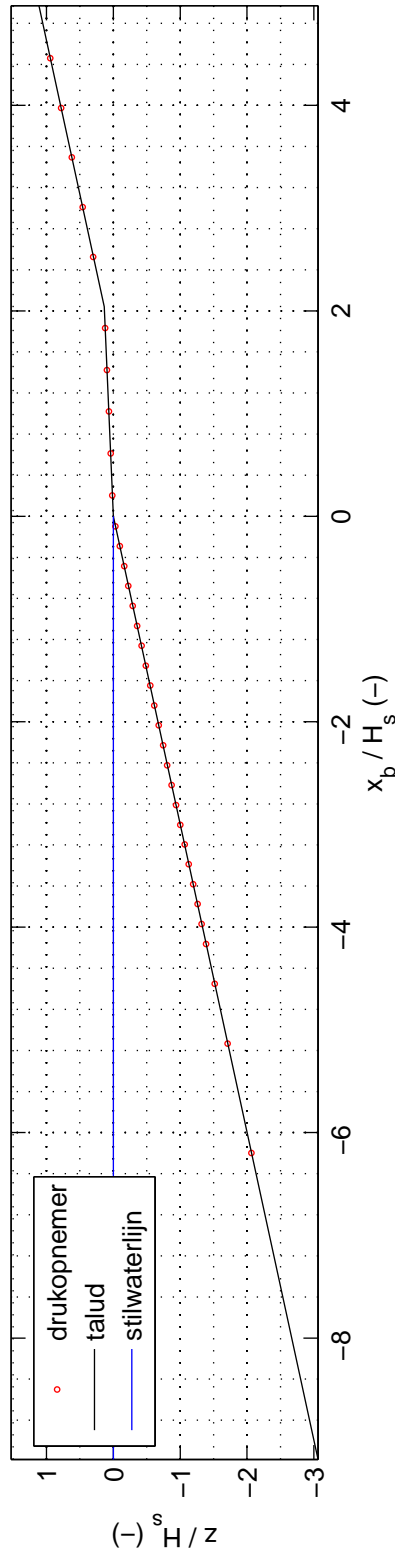
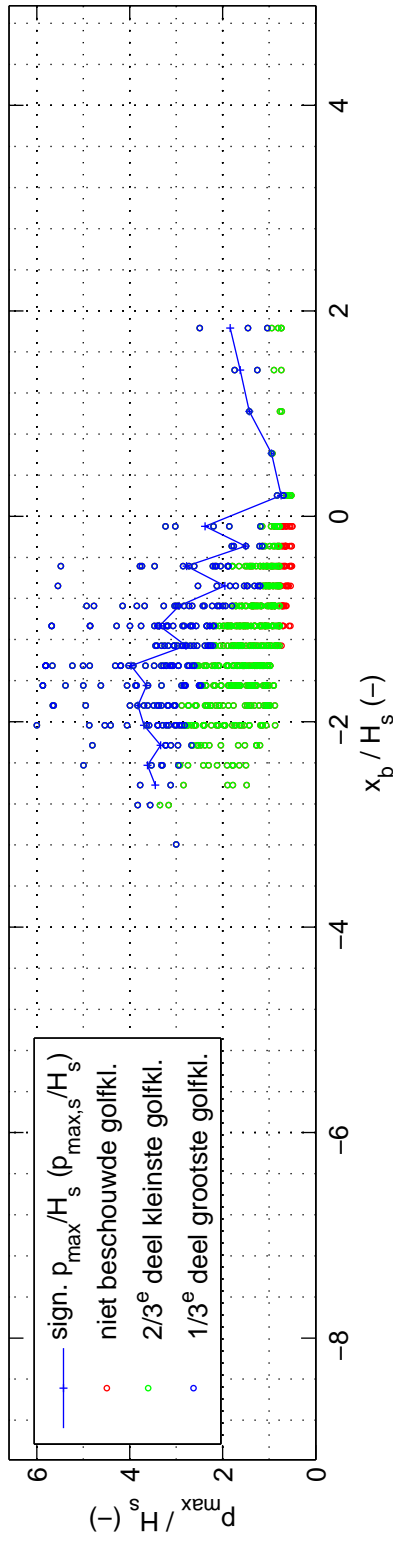
proef 3106

Deltares

1209832-014

FIG. C.14

proef 3107 ; $H_s = 0.196$ m ; $s_{op} = 0.041$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

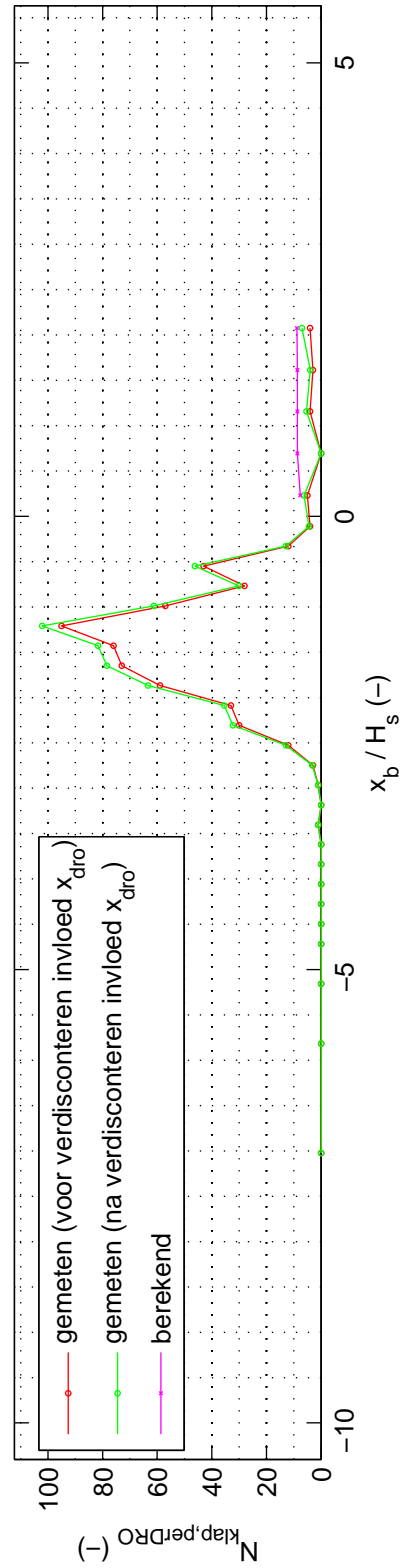
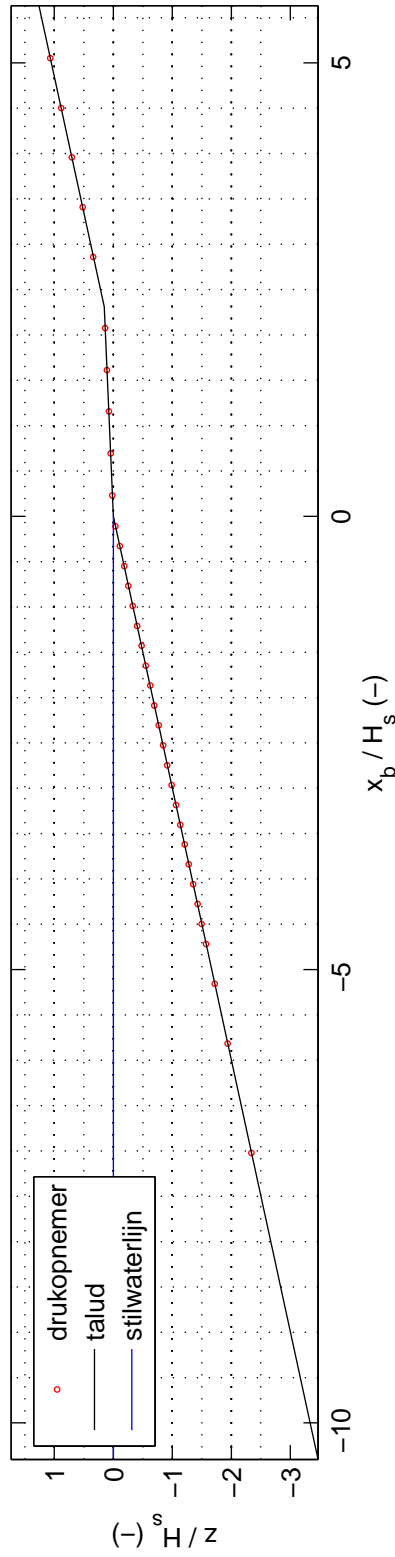
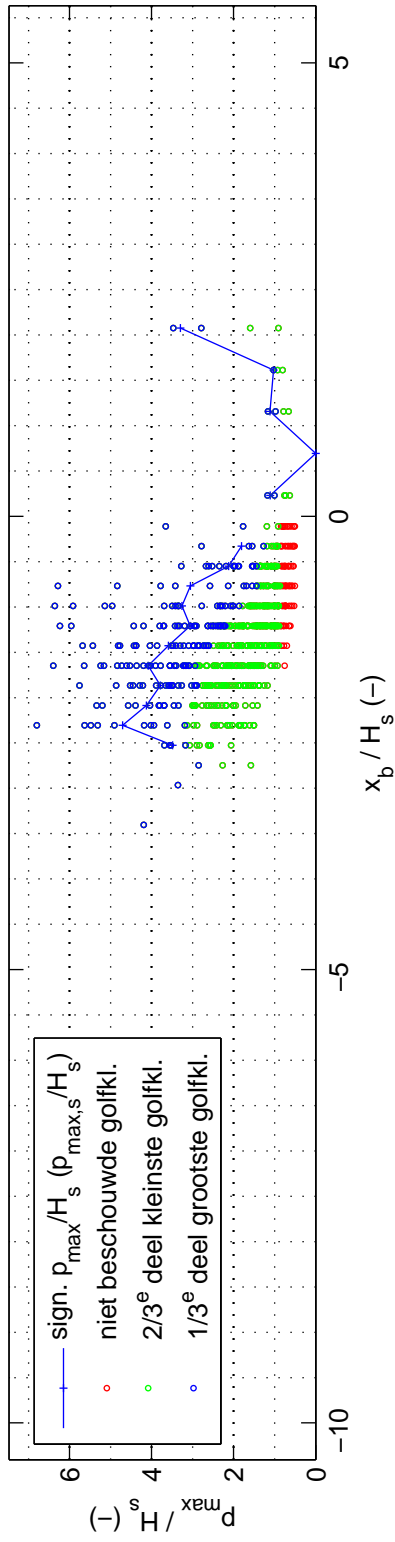
proef 3107

Deltares

1209832-014

FIG. C.15

proef 3108 ; $H_s = 0.173$ m ; $s_{op} = 0.038$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

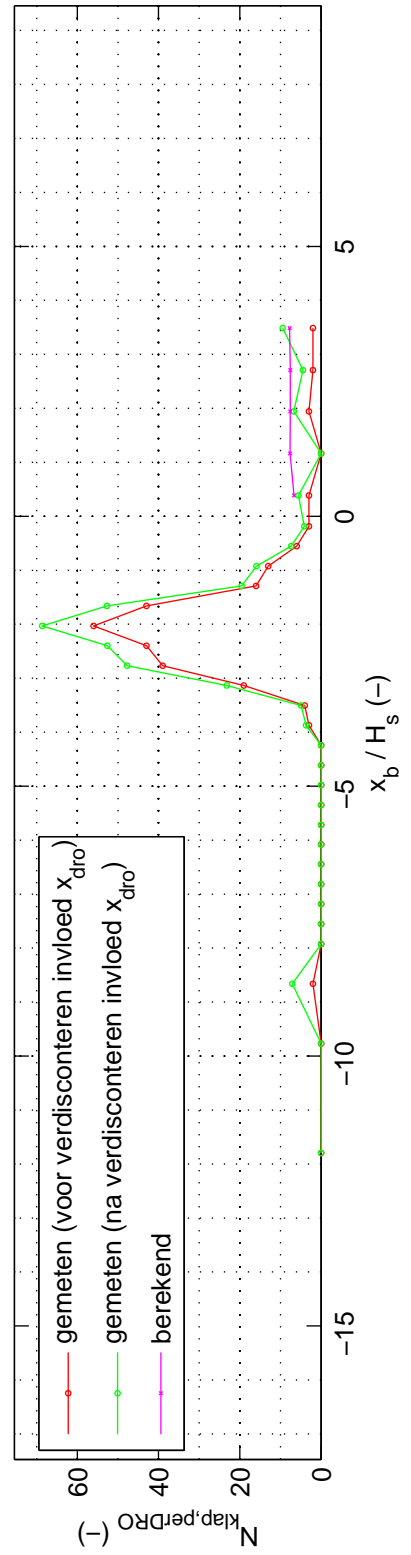
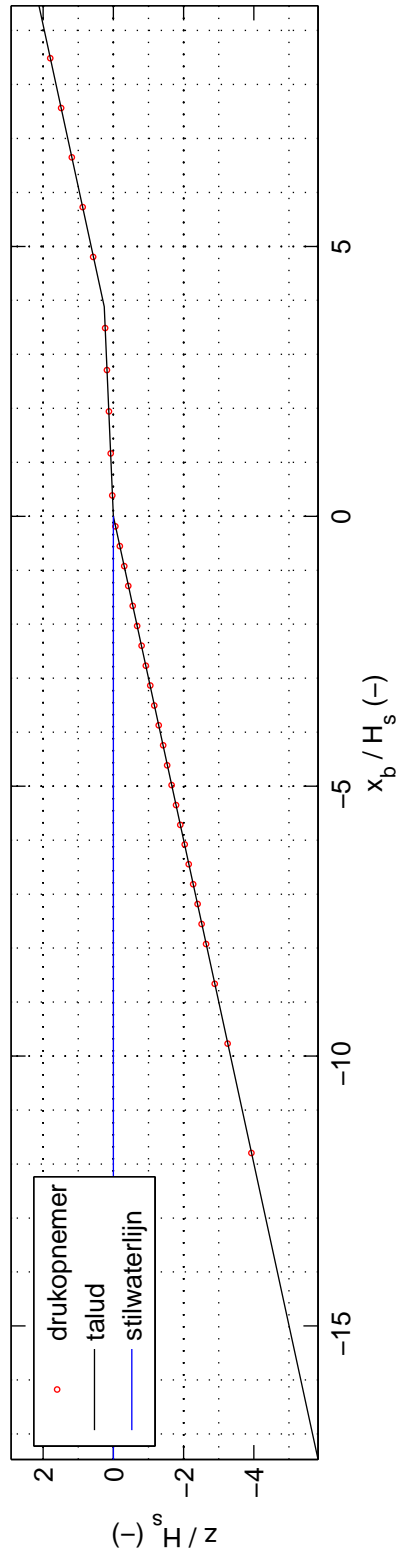
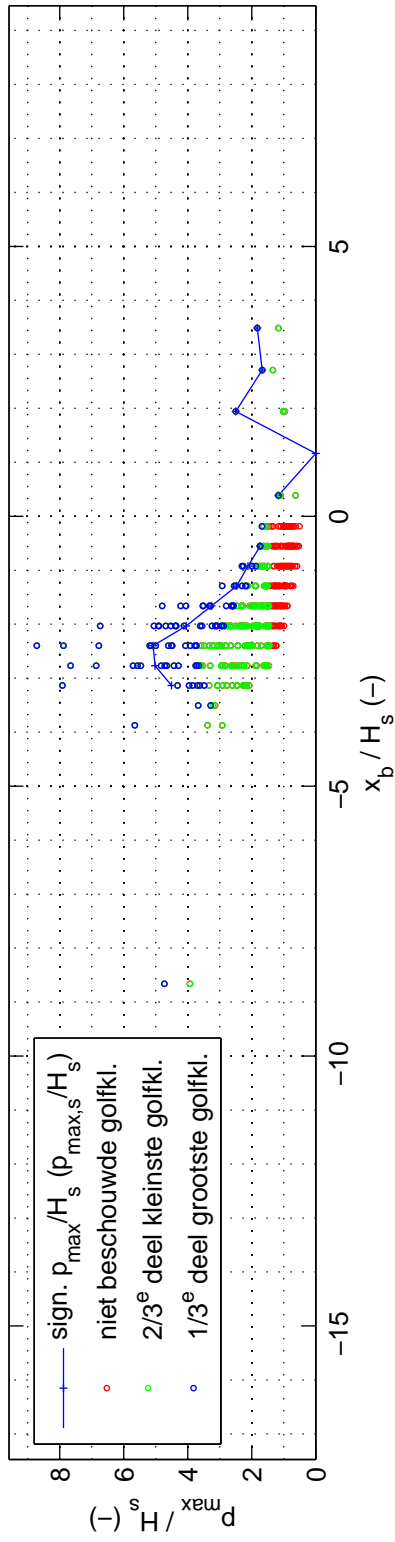
proef 3108

Deltares

1209832-014

FIG. C.16

proef 3109 ; $H_s = 0.103$ m ; $s_{op} = 0.021$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

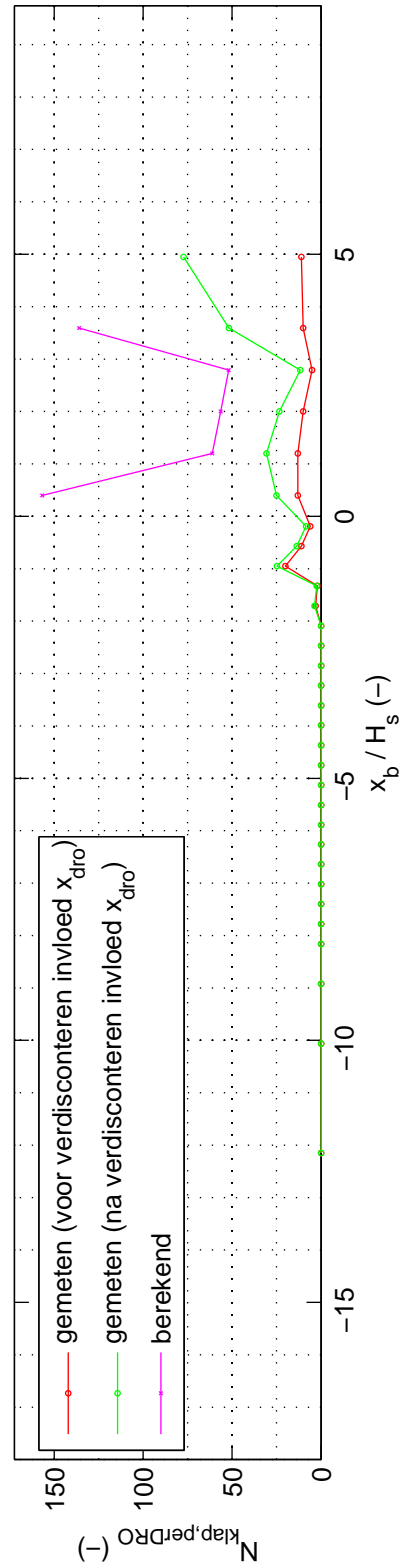
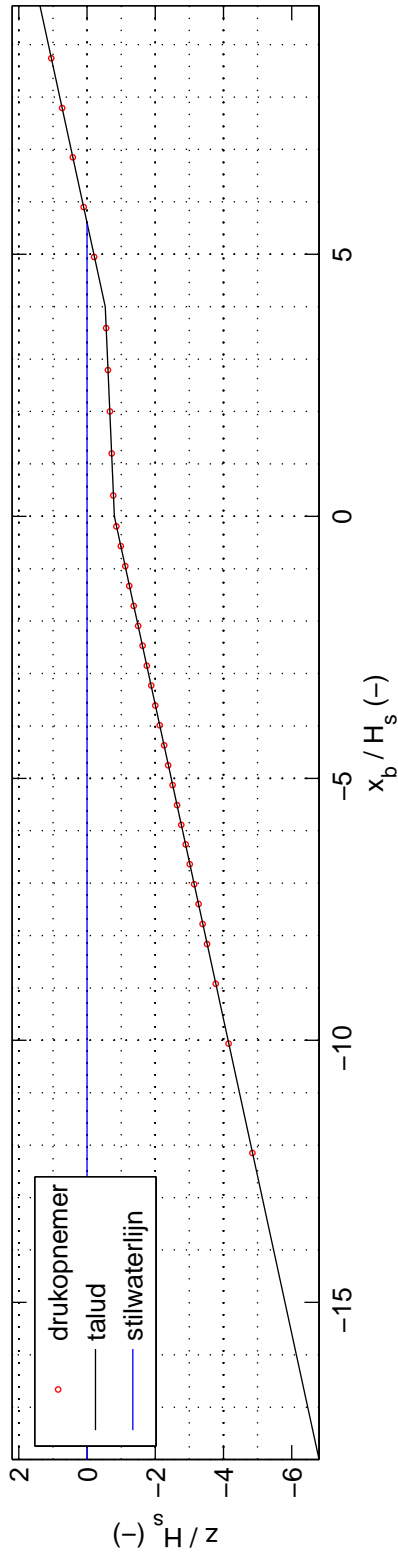
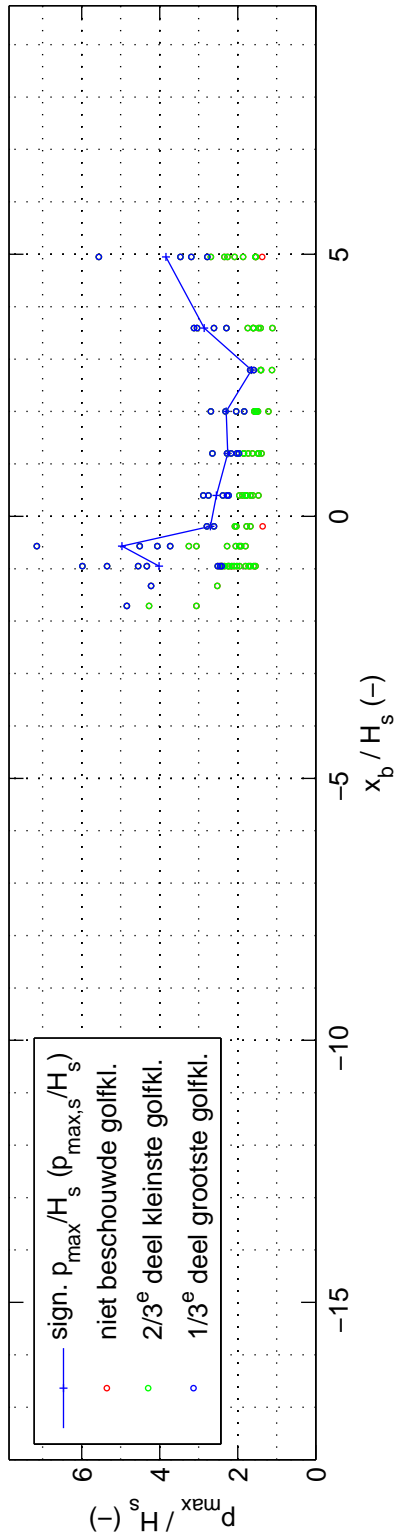
proef 3109

Deltares

1209832-014

FIG. C.17

proef 3110 ; $H_s = 0.100$ m ; $s_{op} = 0.022$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

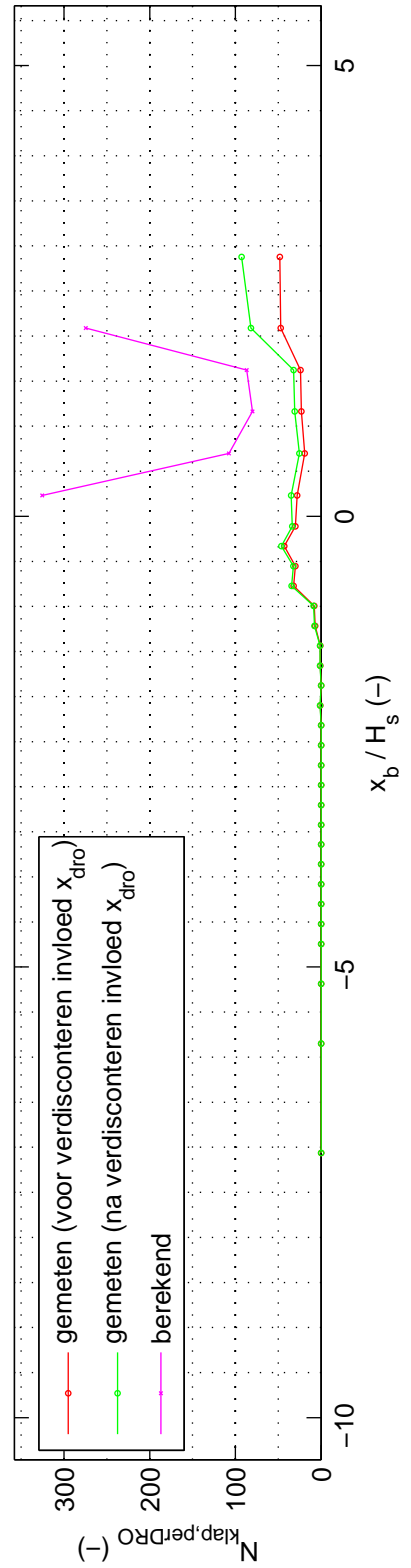
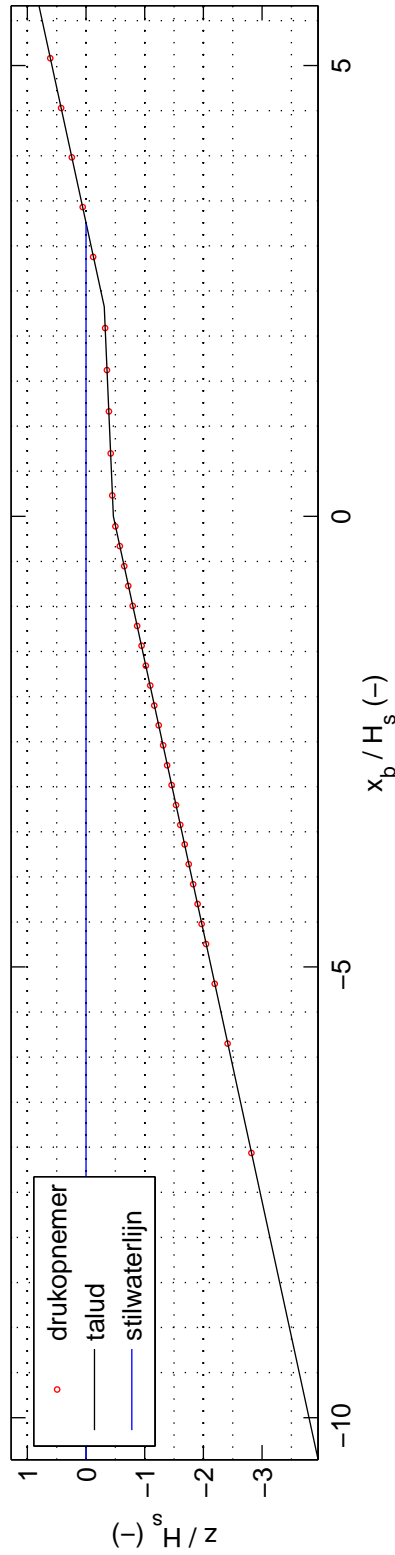
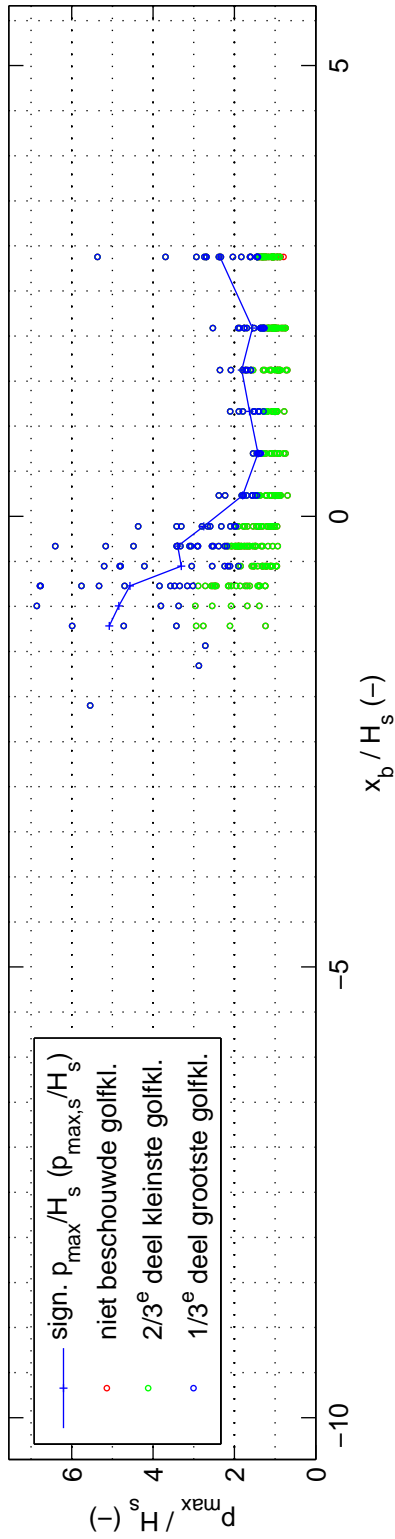
proef 3110

Deltares

1209832-014

FIG. C.18

proef 3111 ; $H_s = 0.172$ m ; $s_{op} = 0.038$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

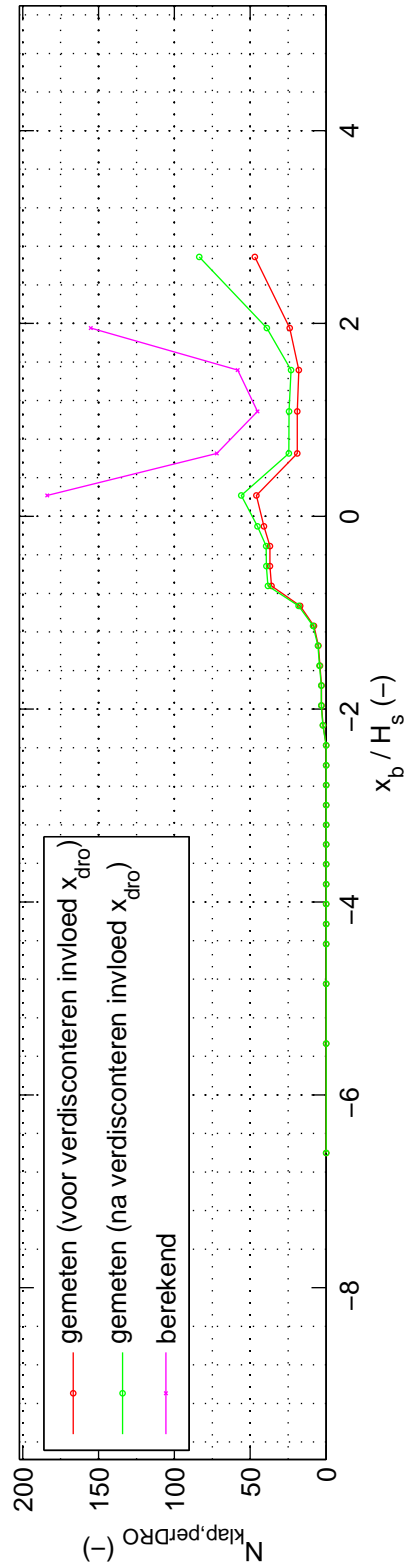
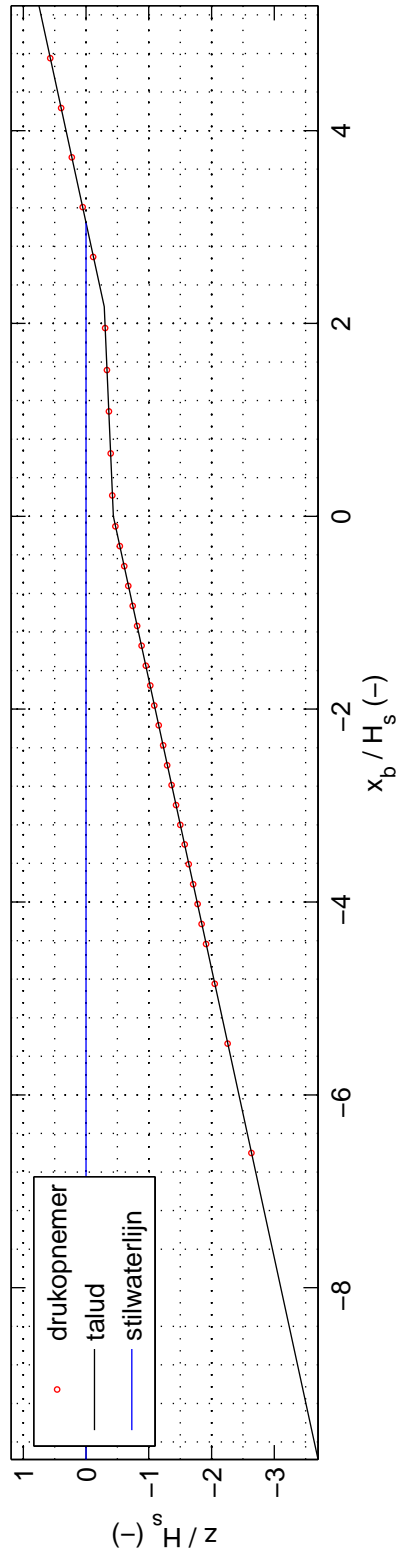
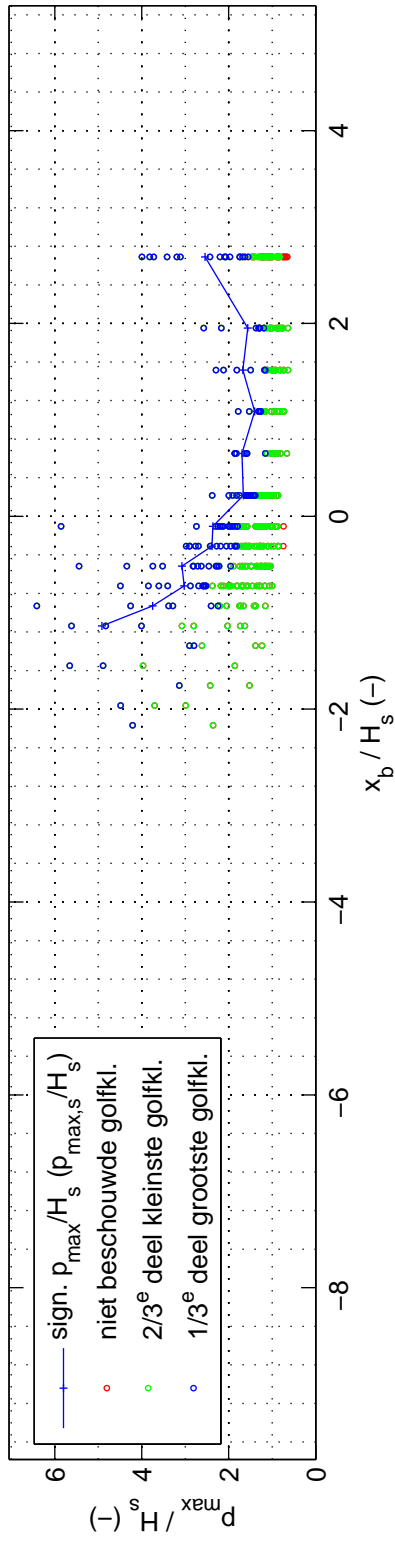
proef 3111

Deltares

1209832-014

FIG. C.19

proef 3112 ; $H_s = 0.184$ m ; $s_{op} = 0.033$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

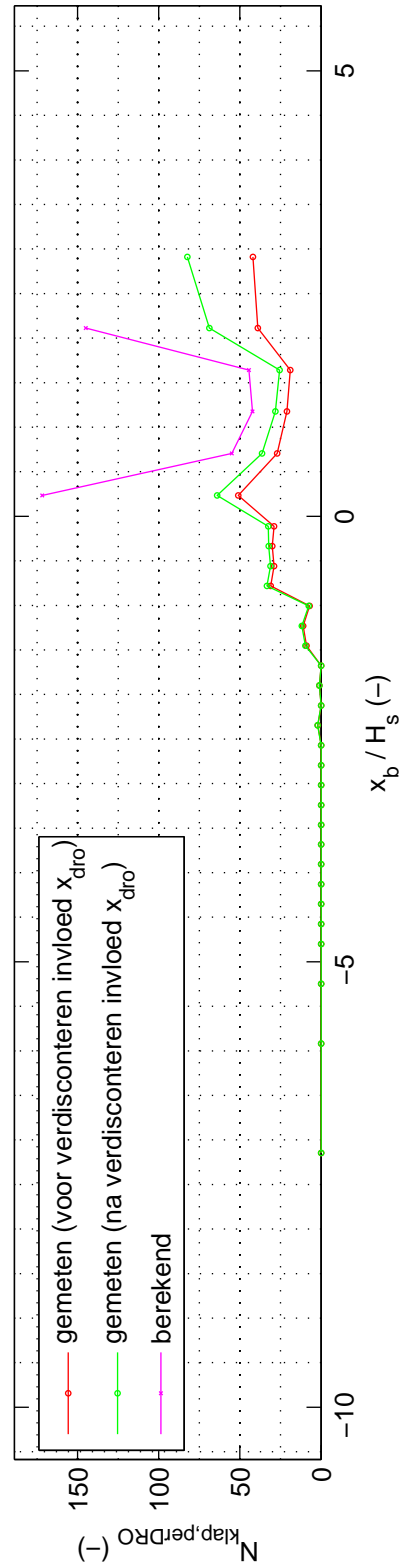
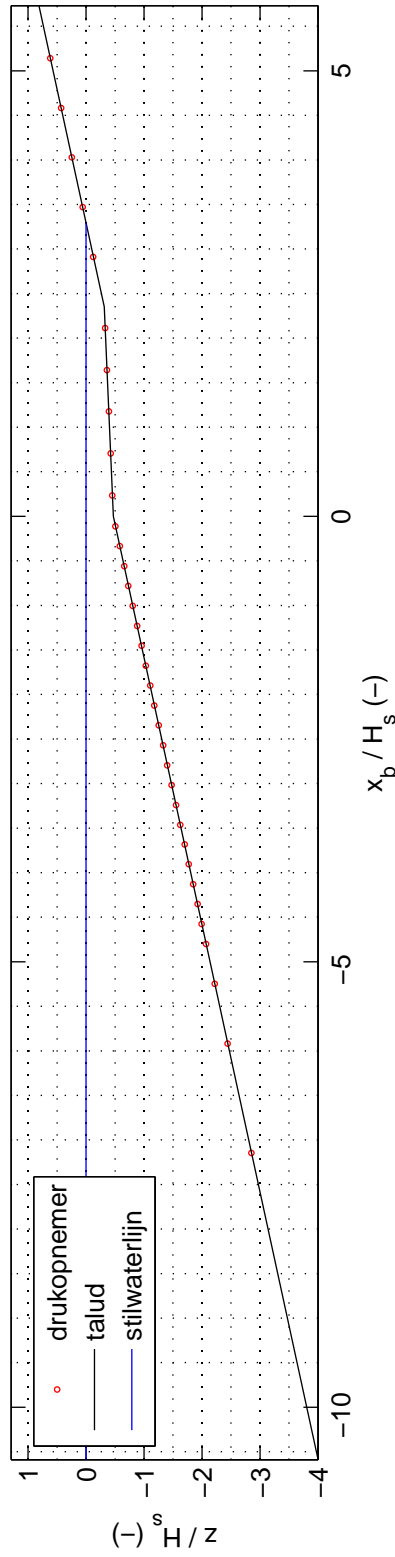
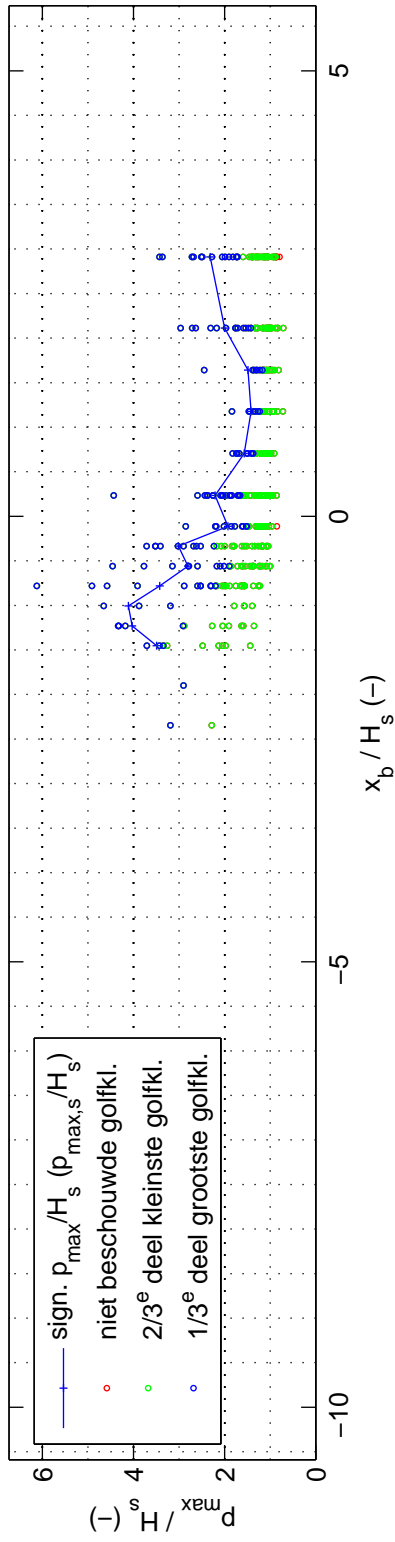
proef 3112

Deltares

1209832-014

FIG. C.20

proef 3113 ; $H_s = 0.170$ m ; $s_{op} = 0.029$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

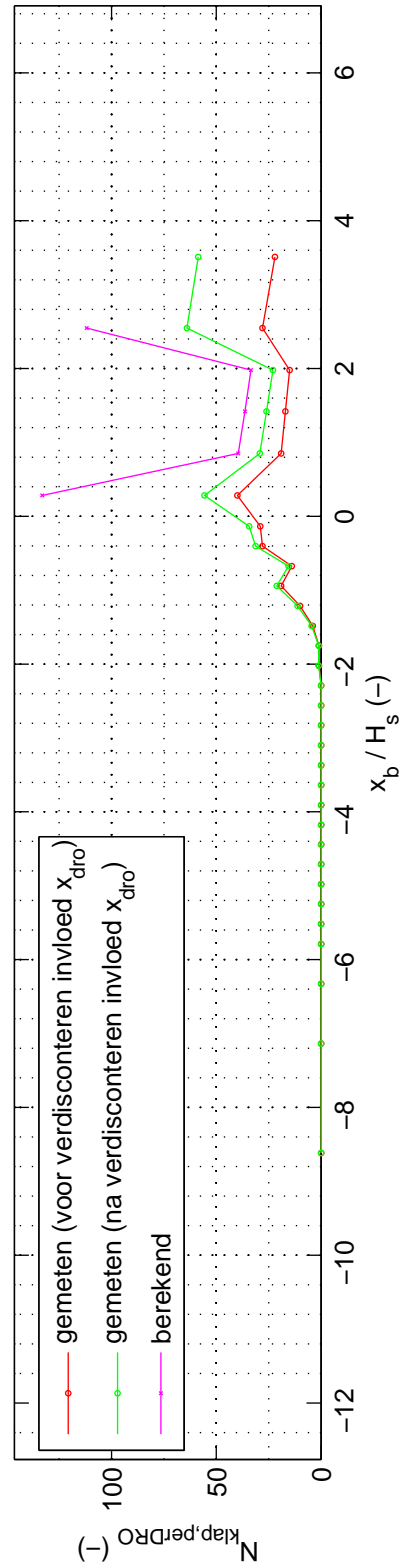
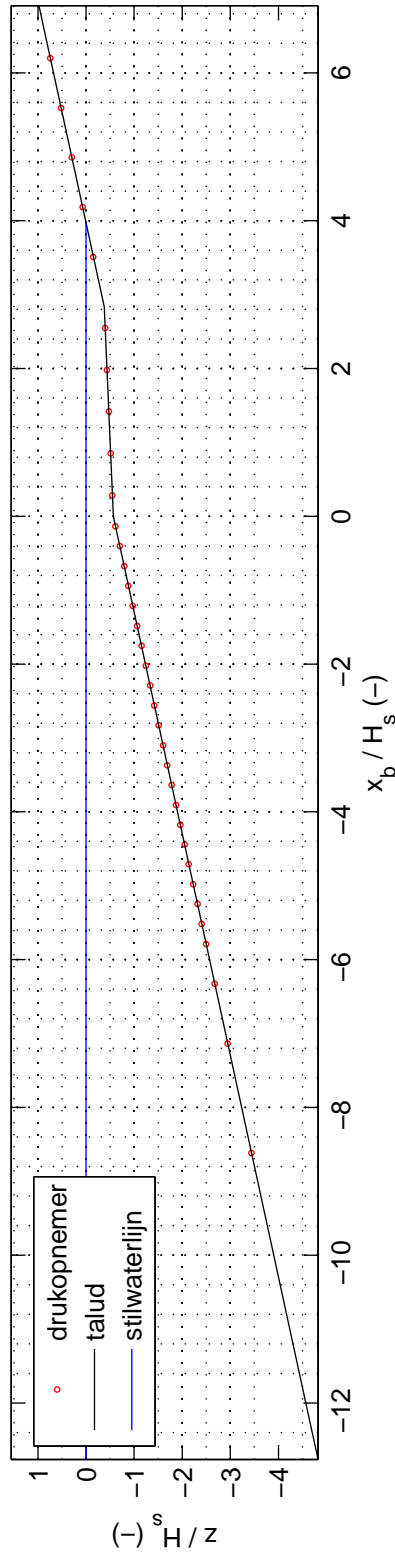
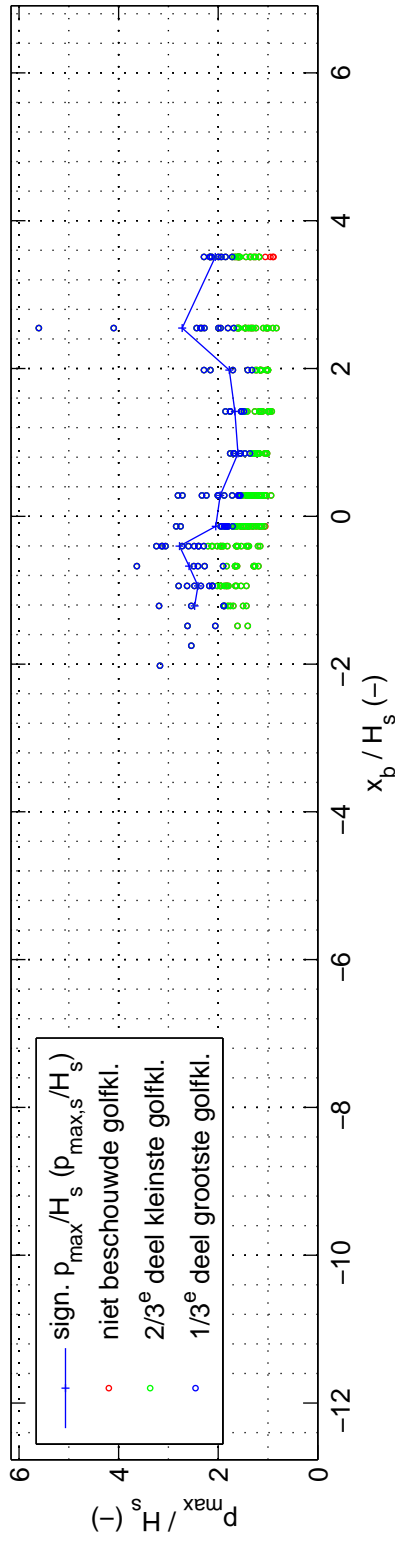
proef 3113

Deltares

1209832-014

FIG. C.21

proef 3114 ; $H_s = 0.141$ m ; $s_{op} = 0.019$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

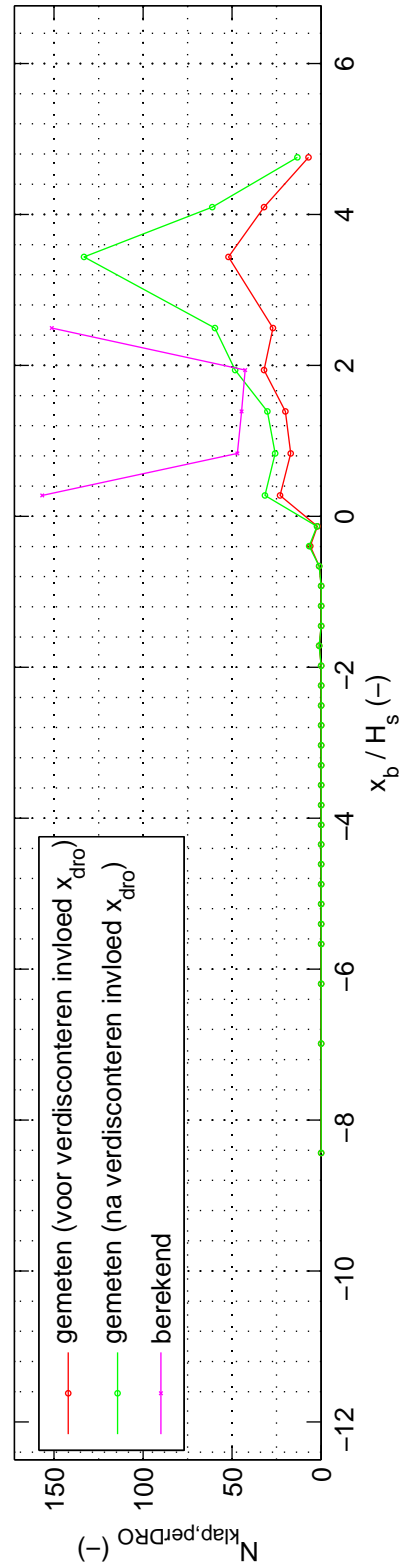
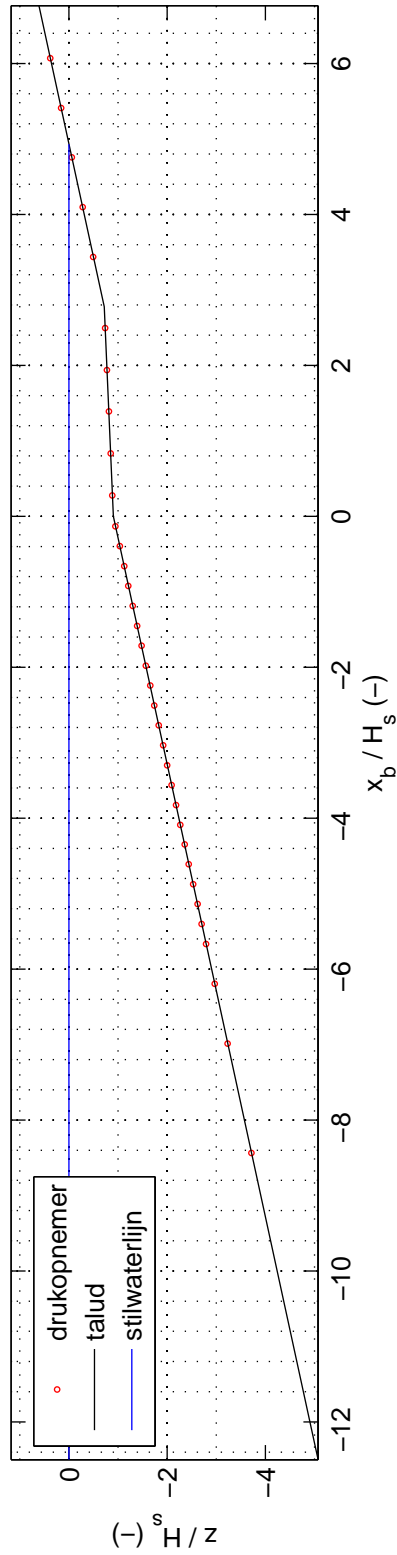
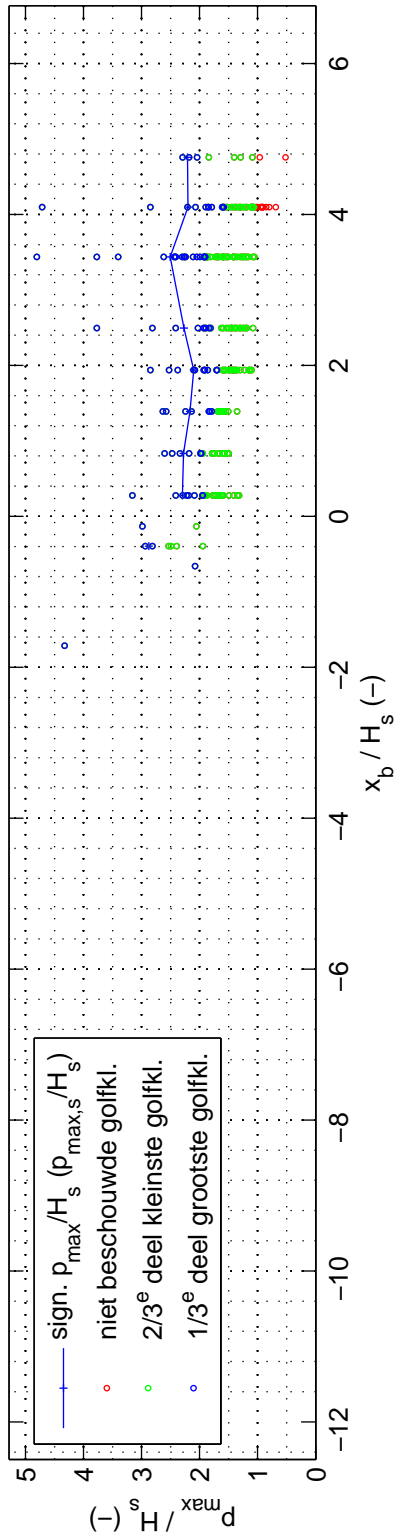
proef 3114

Deltares

1209832-014

FIG. C.22

proef 3115 ; $H_s = 0.144$ m ; $s_{op} = 0.020$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.13$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

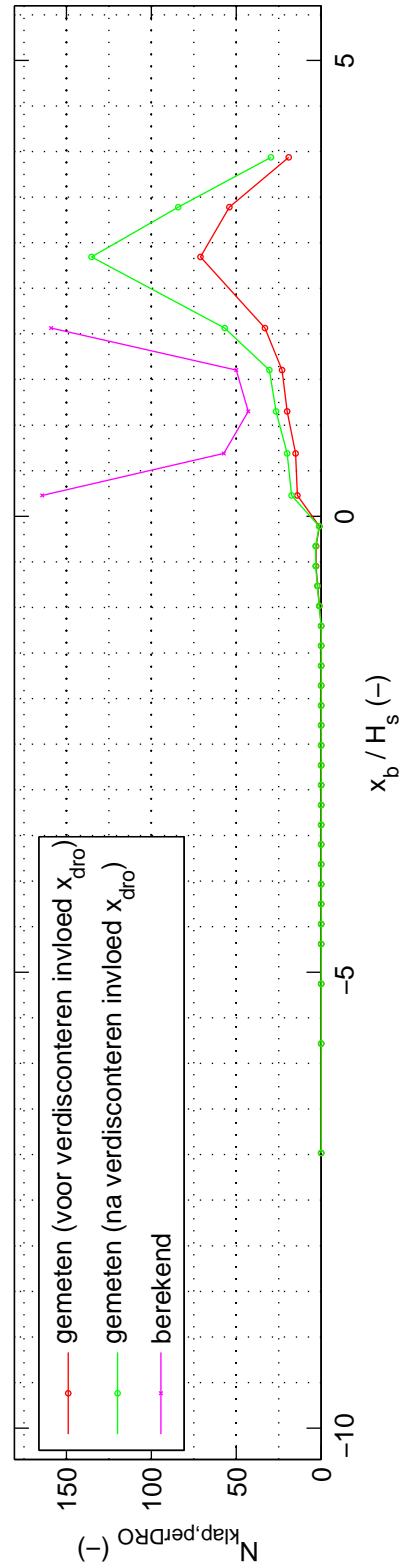
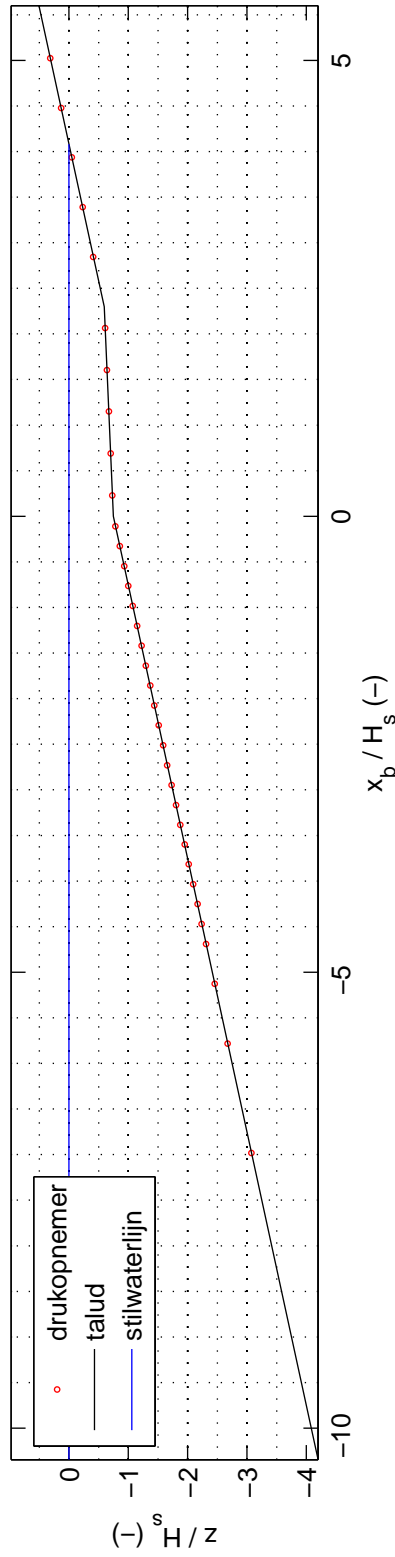
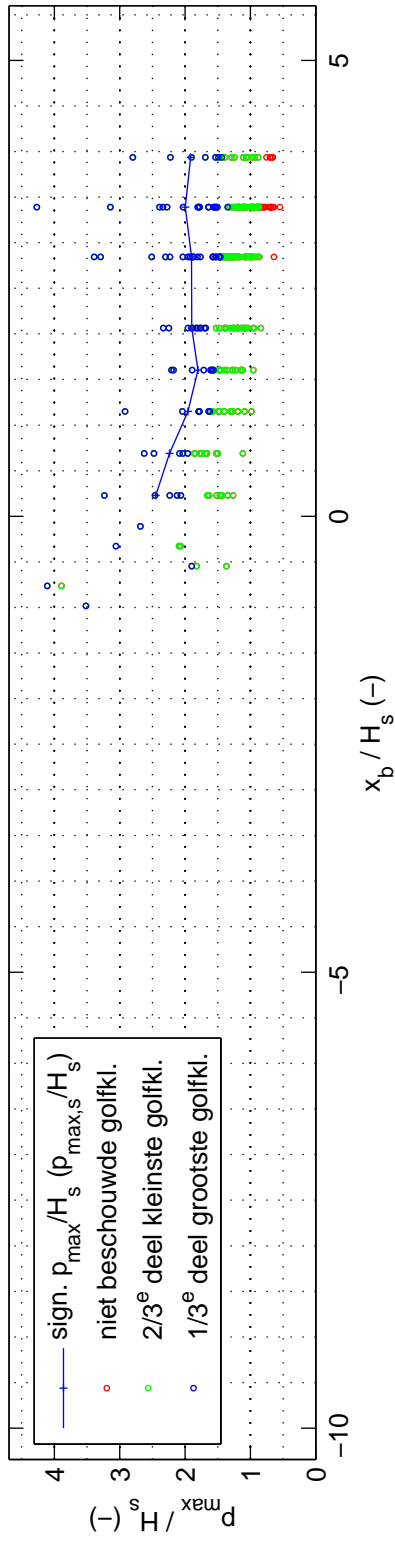
proef 3115

Deltares

1209832-014

FIG. C.23

proef 3116 ; $H_s = 0.174$ m ; $s_{op} = 0.037$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.13$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

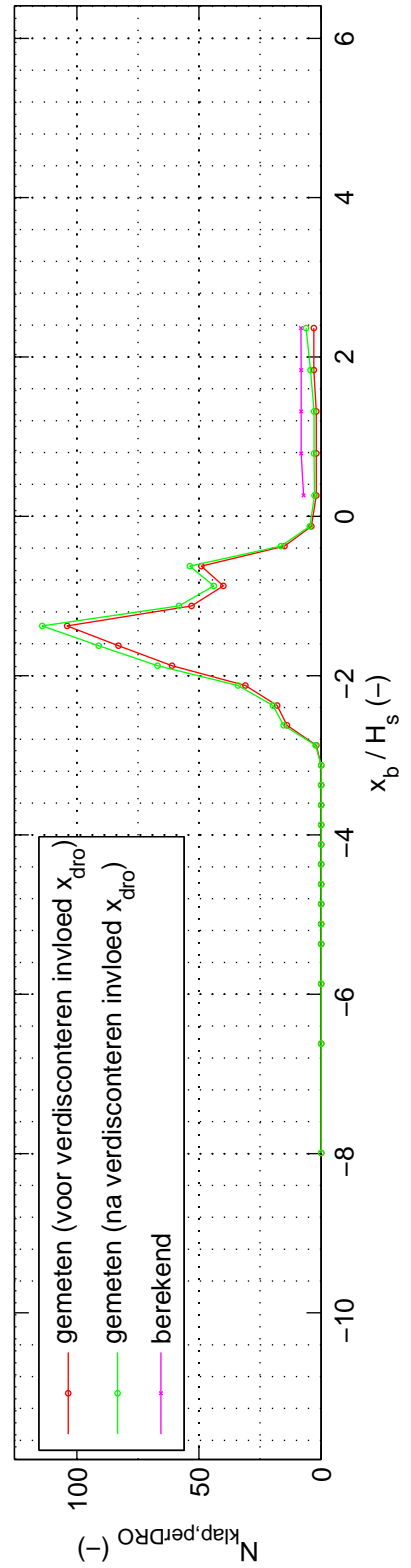
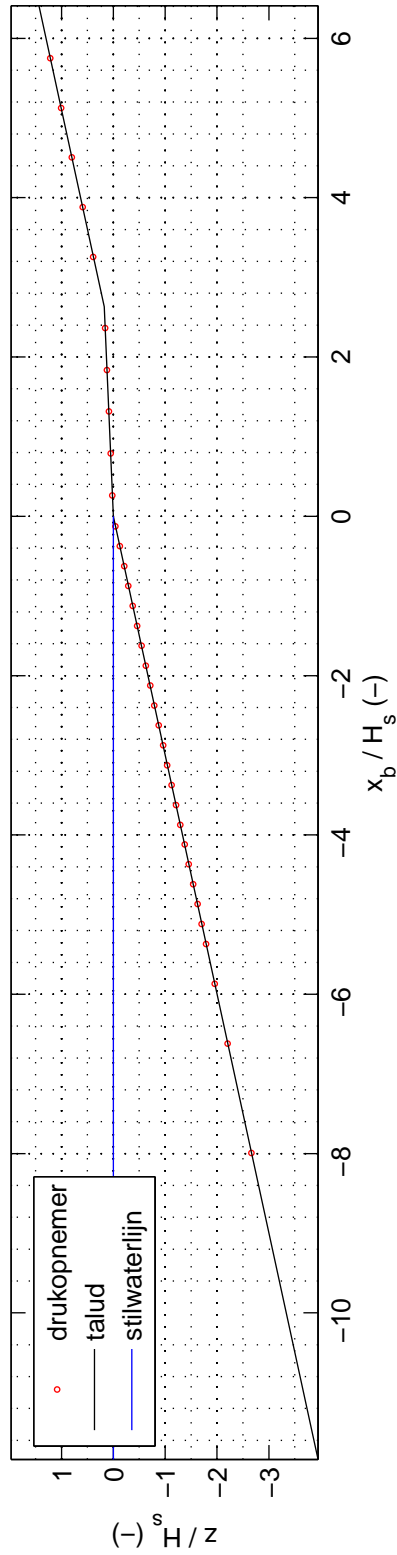
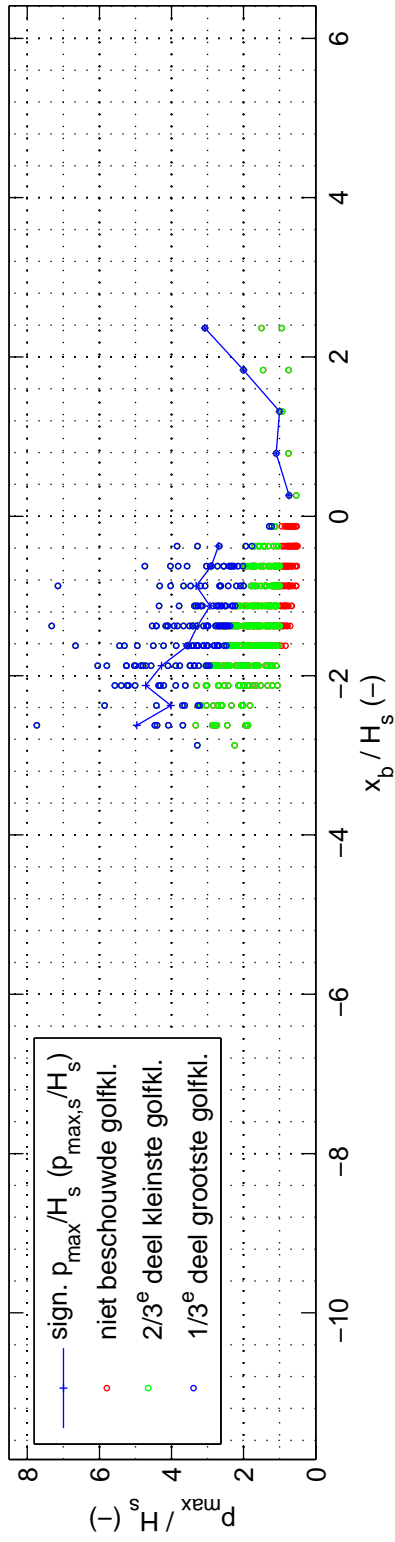
proef 3116

Deltares

1209832-014

FIG. C.24

proef 3117 ; $H_s = 0.152$ m ; $s_{op} = 0.035$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

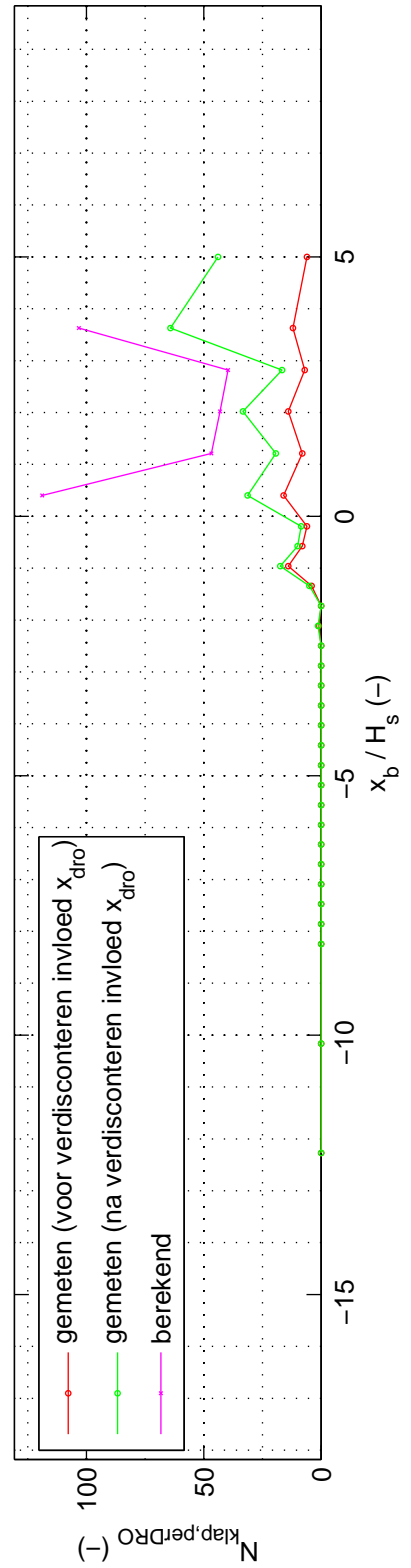
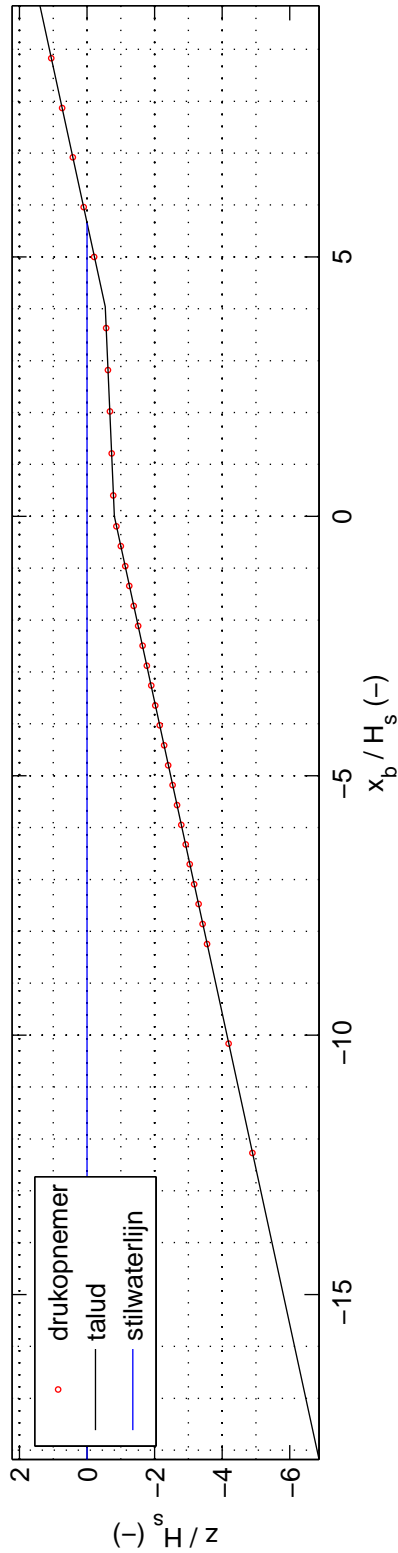
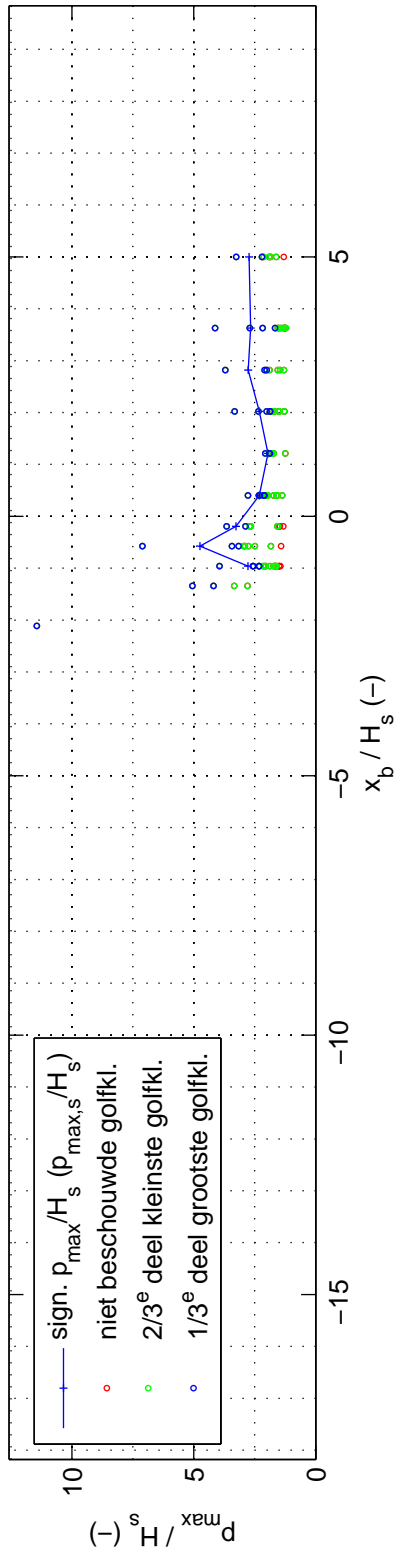
proef 3117

Deltares

1209832-014

FIG. C.25

proef 3118 ; $H_s = 0.099$ m ; $s_{op} = 0.019$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

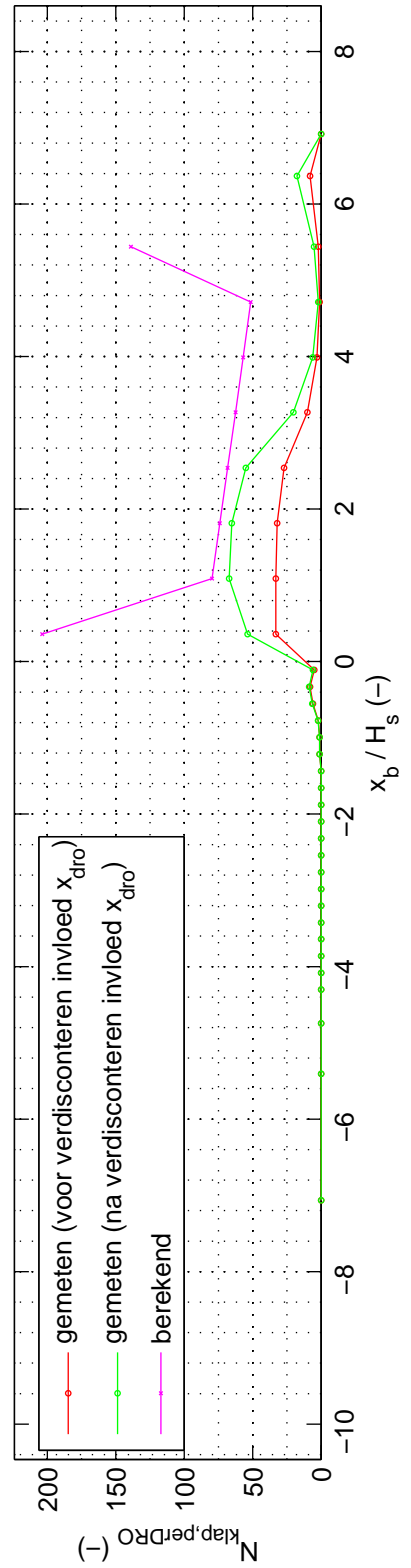
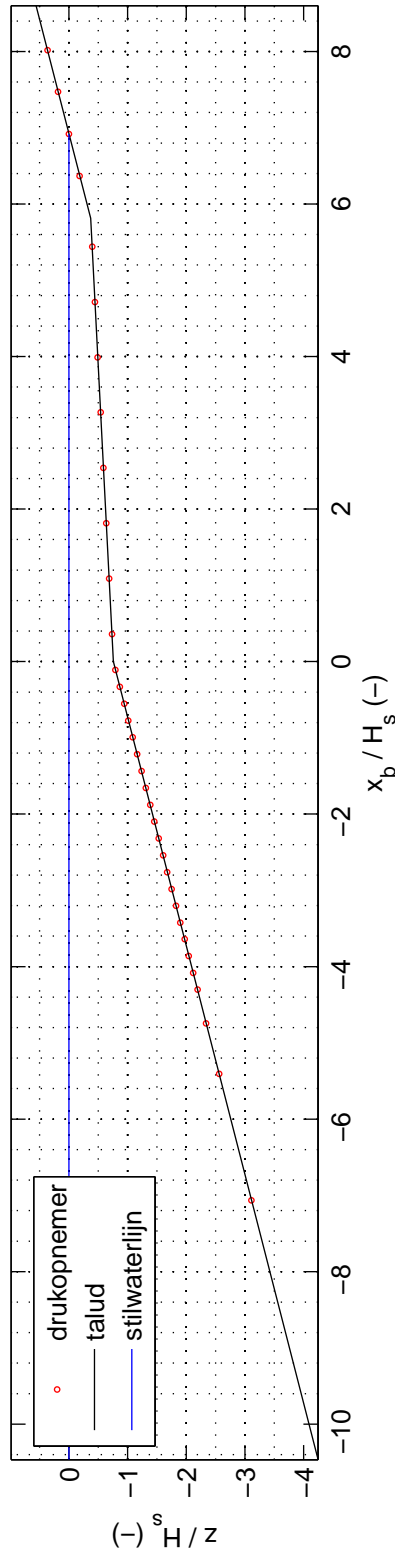
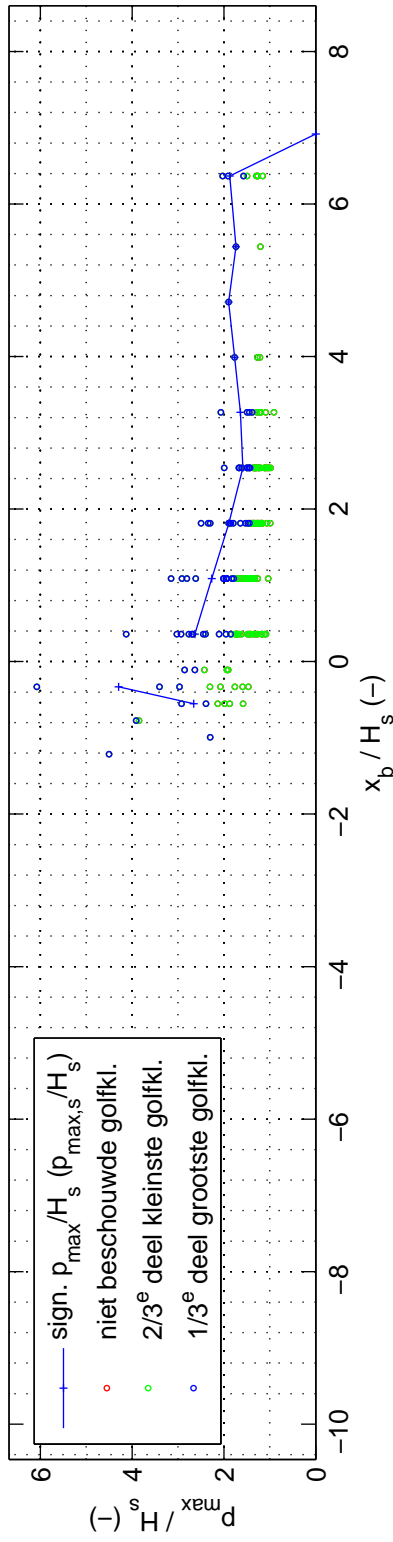
proef 3118

Deltares

1209832-014

FIG. C.26

proef 3201 ; $H_s = 0.172$ m ; $s_{op} = 0.036$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.13$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

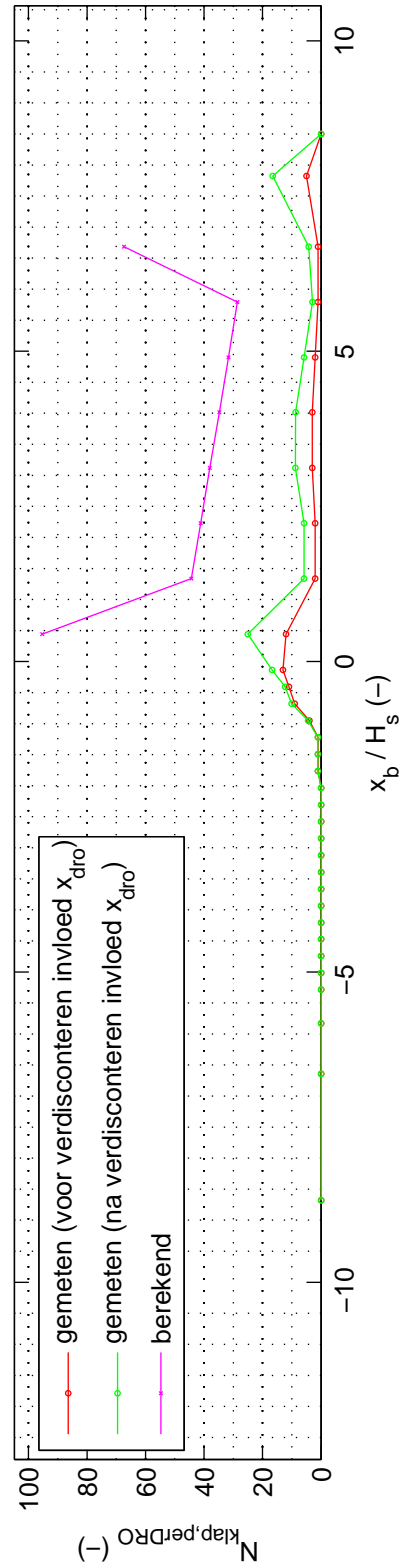
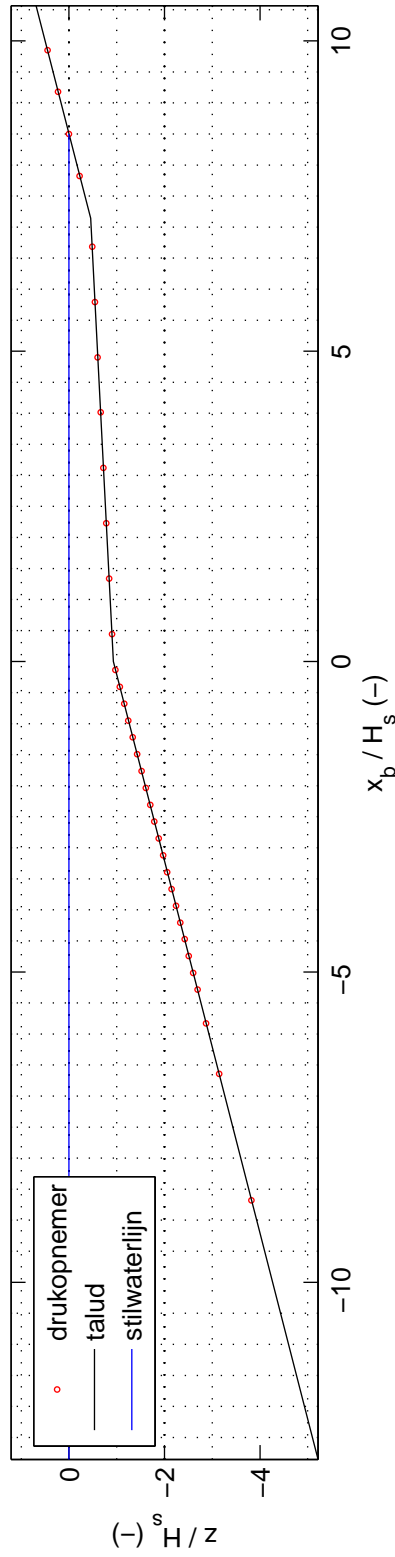
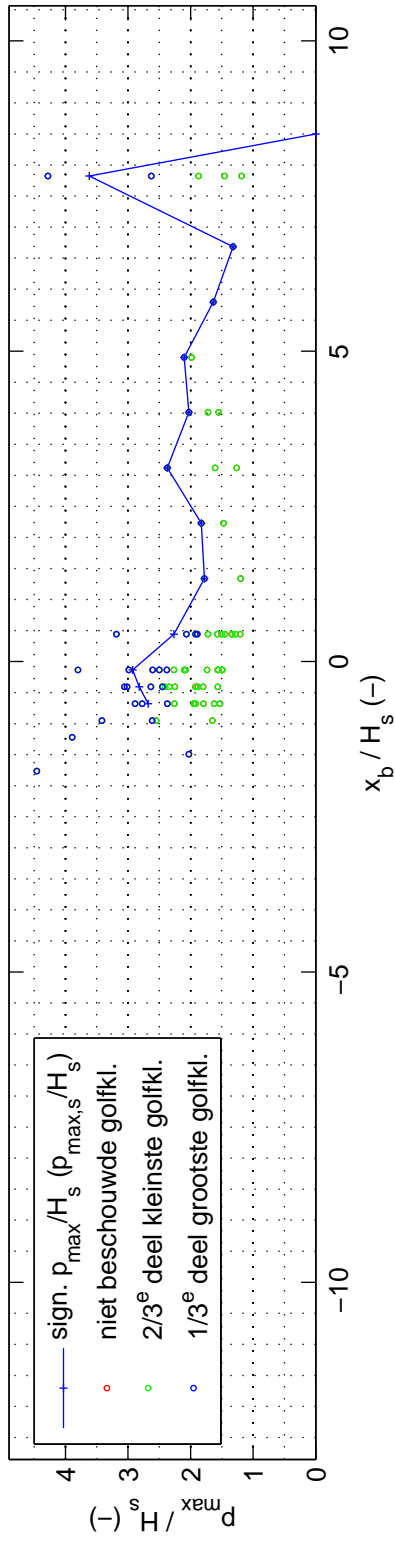
proef 3201

Deltares

1209832-014

FIG. C.27

proef 3202 ; $H_s = 0.140$ m ; $s_{op} = 0.020$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.13$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

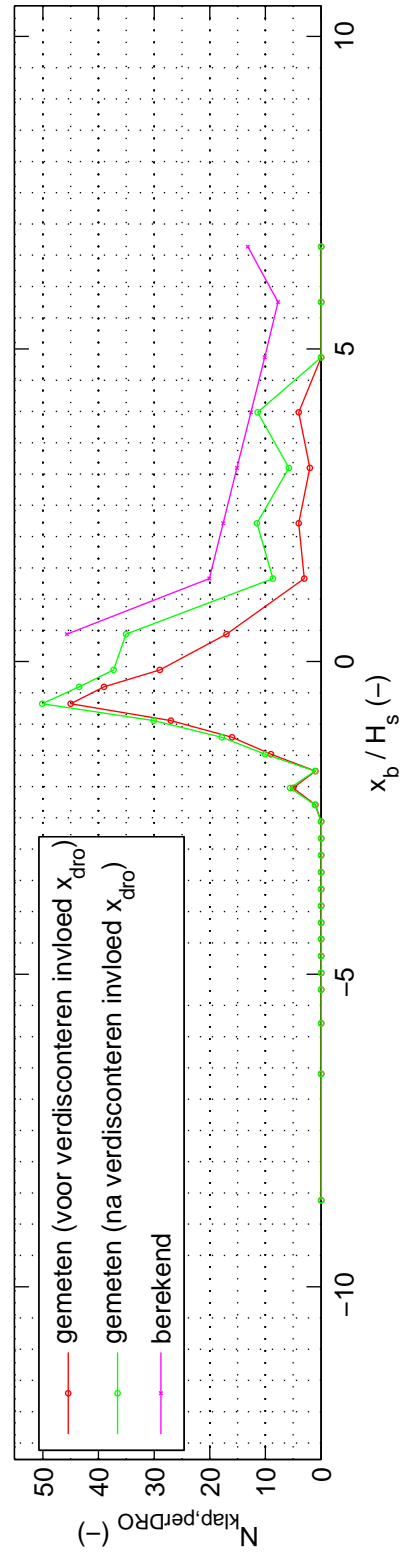
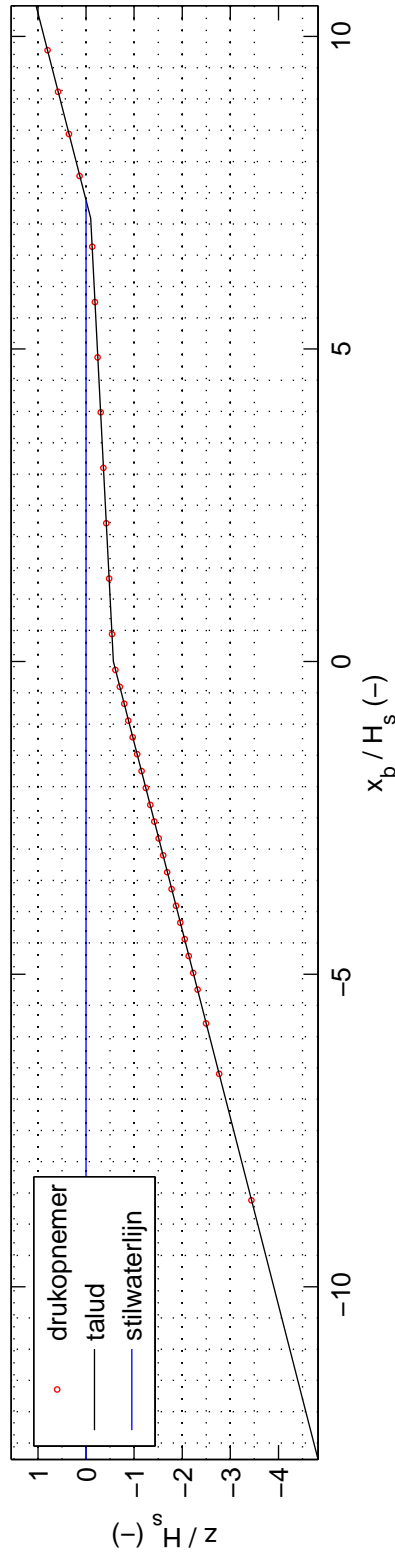
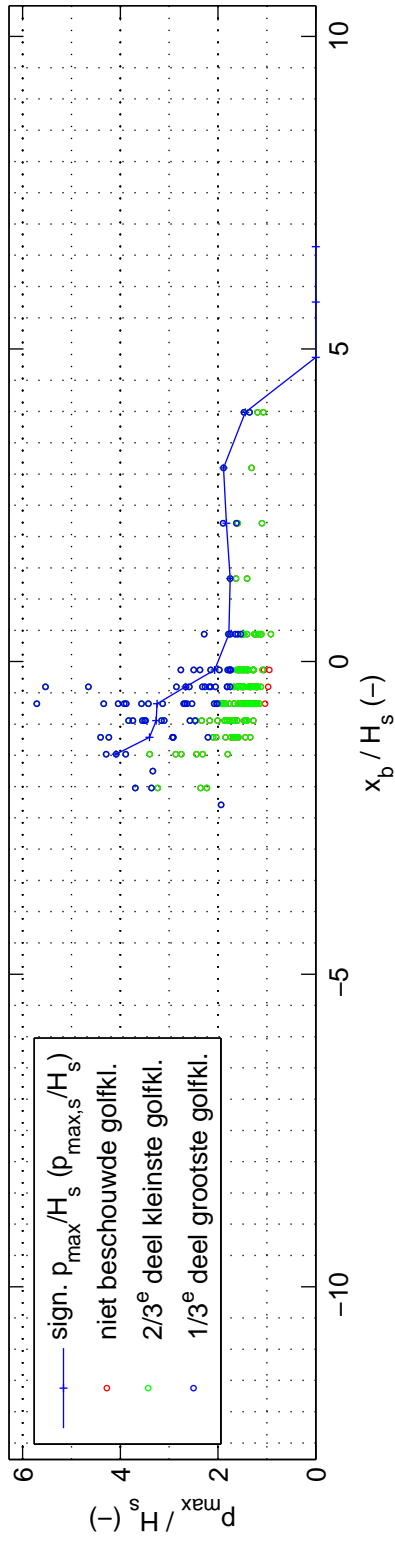
proef 3202

Deltares

1209832-014

FIG. C.28

proef 3203 ; $H_s = 0.141$ m ; $s_{op} = 0.020$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

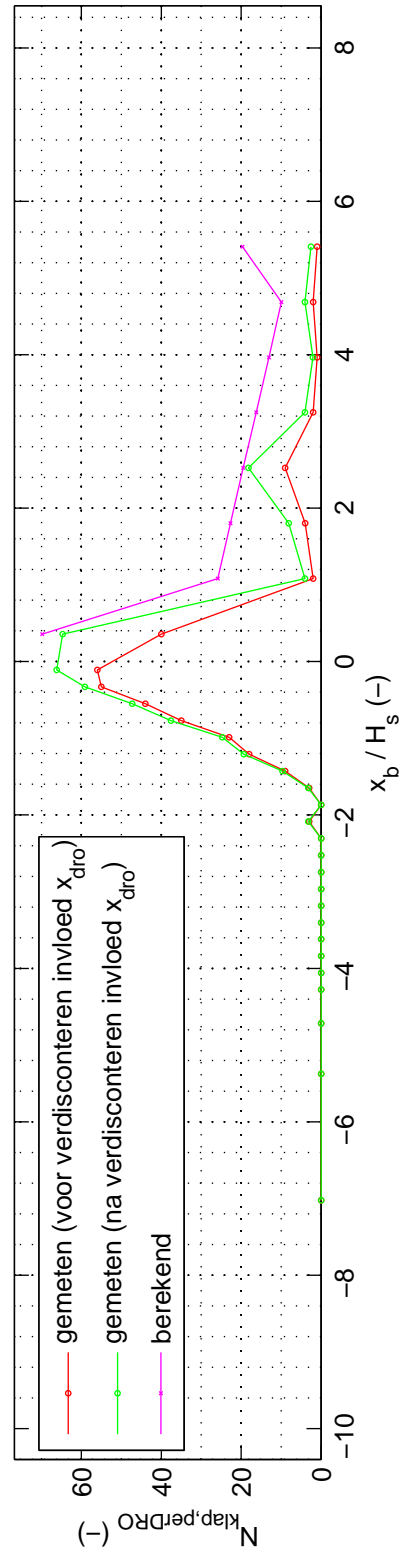
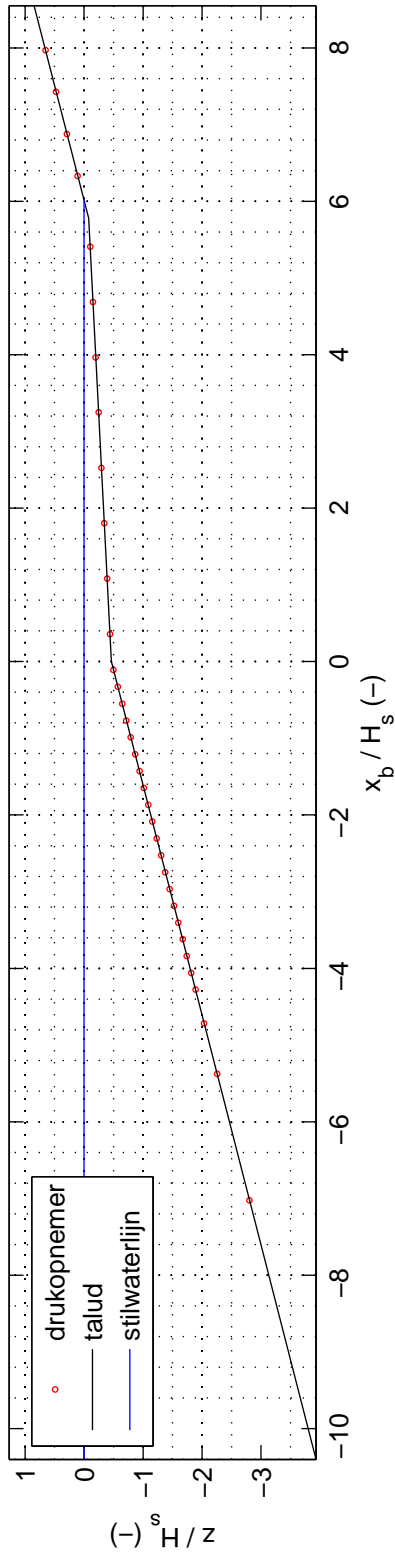
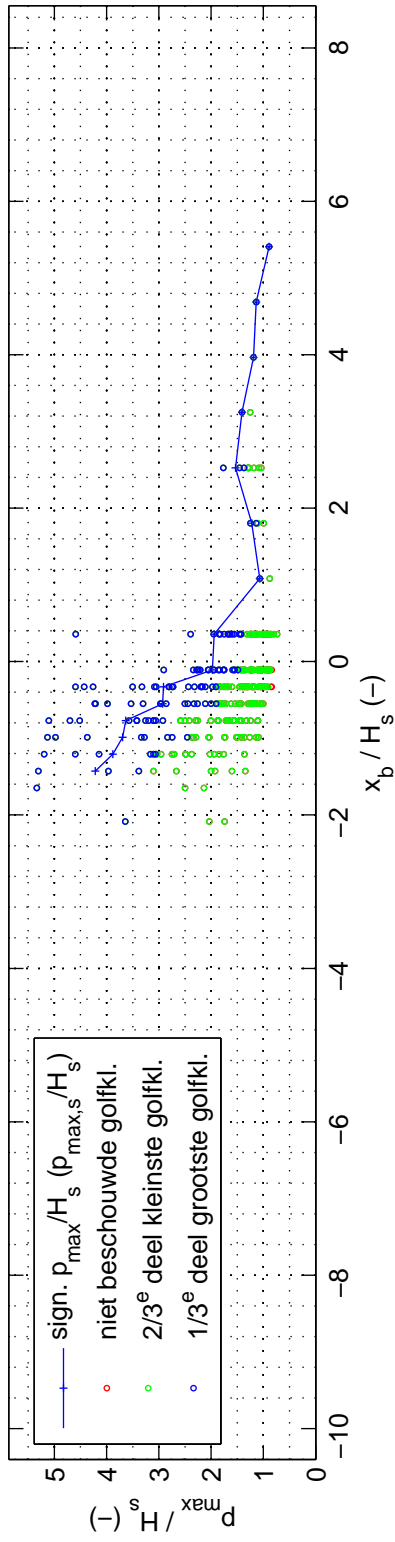
proef 3203

Deltares

1209832-014

FIG. C.29

proef 3204 ; $H_s = 0.173$ m ; $s_{op} = 0.029$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

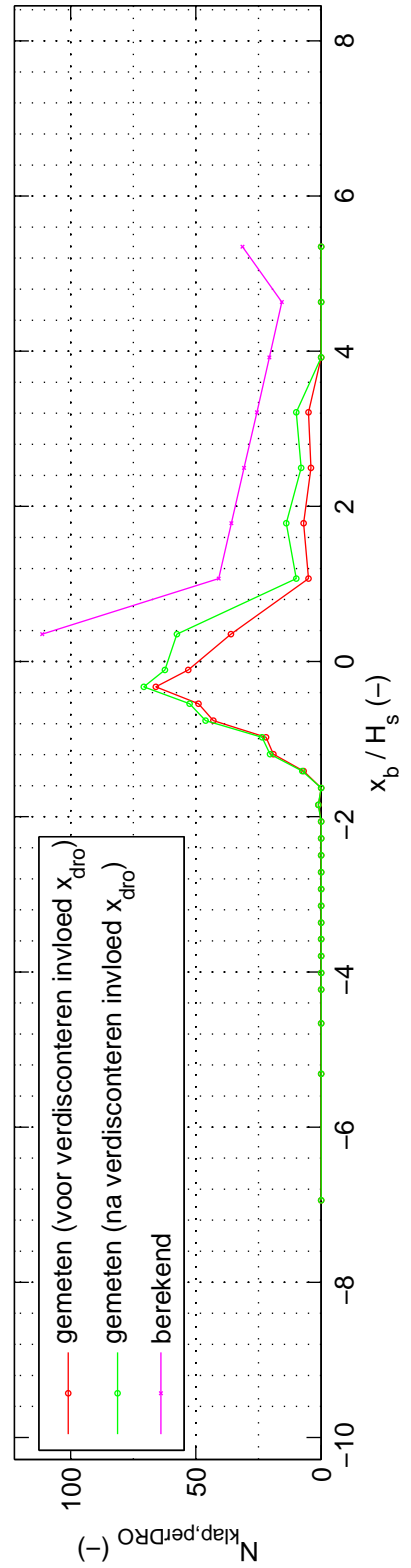
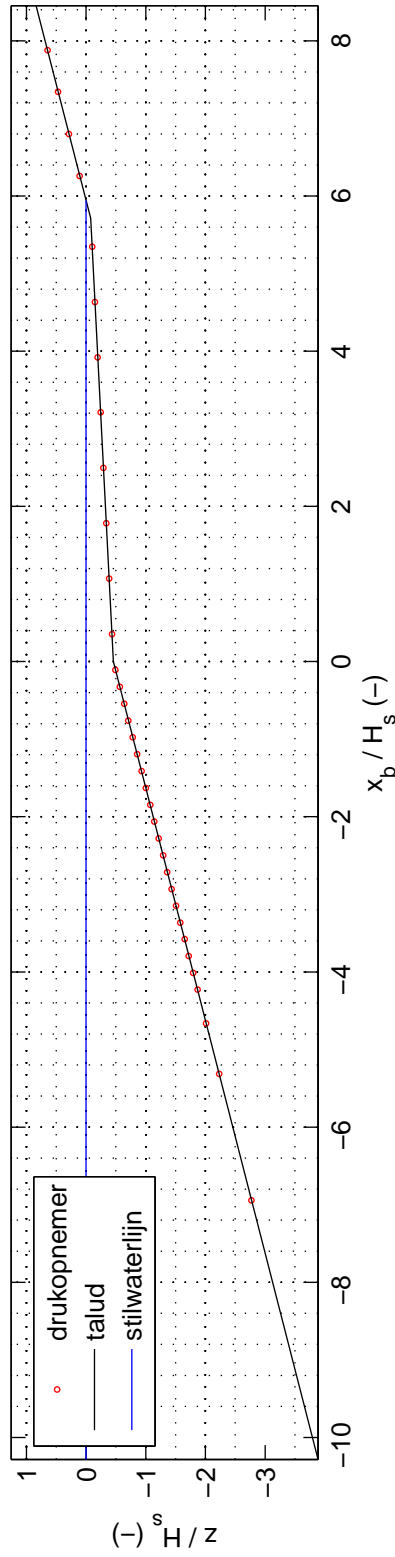
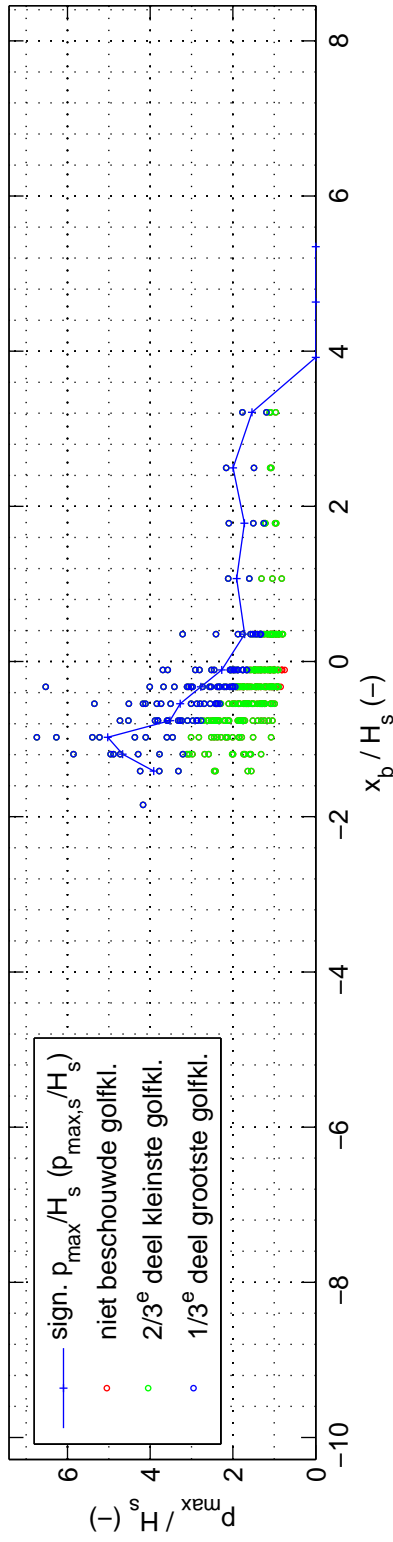
proef 3204

Deltares

1209832-014

FIG. C.30

proef 3205 ; $H_s = 0.175$ m ; $s_{op} = 0.034$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

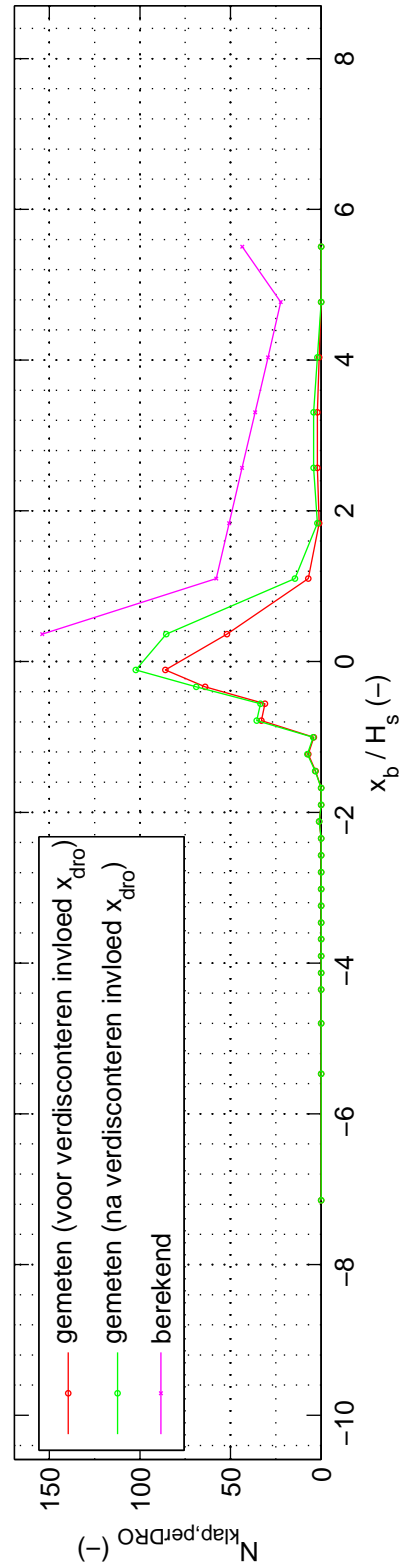
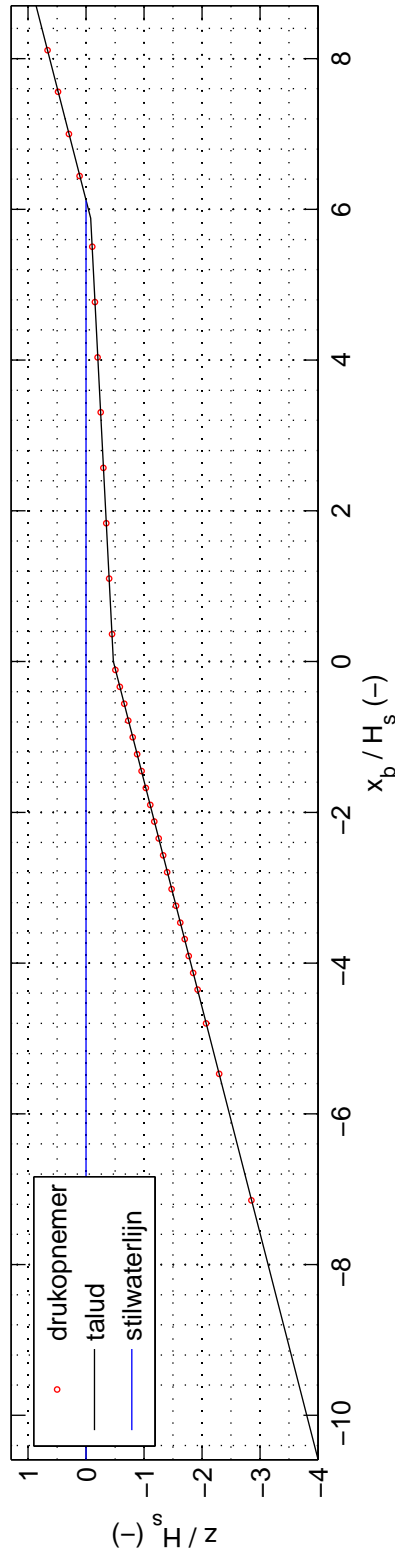
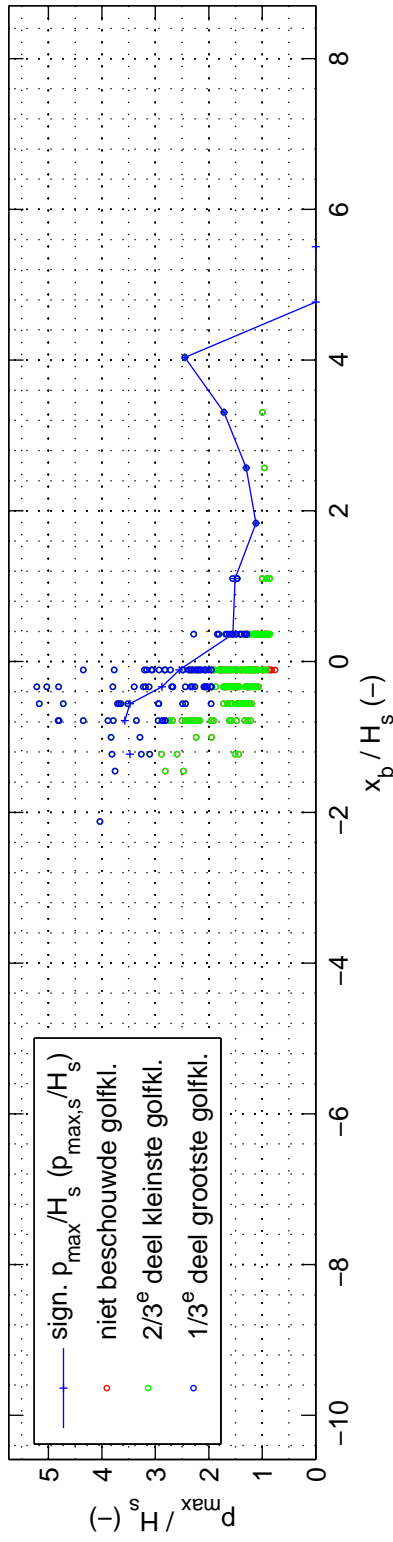
proef 3205

Deltares

1209832-014

FIG. C.31

proef 3206 ; $H_s = 0.170$ m ; $s_{op} = 0.037$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

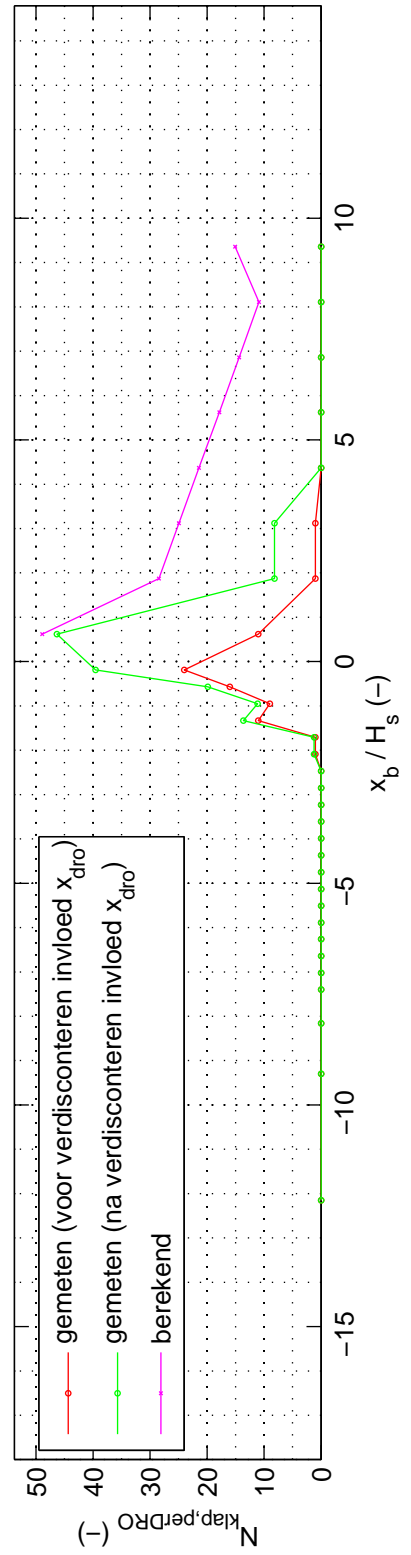
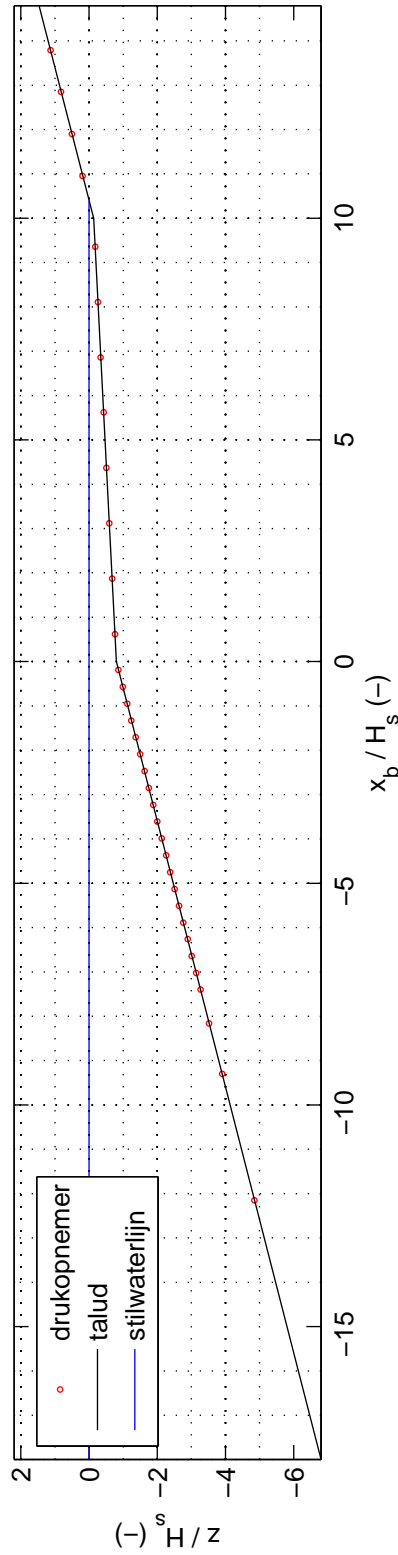
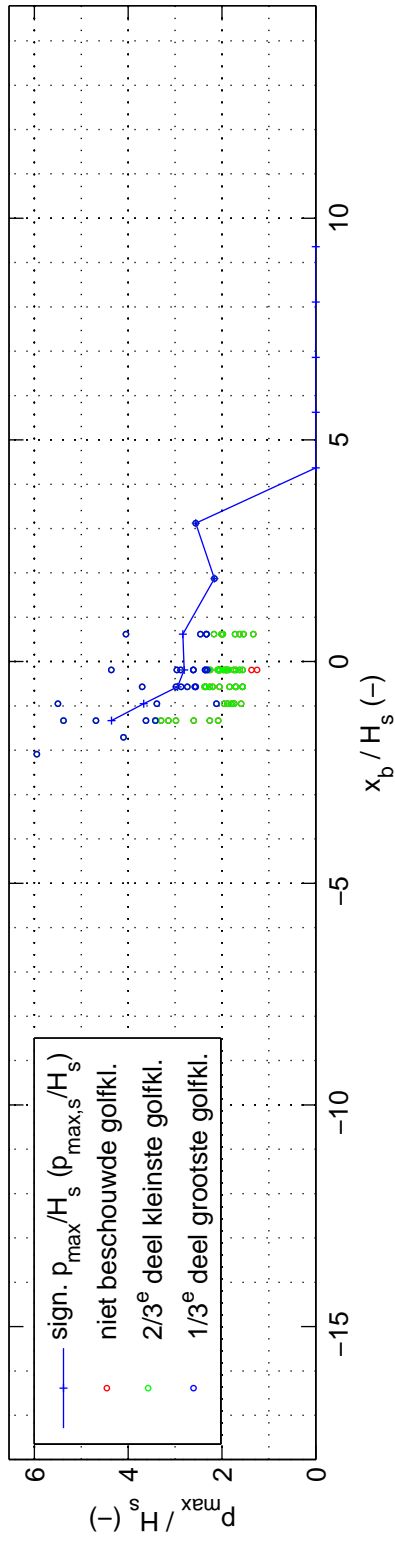
proef 3206

Deltares

1209832-014

FIG. C.32

proef 3207 ; $H_s = 0.100$ m ; $s_{op} = 0.019$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

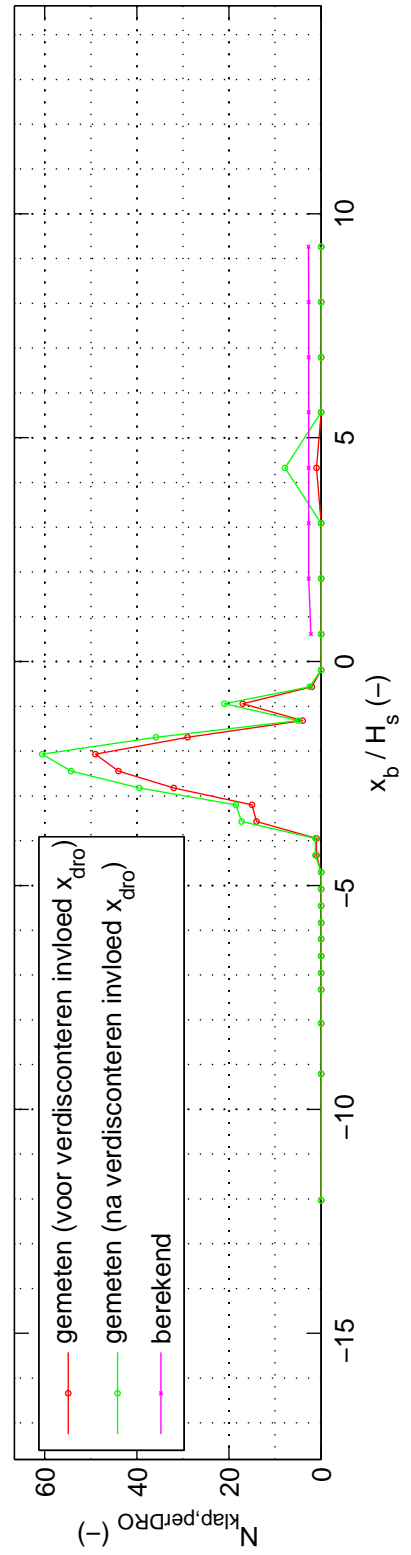
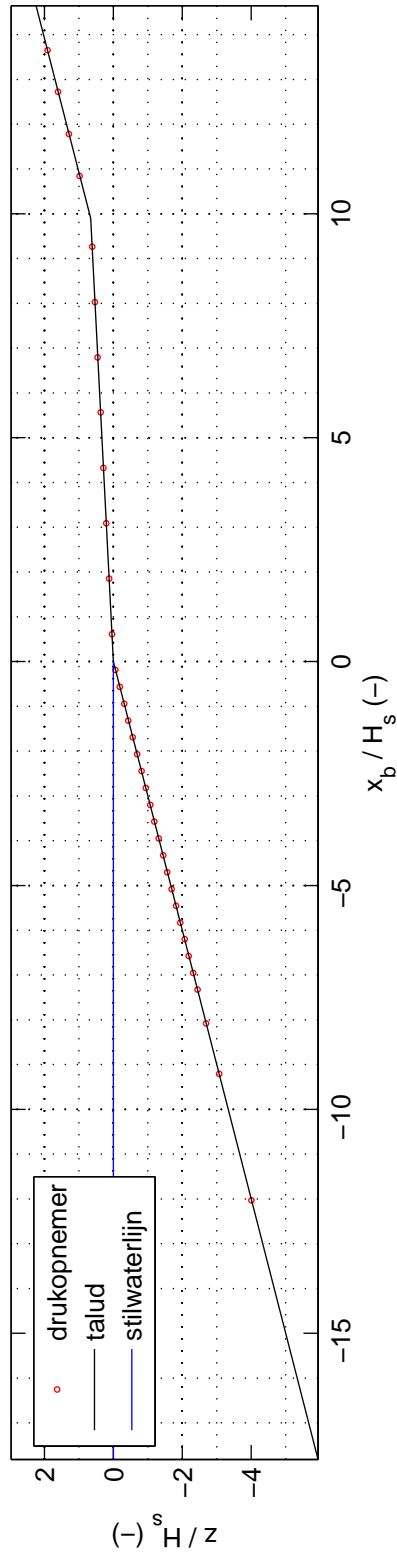
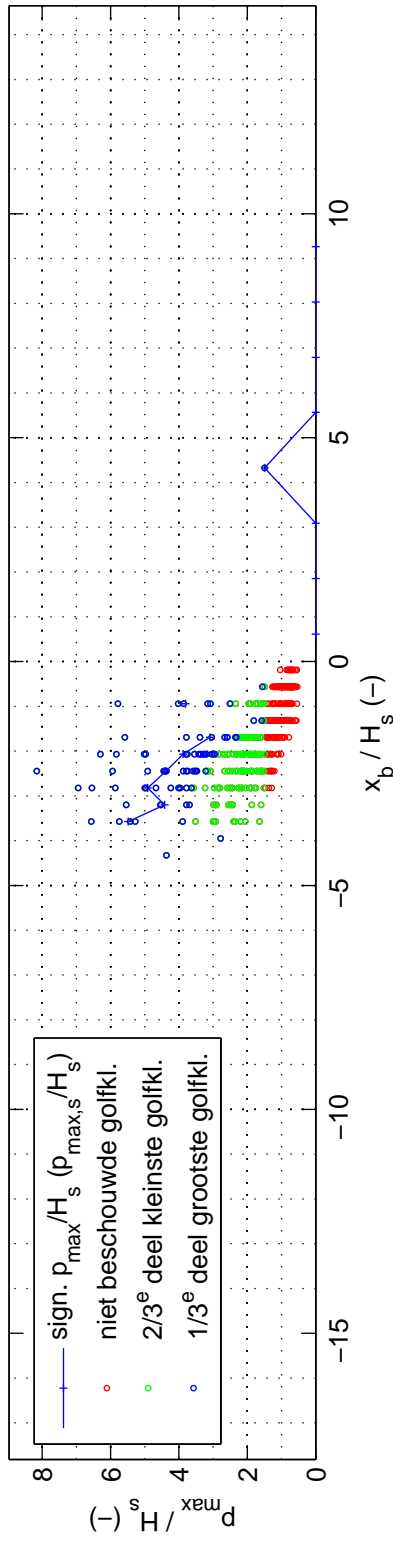
proef 3207

Deltares

1209832-014

FIG. C.33

proef 3208 ; $H_s = 0.101$ m ; $s_{op} = 0.018$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

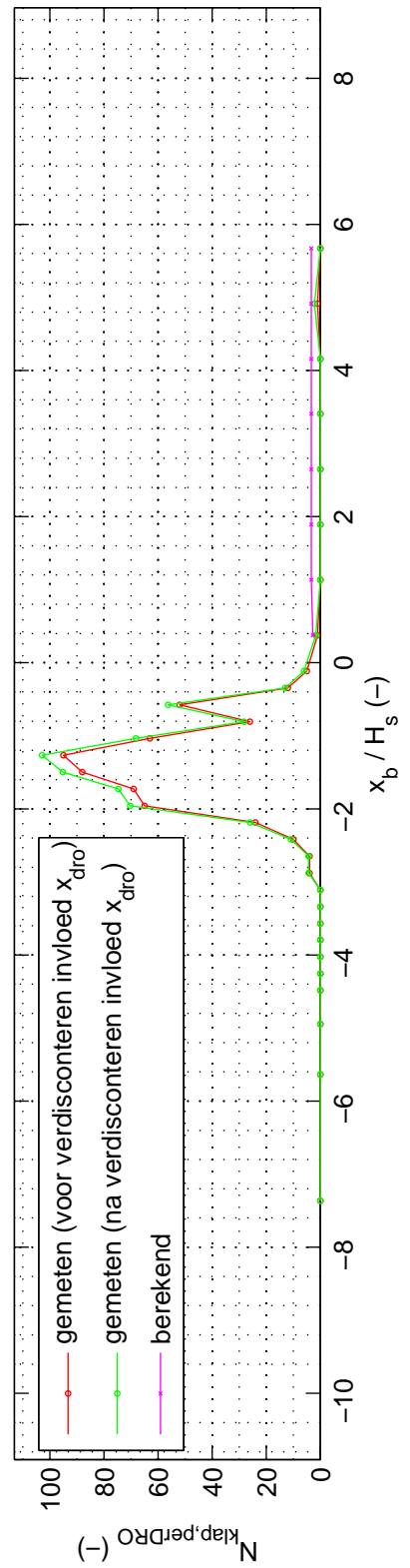
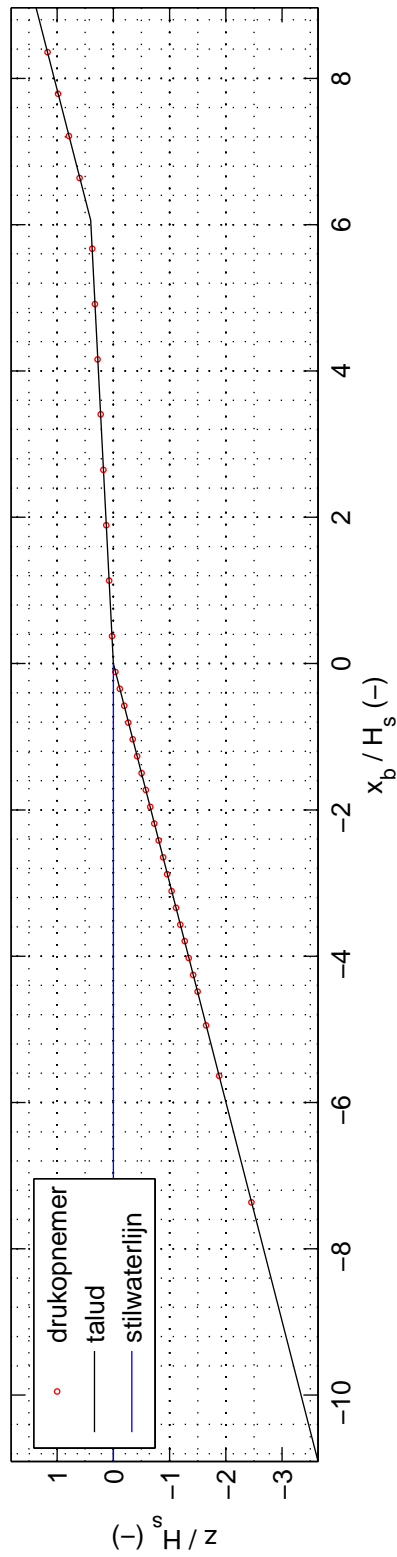
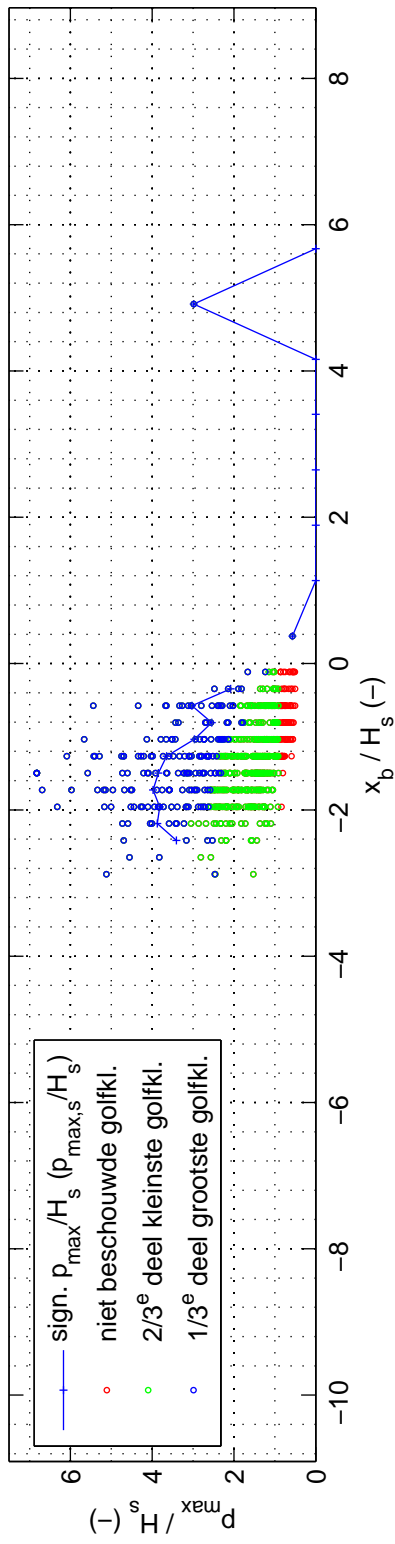
proef 3208

Deltares

1209832-014

FIG. C.34

proef 3209 ; $H_s = 0.165$ m ; $s_{op} = 0.039$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

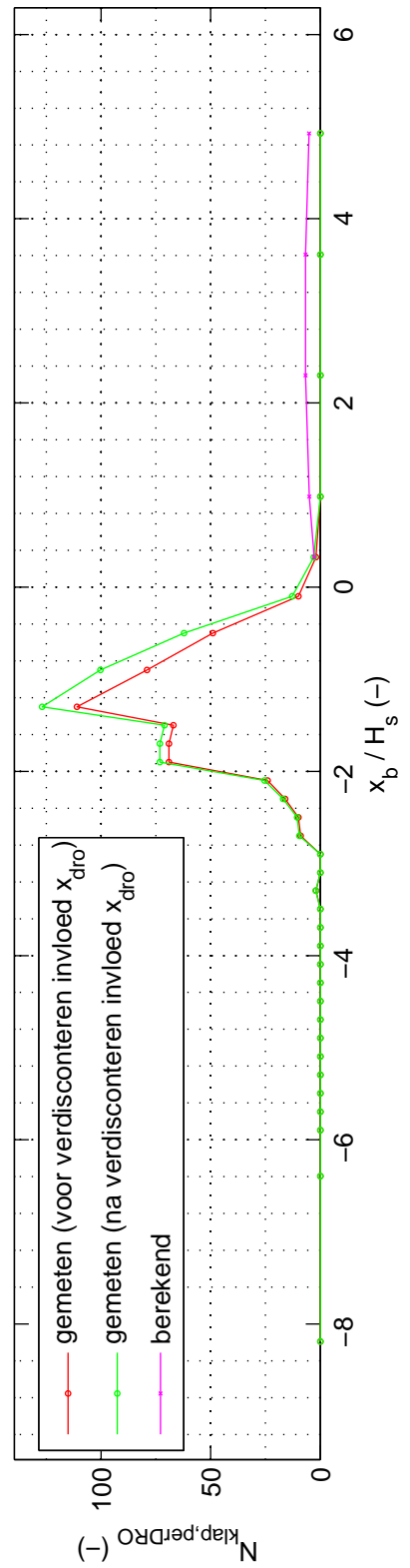
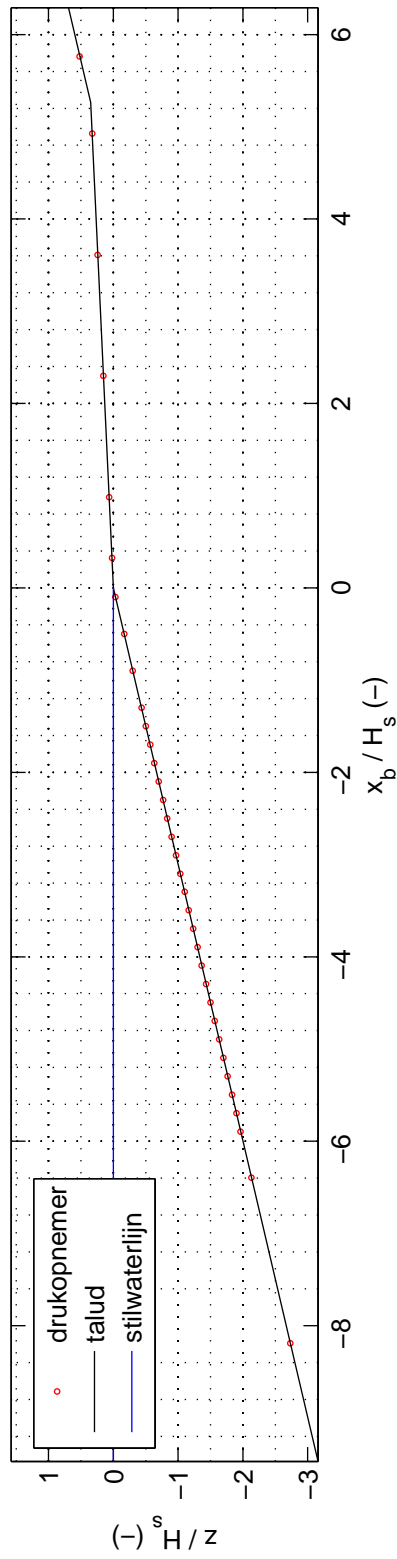
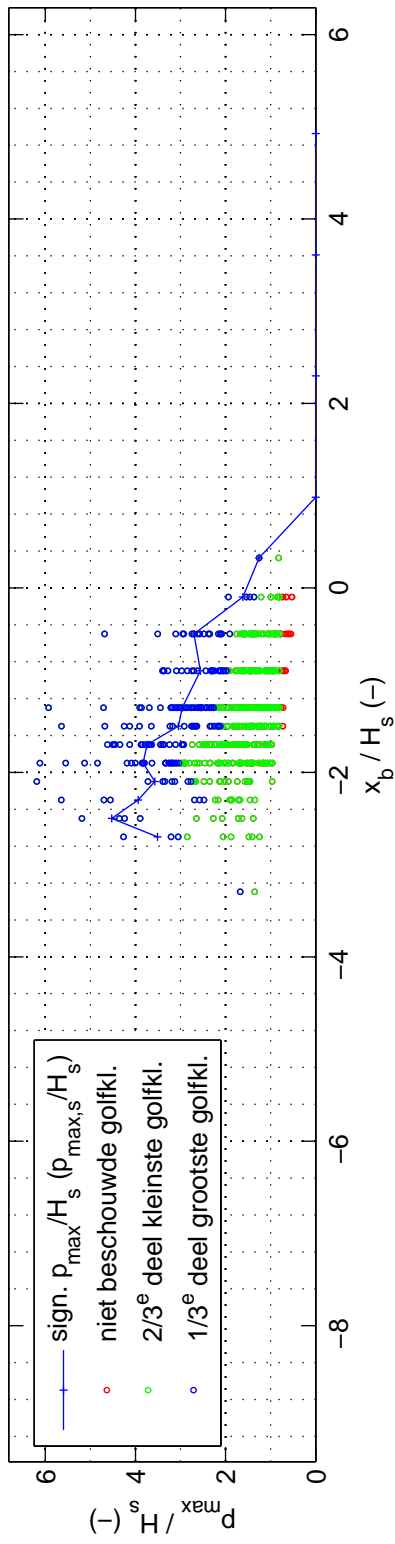
proef 3209

Deltares

1209832-014

FIG. C.35

proef 3210 ; $H_s = 0.190$ m ; $s_{op} = 0.040$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

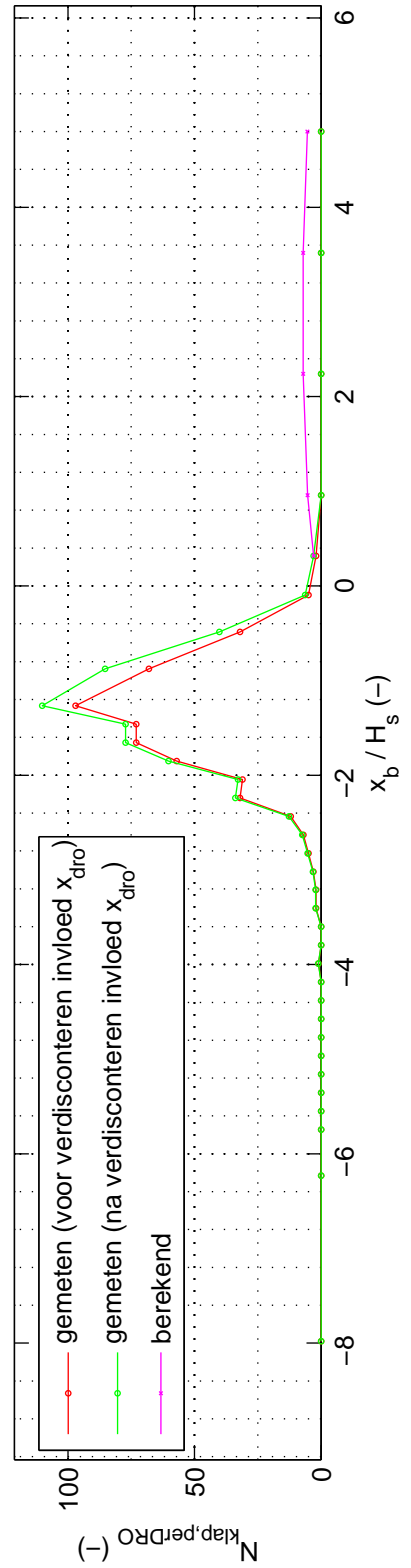
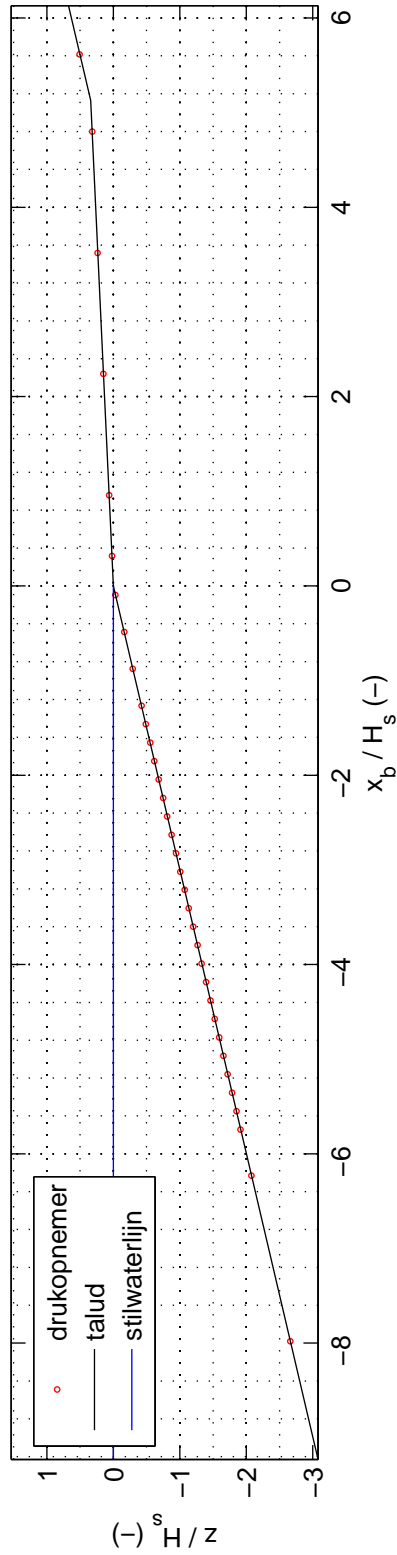
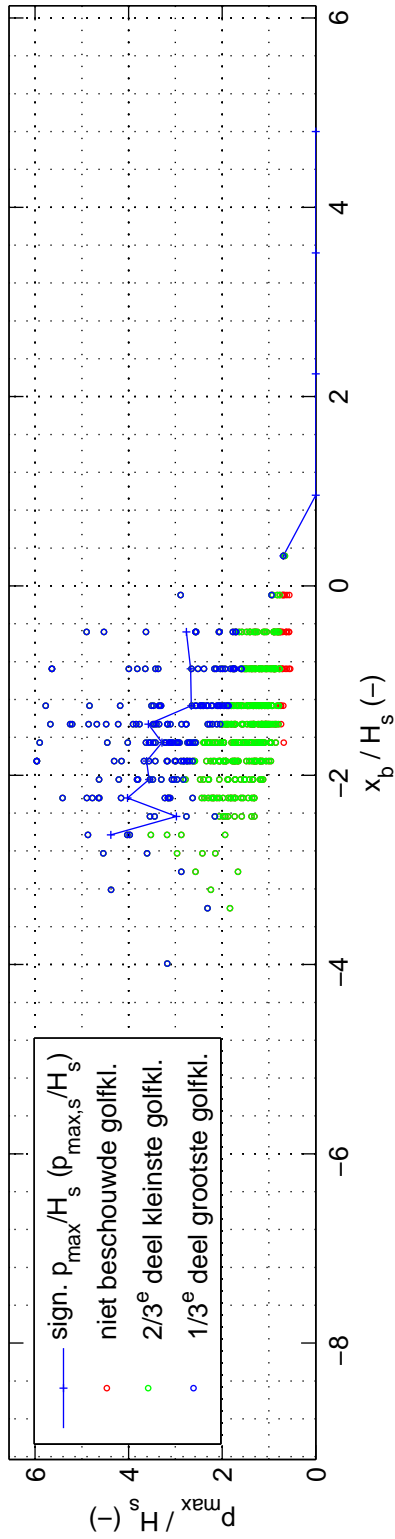
proef 3210

Deltares

1209832-014

FIG. C.36

proef 3211 ; $H_s = 0.195$ m ; $s_{op} = 0.035$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

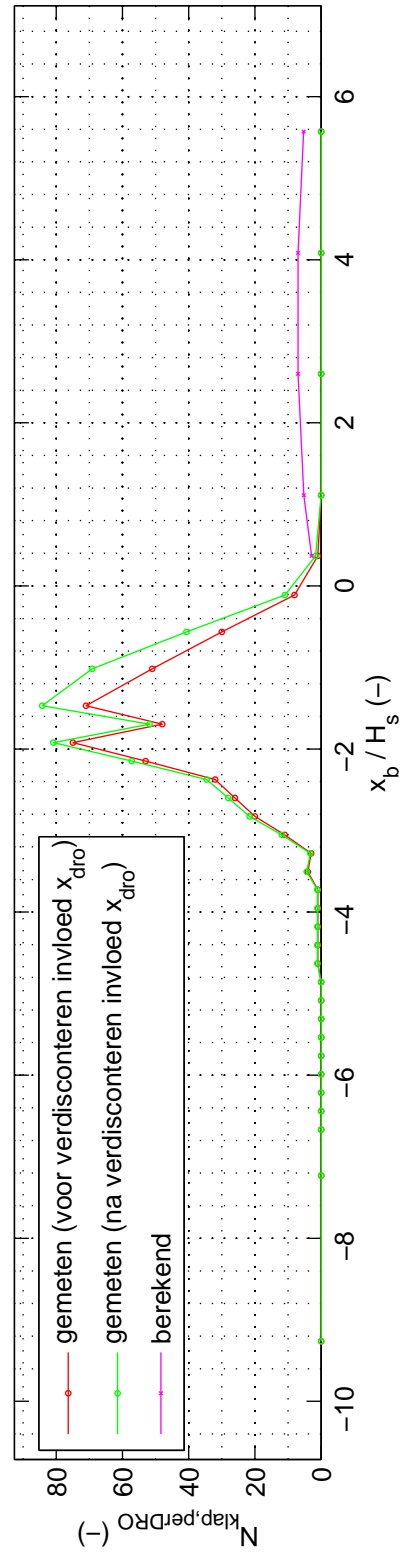
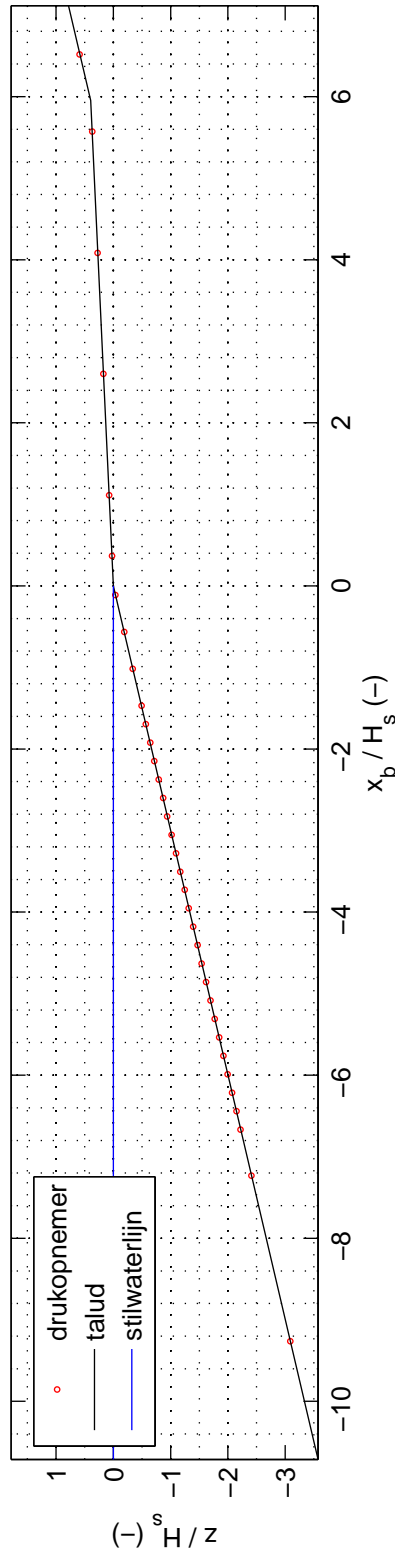
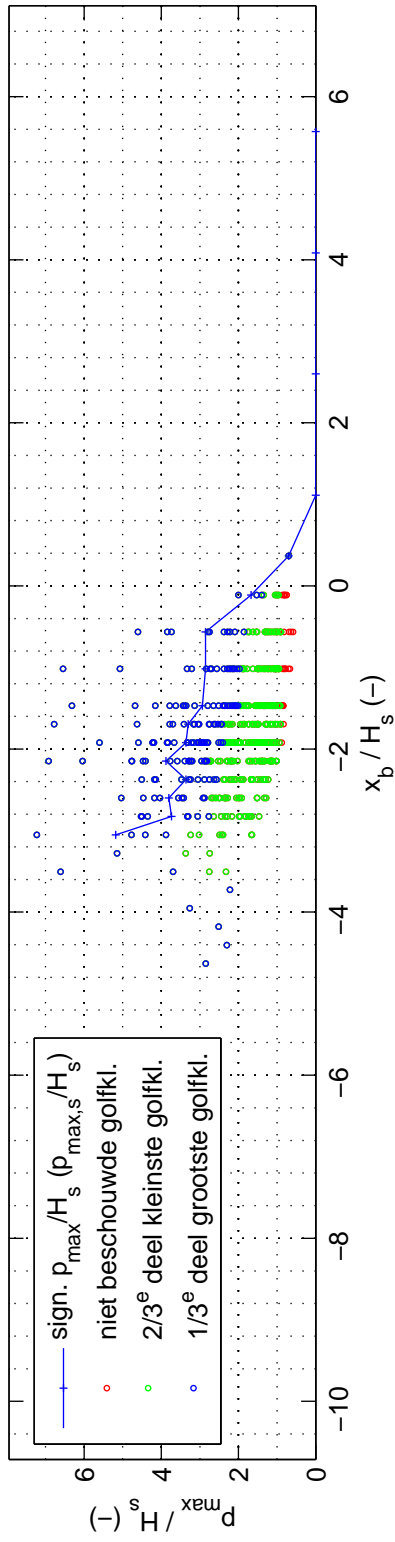
proef 3211

Deltares

1209832-014

FIG. C.37

proef 3212 ; $H_s = 0.168$ m ; $s_{op} = 0.030$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

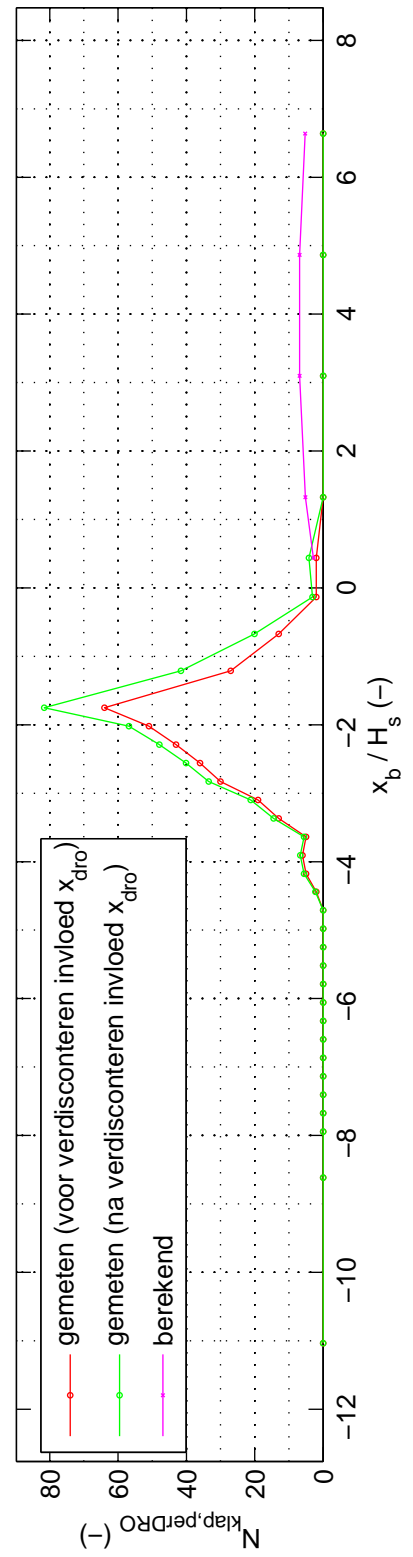
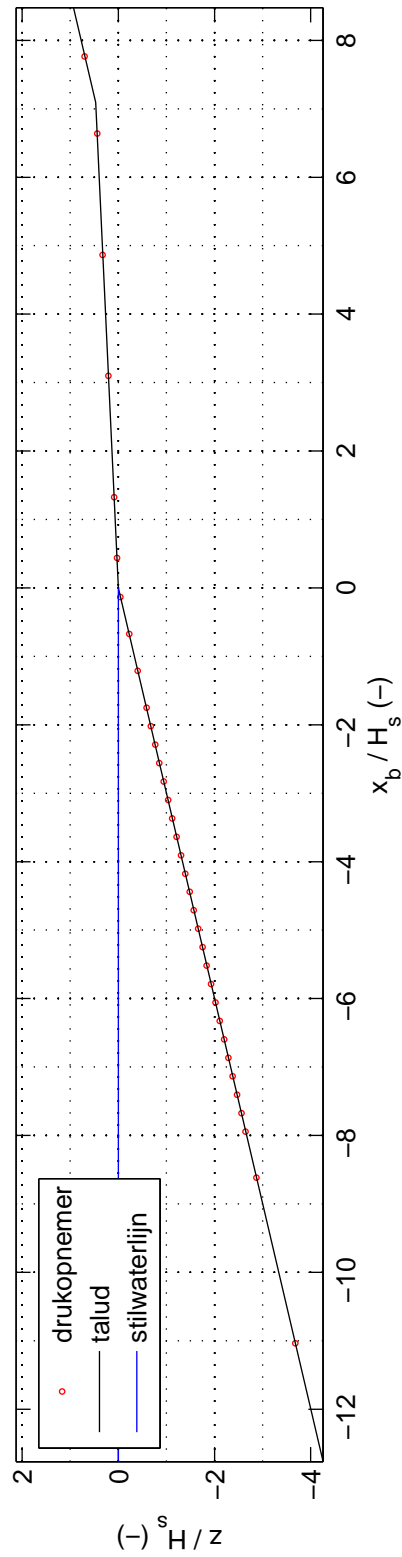
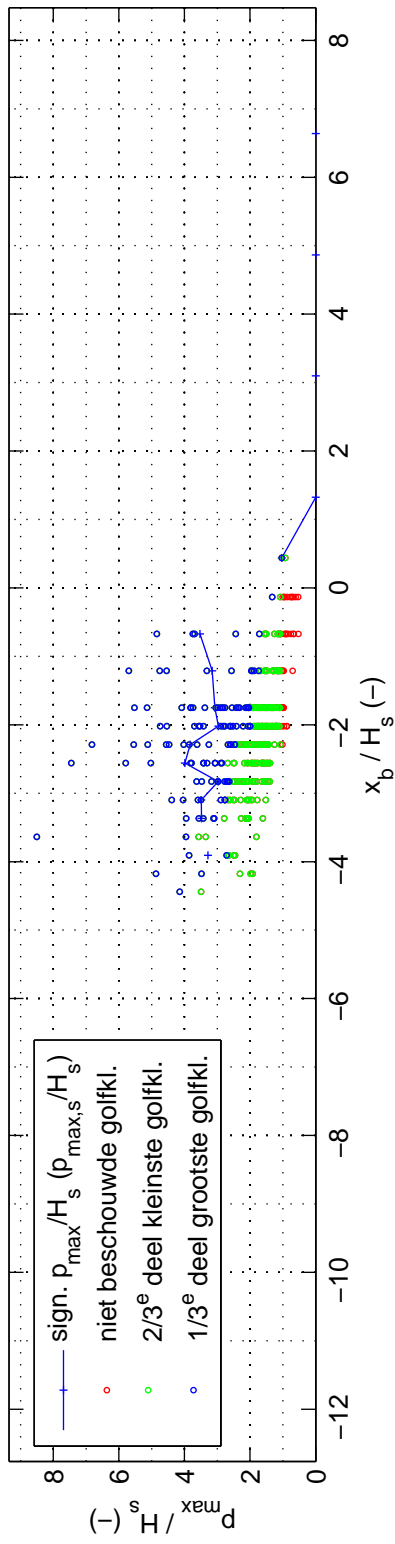
proef 3212

Deltares

1209832-014

FIG. C.38

proef 3213 ; $H_s = 0.141$ m ; $s_{op} = 0.018$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

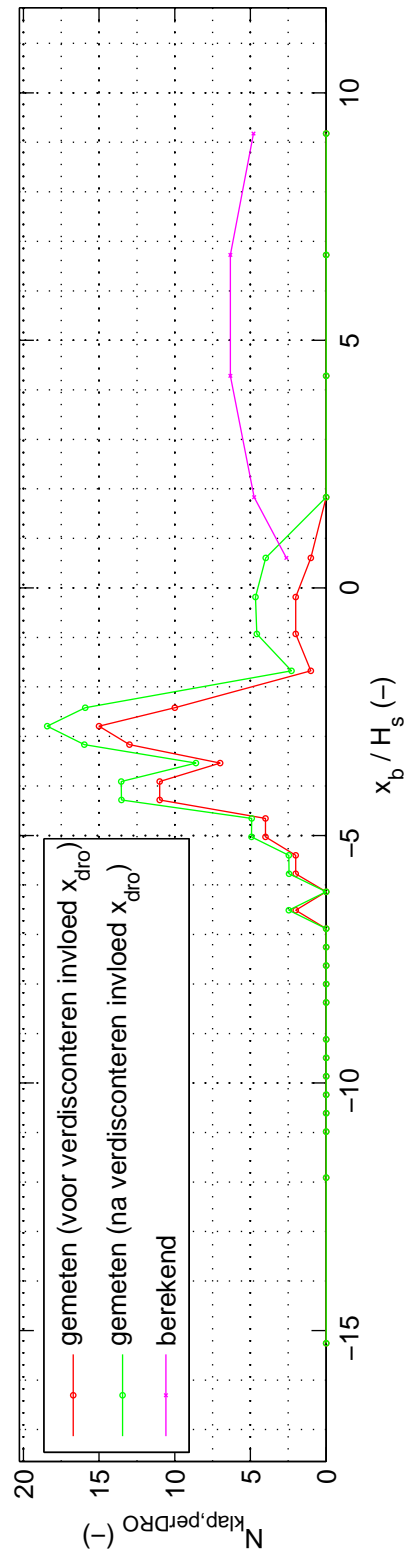
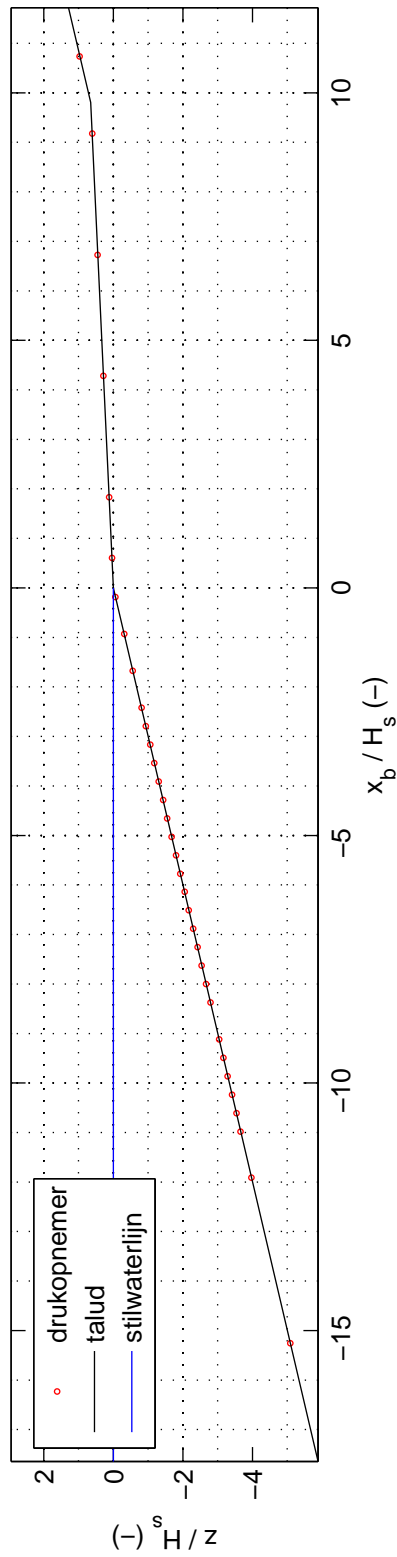
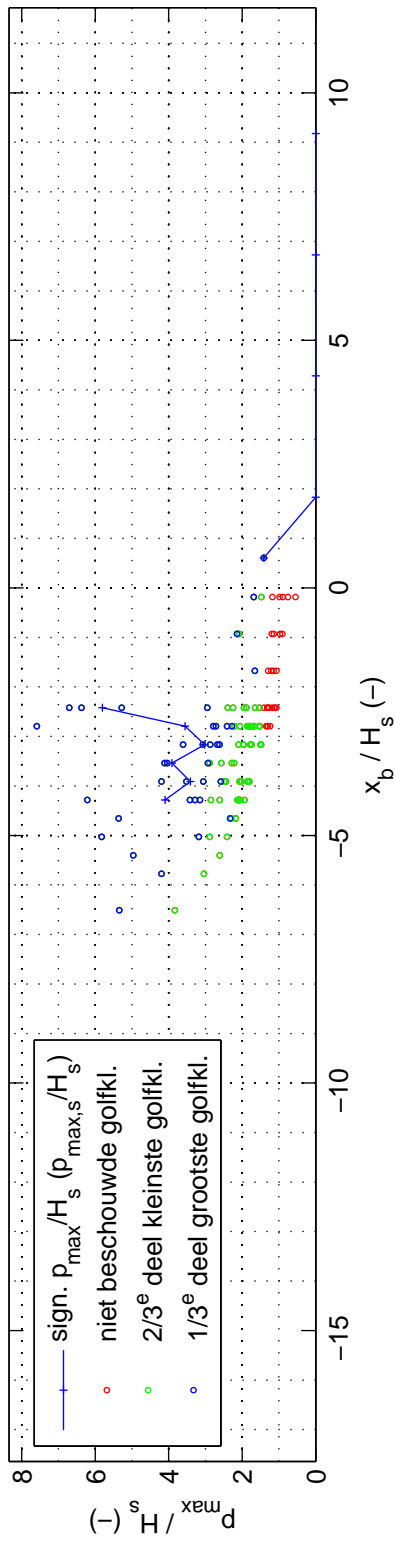
proef 3213

Deltares

1209832-014

FIG. C.39

proef 3214 ; $H_s = 0.102$ m ; $s_{op} = 0.011$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

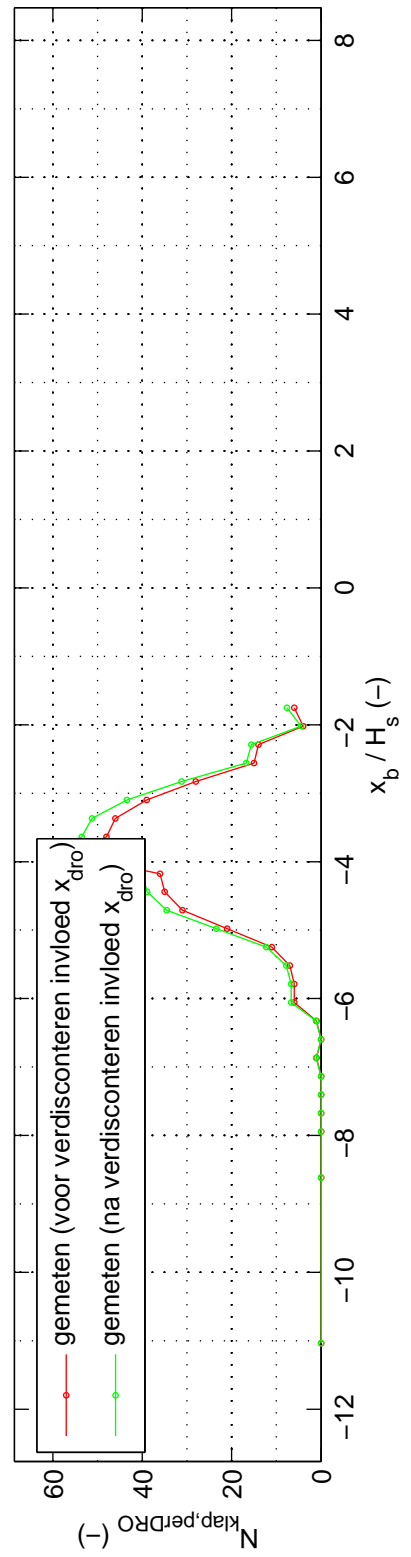
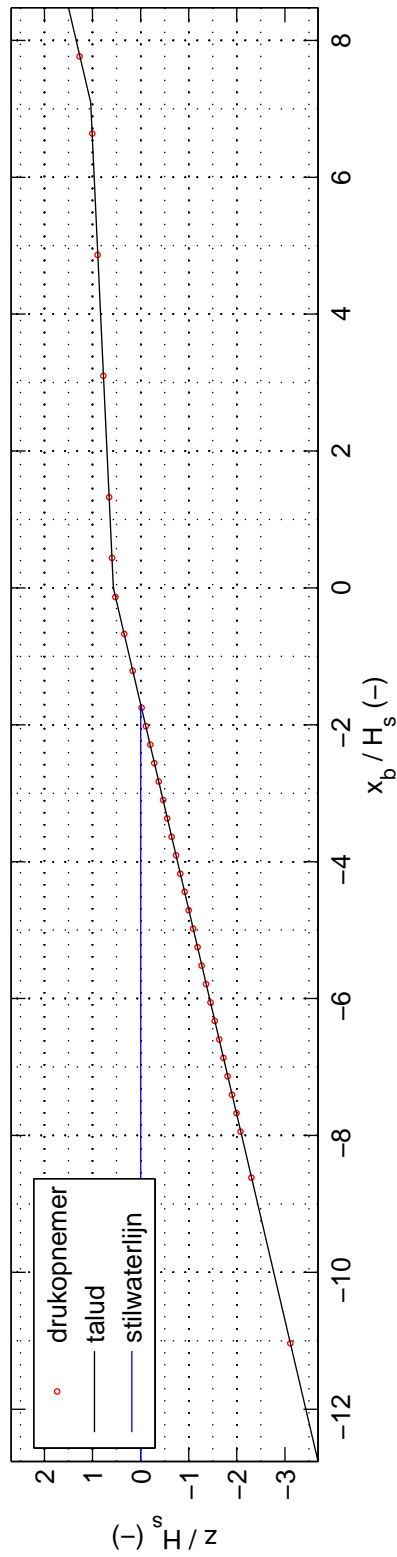
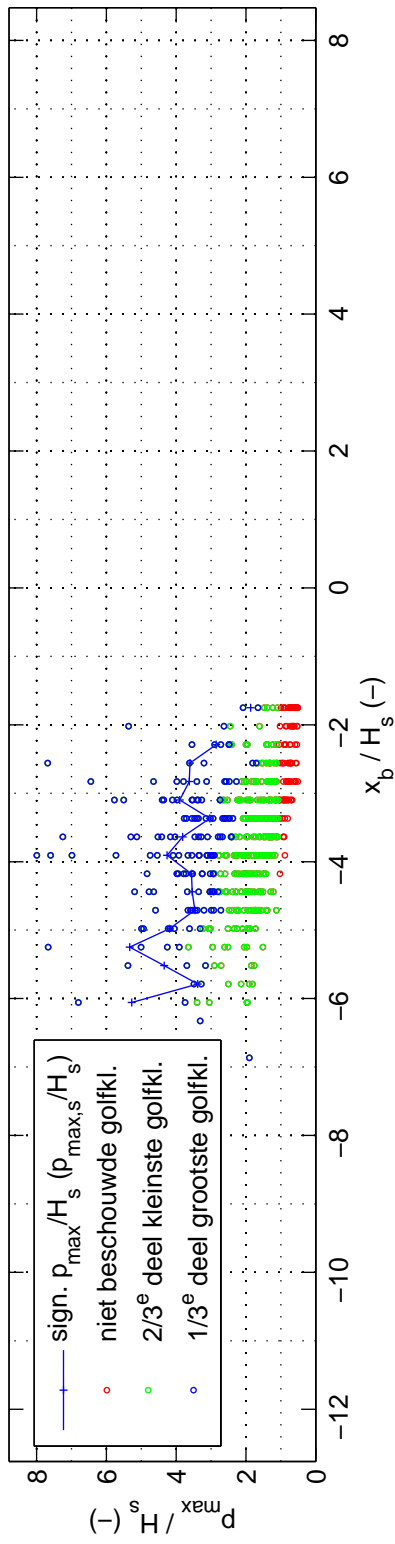
proef 3214

Deltares

1209832-014

FIG. C.40

proef 3215 ; $H_s = 0.141$ m ; $s_{op} = 0.020$; $B = 1.00$ m ; $d_B = -0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

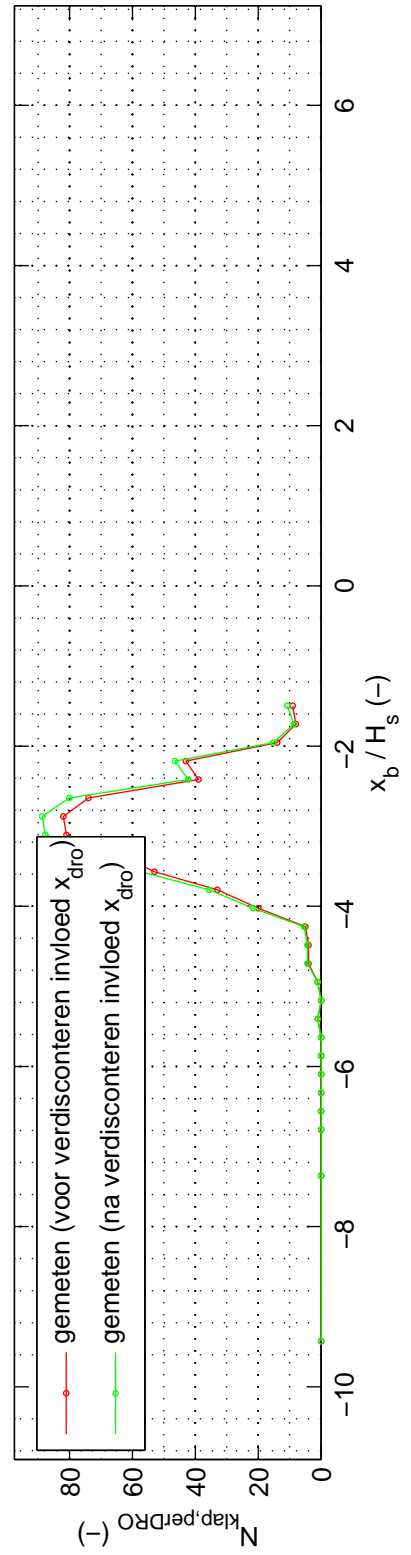
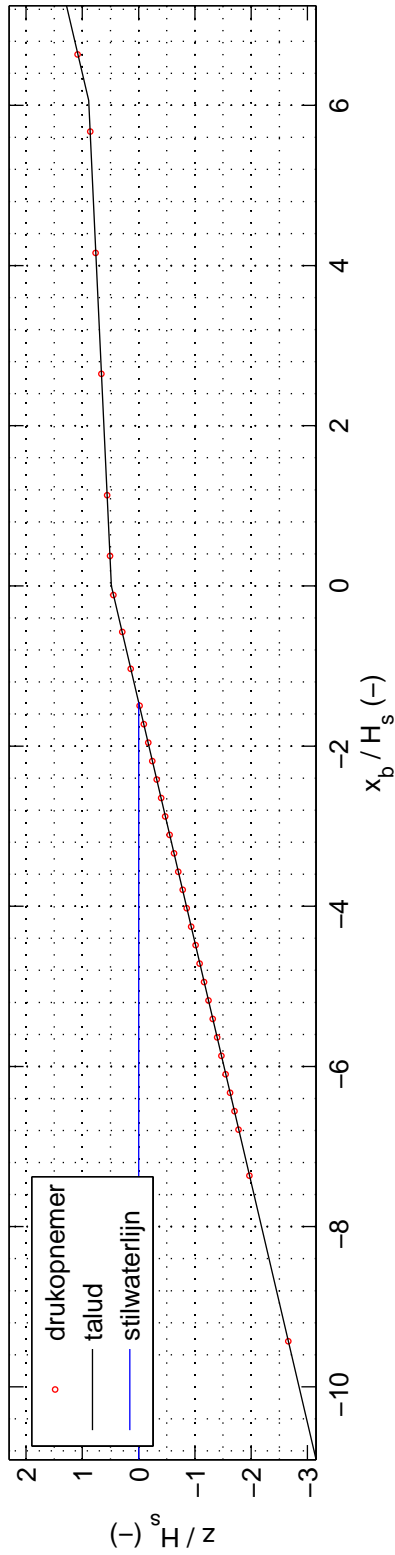
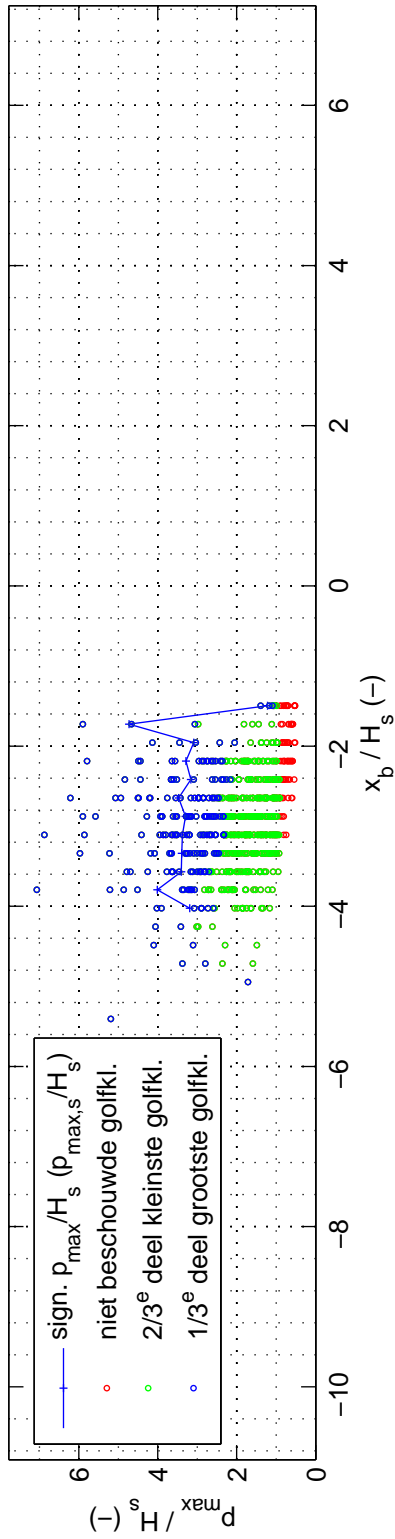
proef 3215

Deltares

1209832-014

FIG. C.41

proef 3216 ; $H_s = 0.165$ m ; $s_{op} = 0.033$; $B = 1.00$ m ; $d_B = -0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

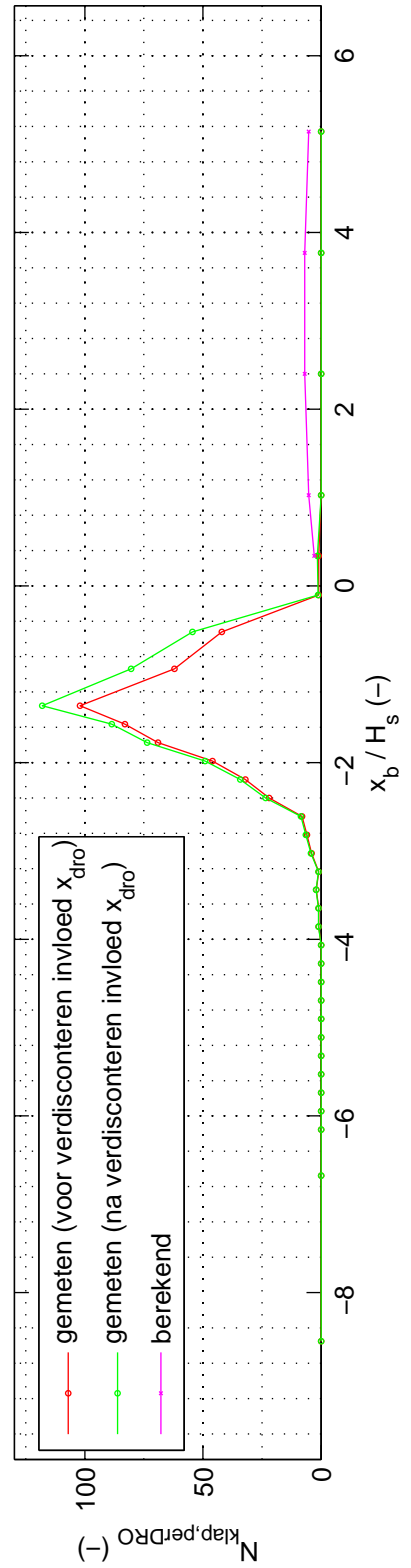
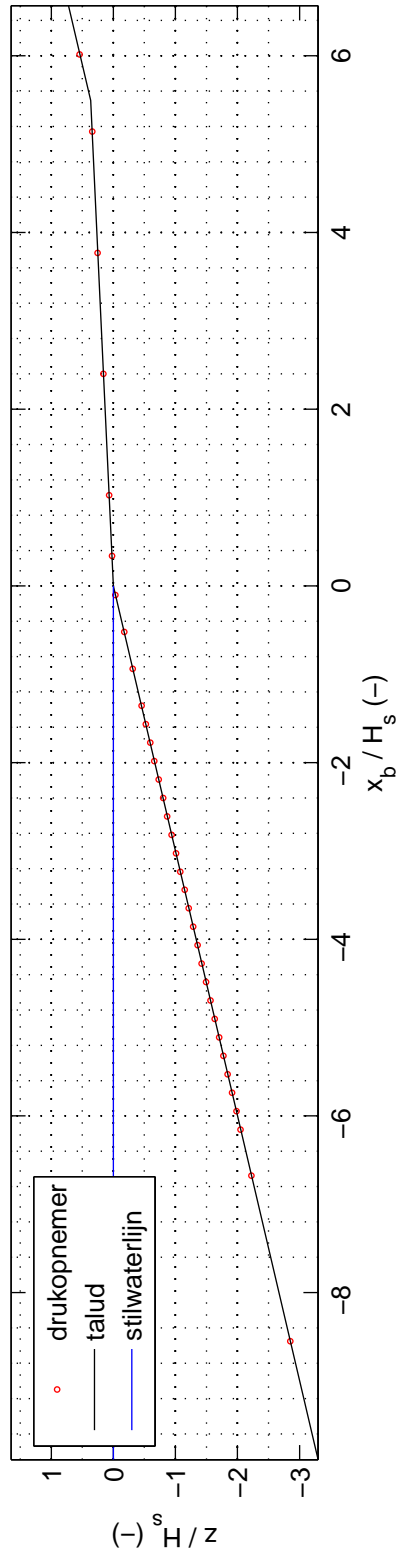
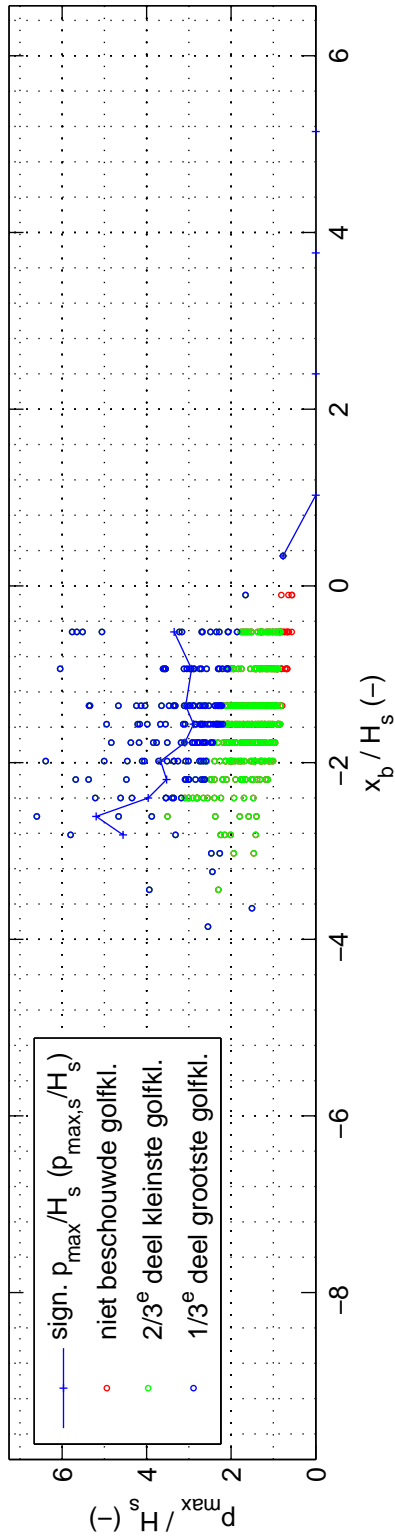
proef 3216

Deltares

1209832-014

FIG. C.42

proef 3217 ; $H_s = 0.182$ m ; $s_{op} = 0.033$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

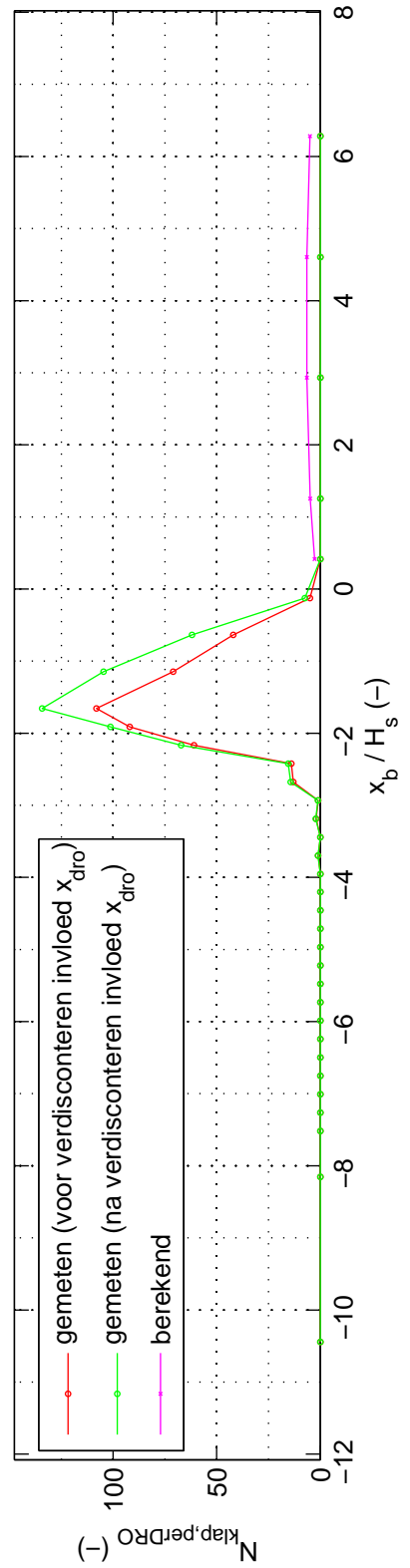
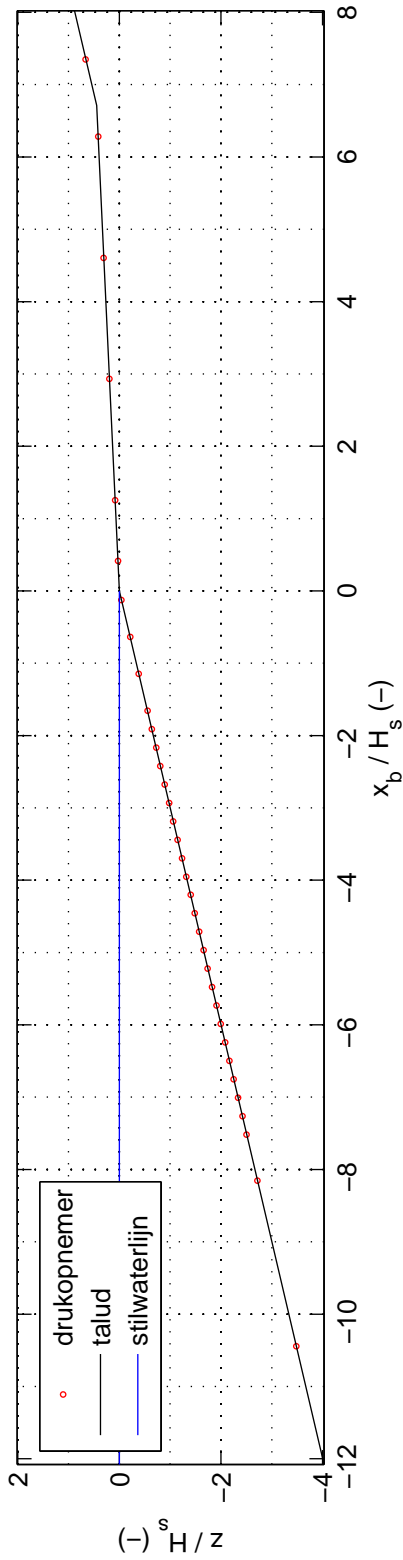
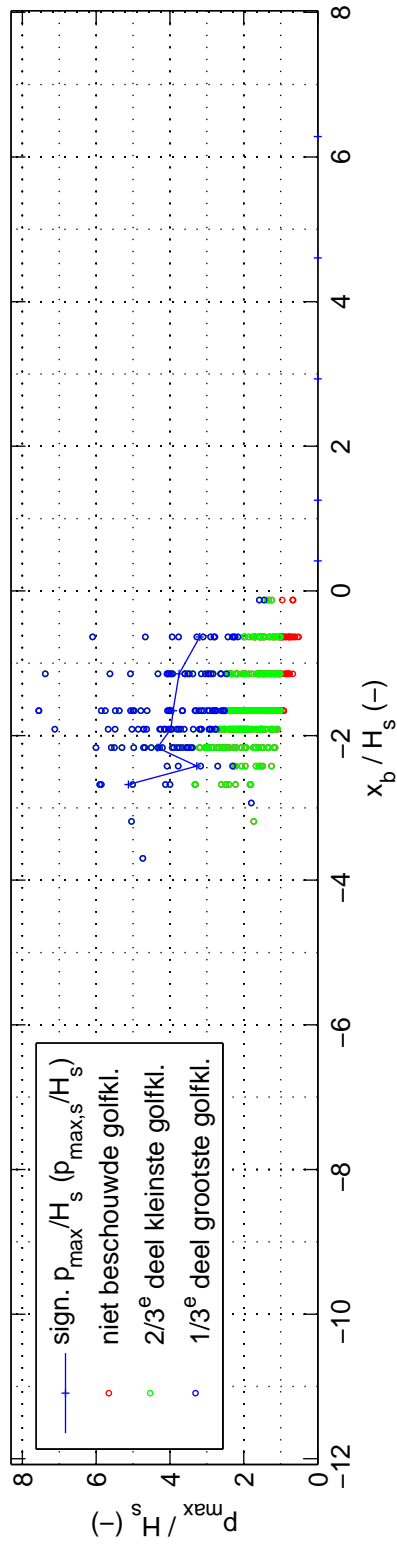
proef 3217

Deltares

1209832-014

FIG. C.43

proef 3218 ; $H_s = 0.149$ m ; $s_{op} = 0.035$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

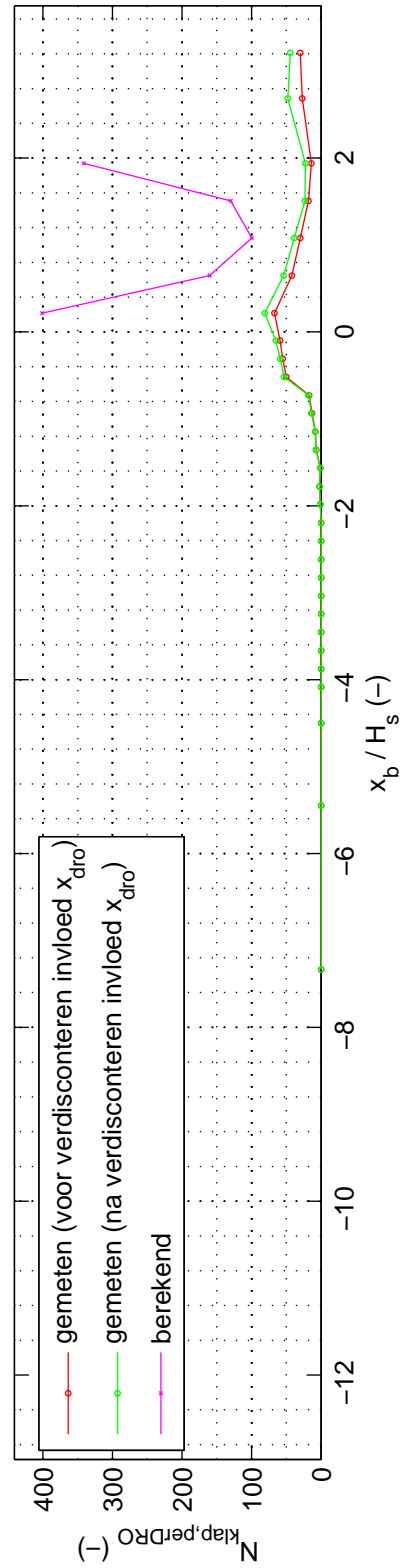
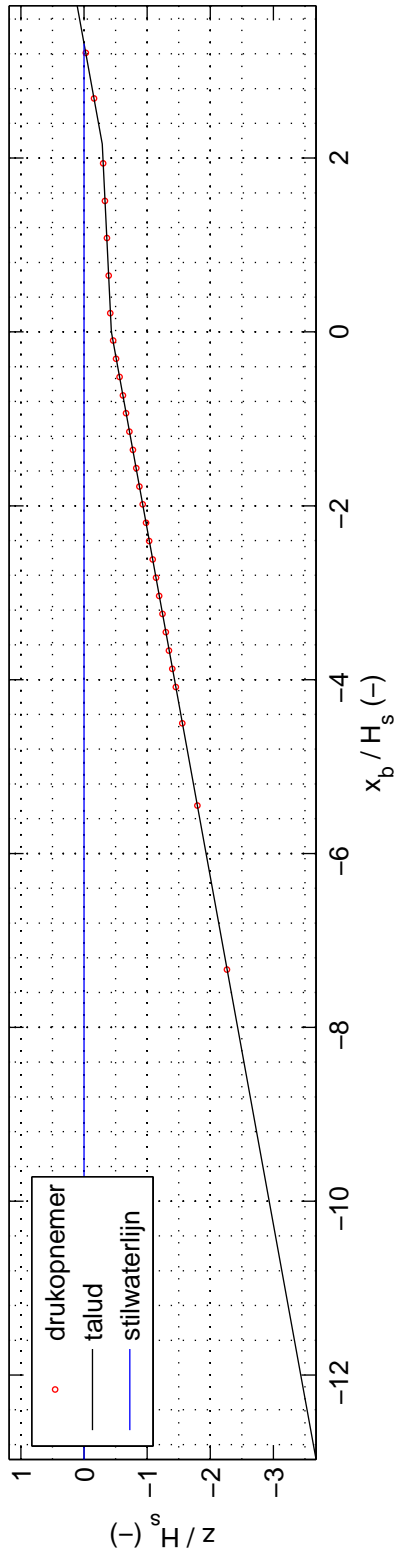
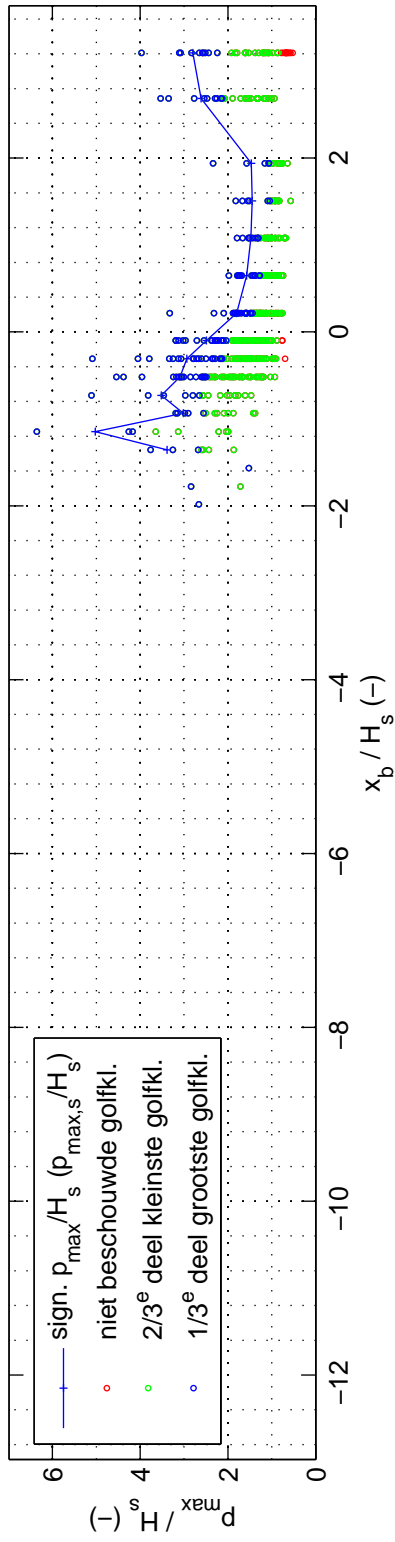
proef 3218

Deltares

1209832-014

FIG. C.44

proef 4111 ; $H_s = 0.185$ m ; $s_{op} = 0.036$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

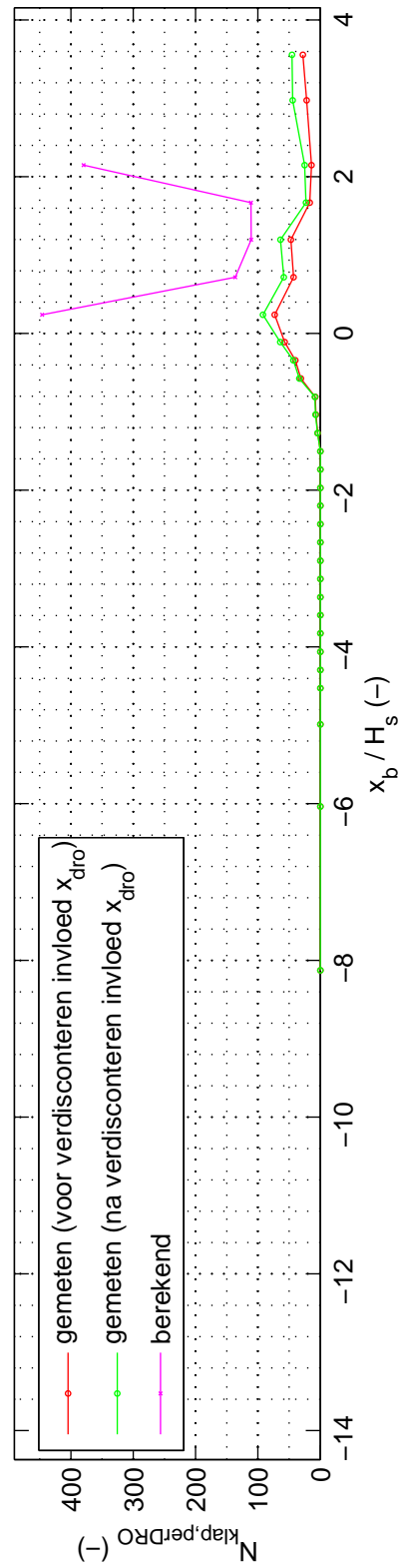
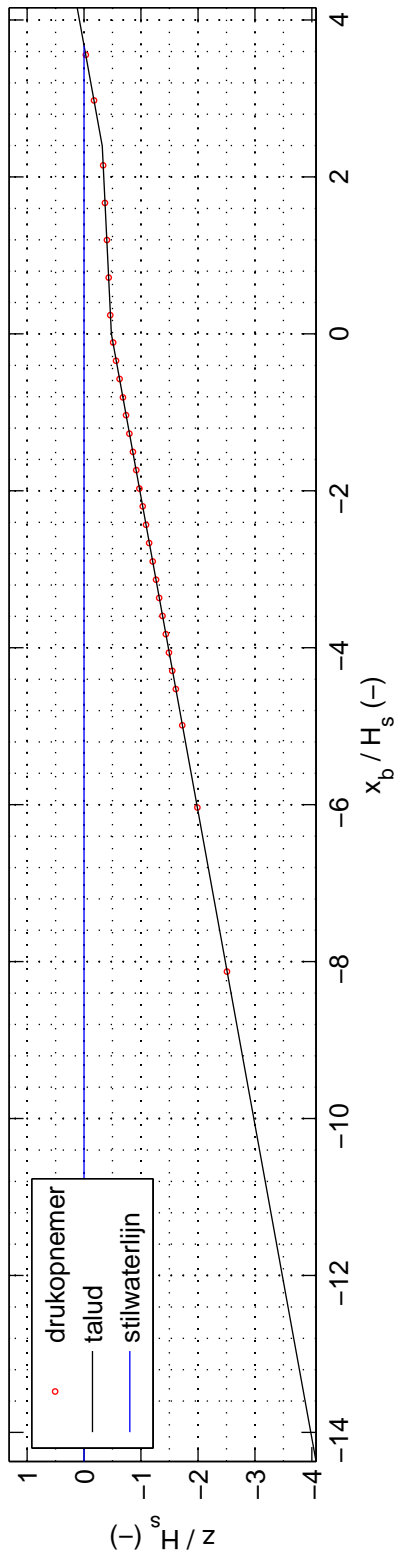
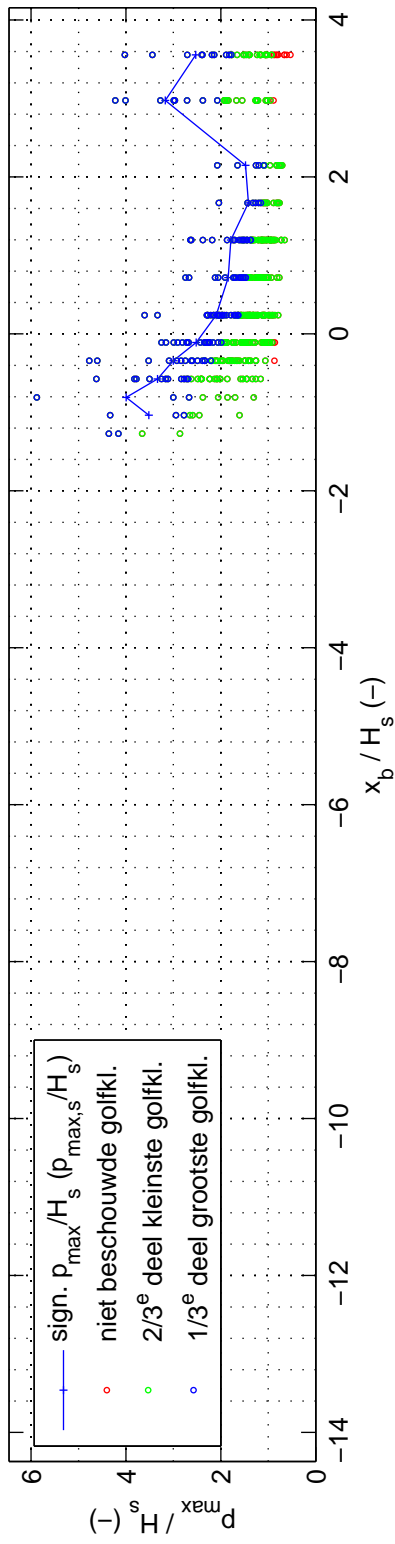
proef 4111

Deltares

1209832-014

FIG. C.45

proef 4112 ; $H_s = 0.167$ m ; $s_{op} = 0.037$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

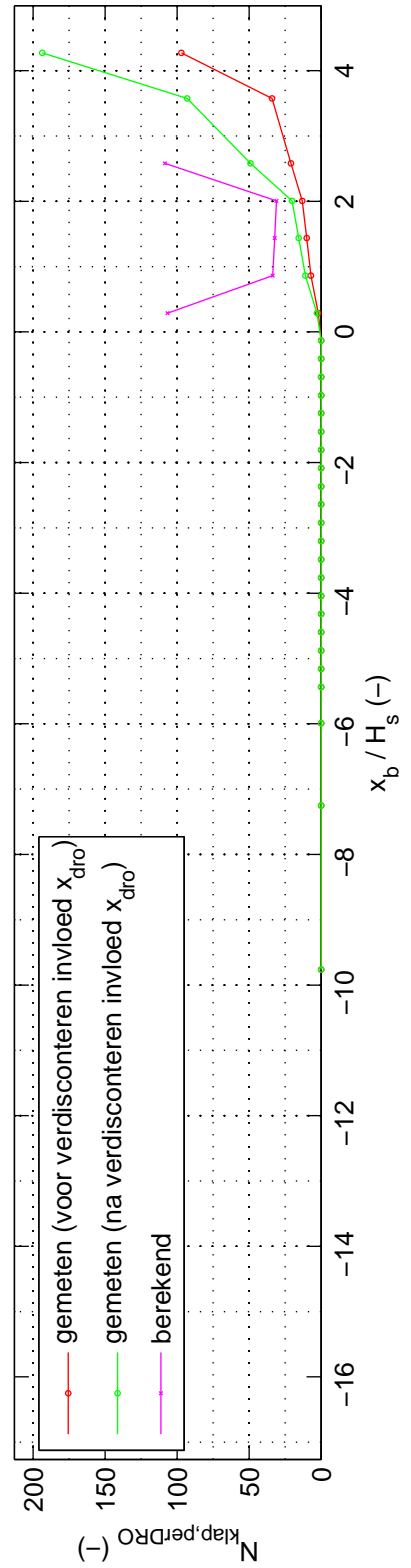
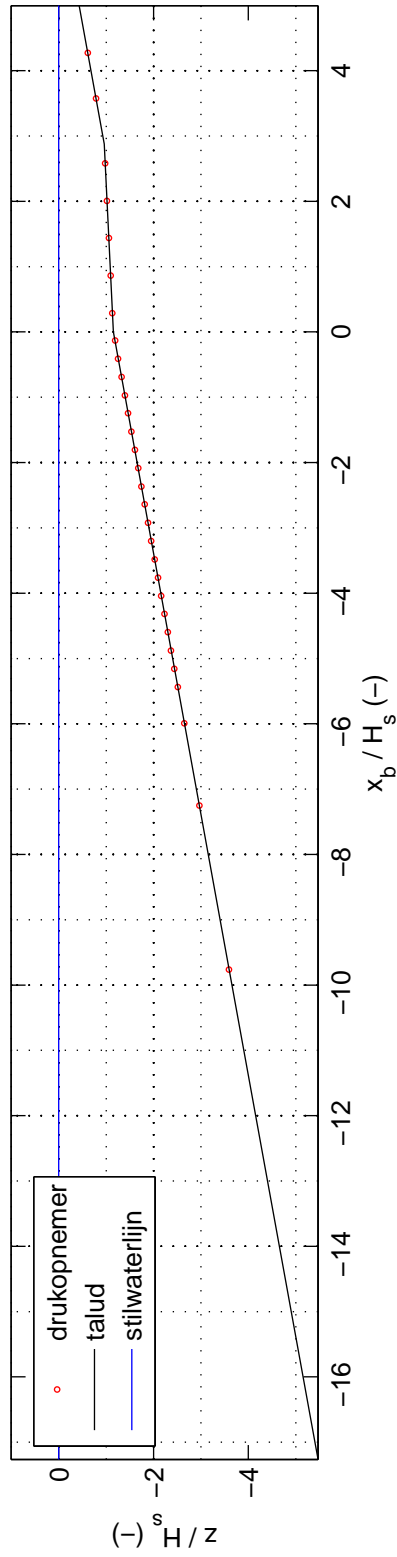
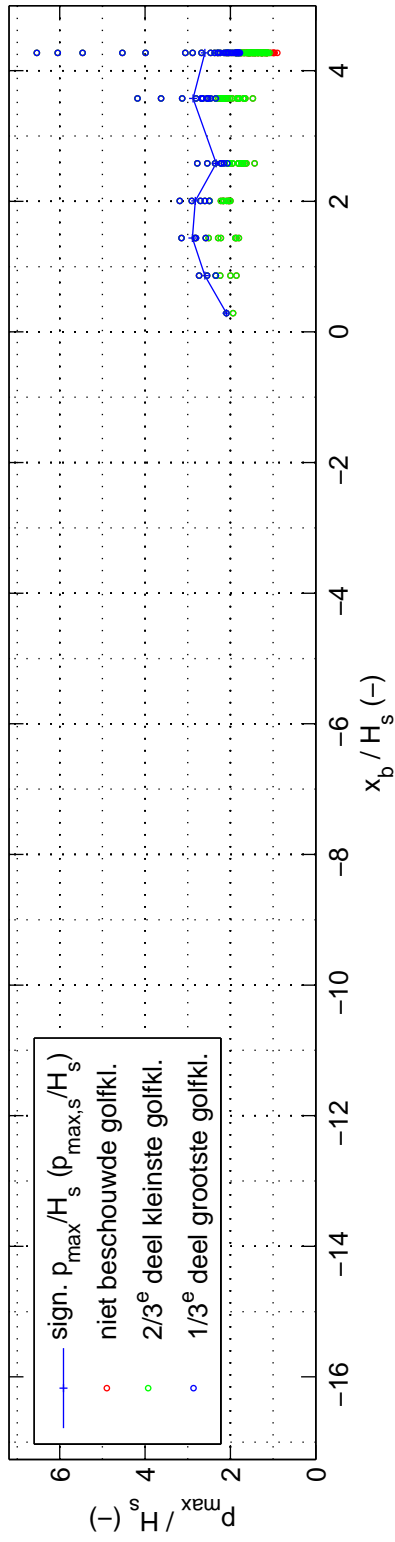
proef 4112

Deltares

1209832-014

FIG. C.46

proef 4113 ; $H_s = 0.139$ m ; $s_{op} = 0.018$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.16$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

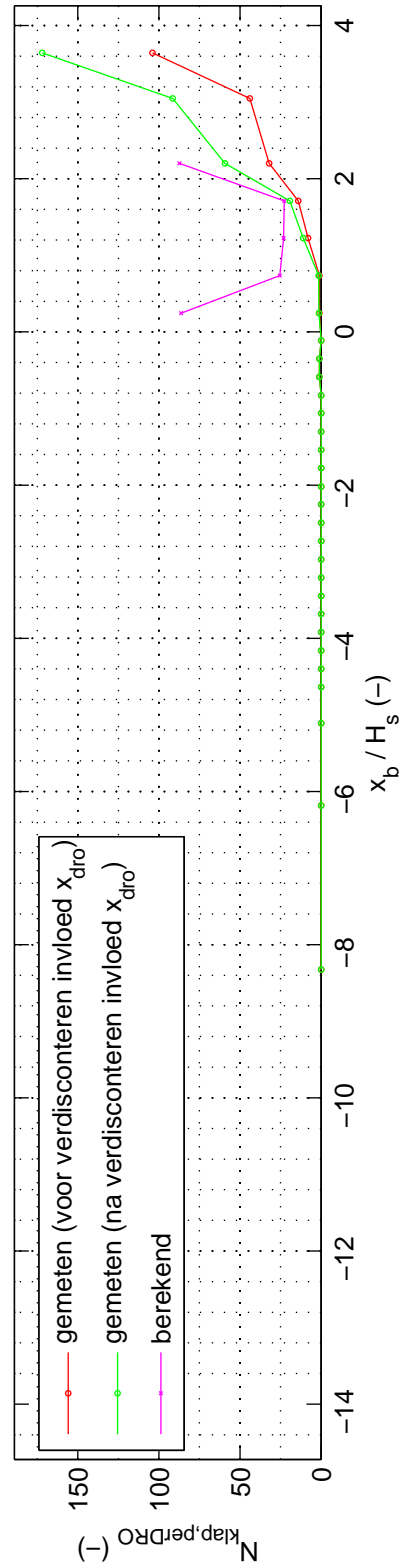
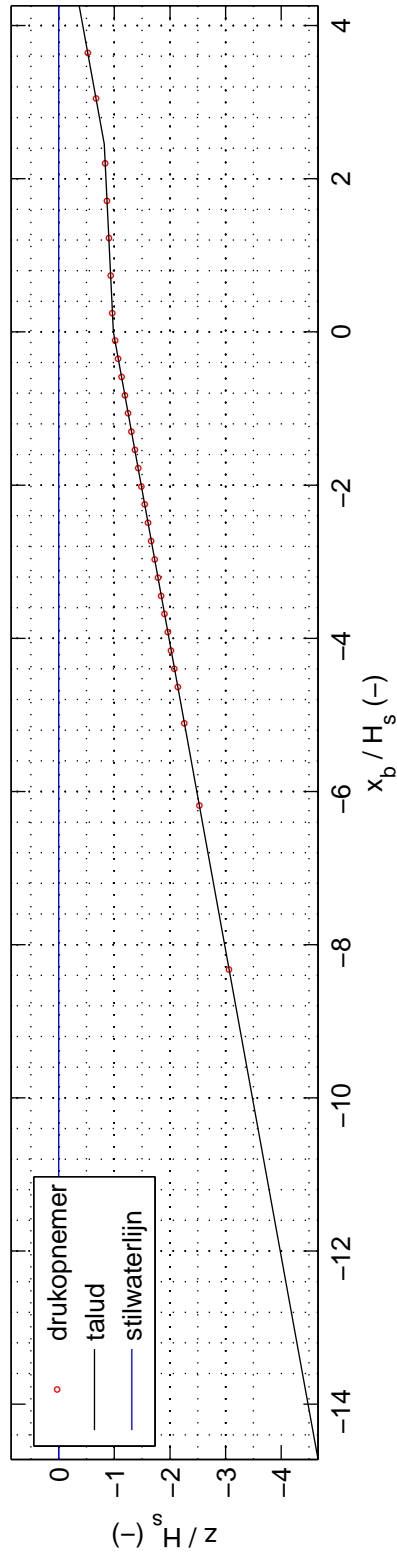
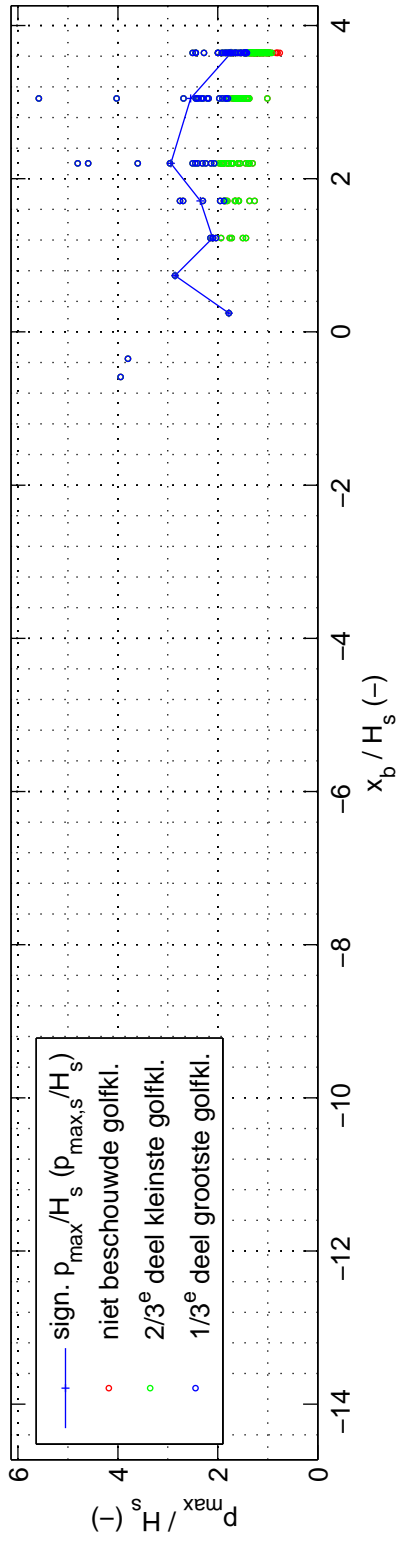
proef 4113

Deltares

1209832-014

FIG. C.47

proef 4114 ; $H_s = 0.163$ m ; $s_{op} = 0.034$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.16$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

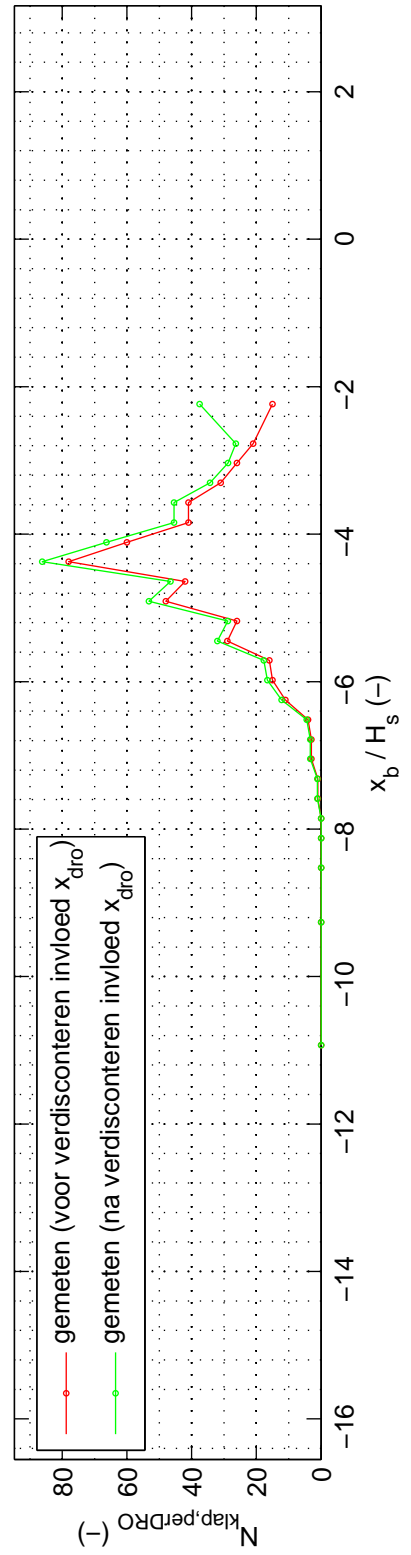
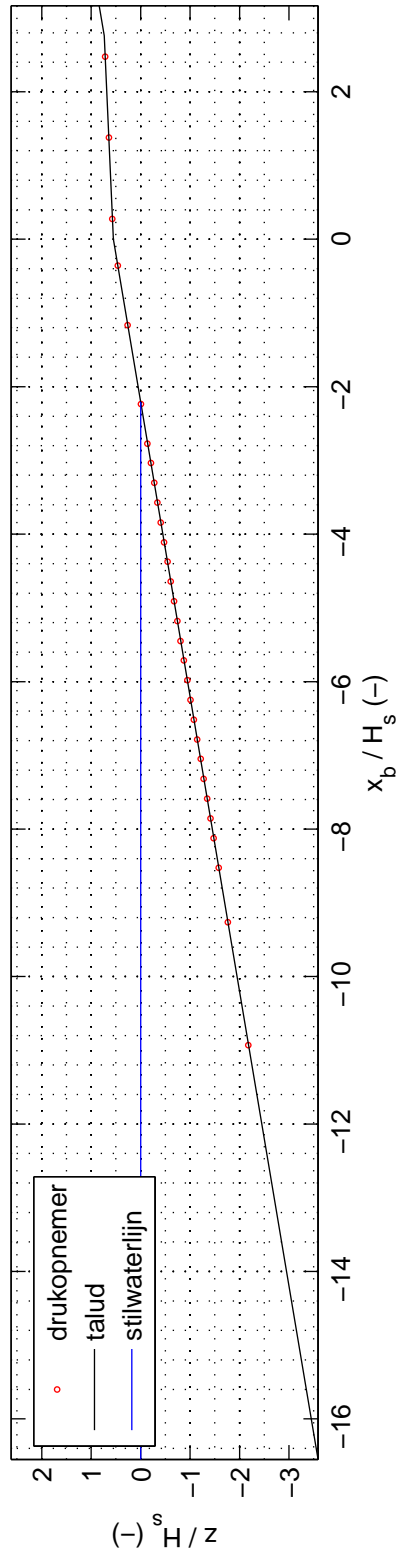
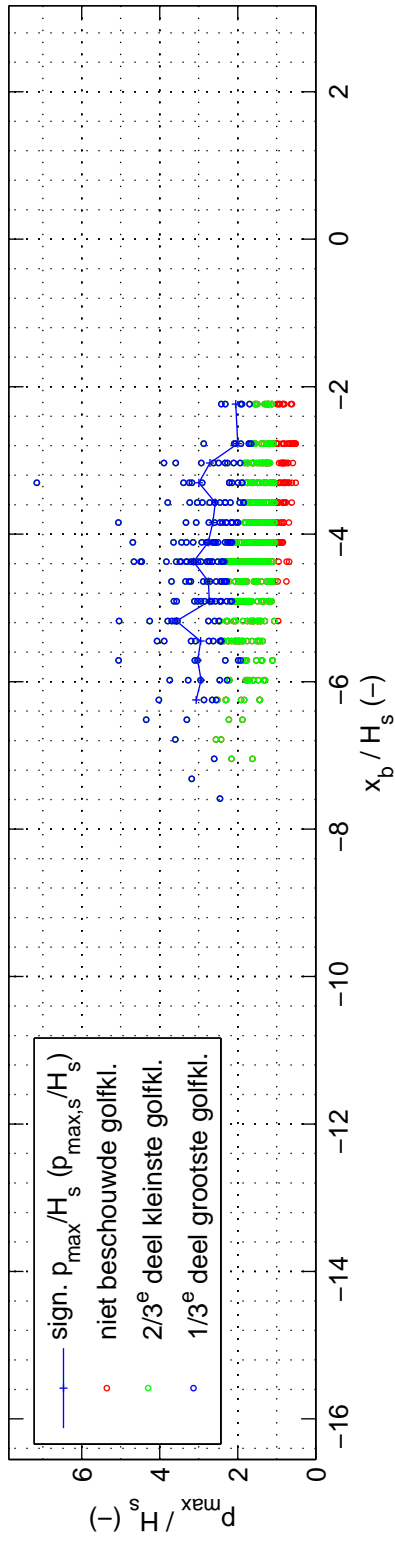
proef 4114

Deltares

1209832-014

FIG. C.48

proef 4115 ; $H_s = 0.145$ m ; $s_{op} = 0.021$; $B = 0.40$ m ; $d_B = -0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

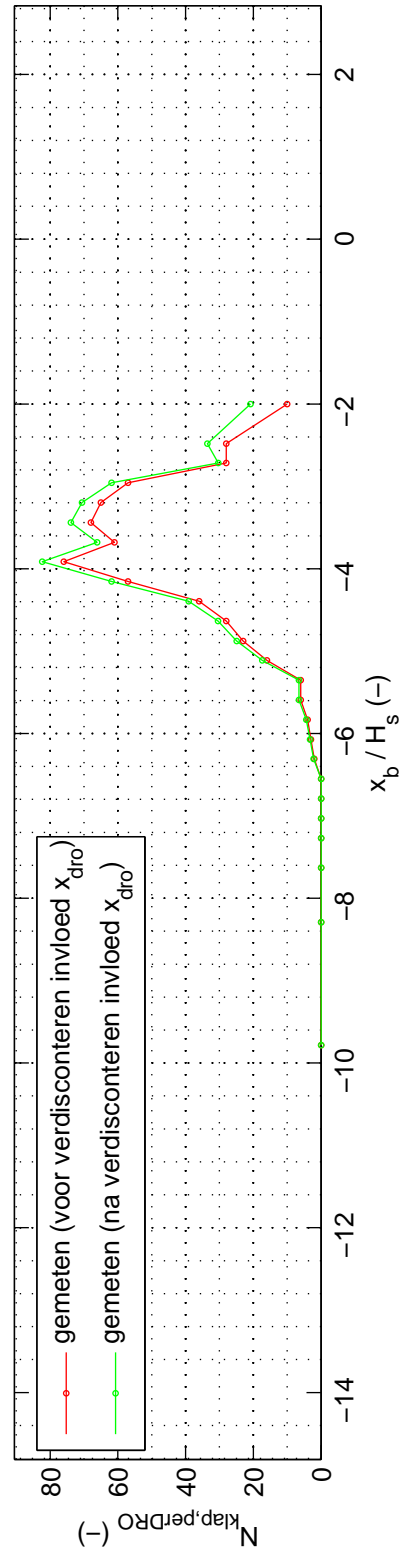
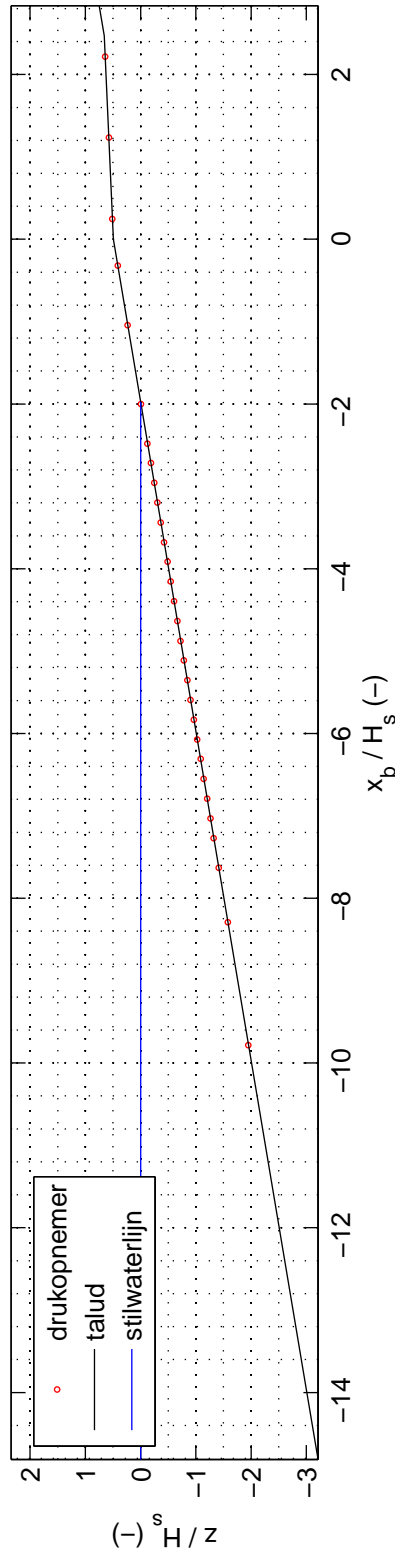
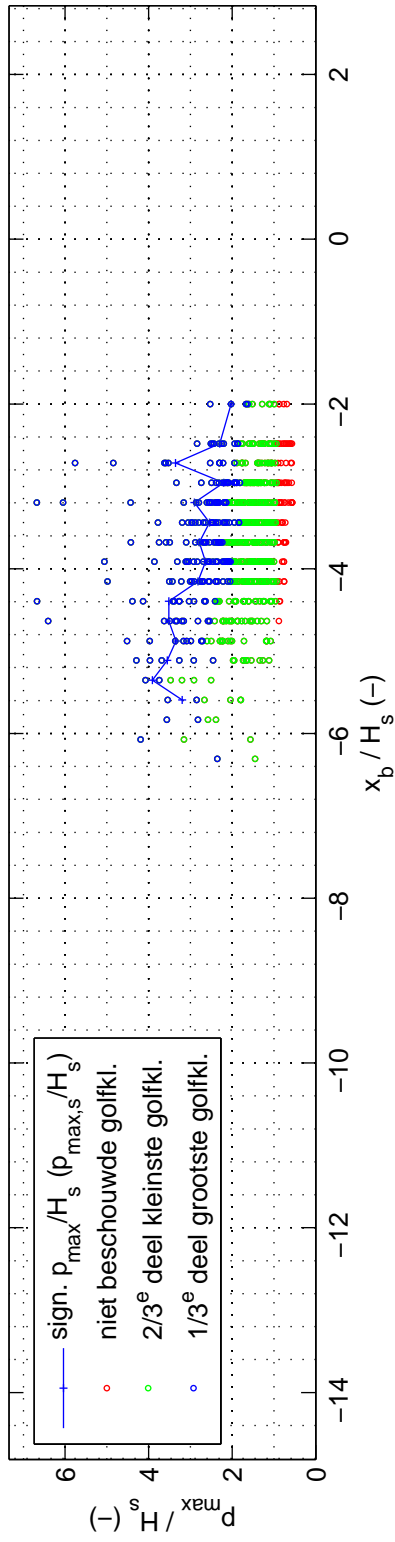
proef 4115

Deltares

1209832-014

FIG. C.49

proef 4116 ; $H_s = 0.162$ m ; $s_{op} = 0.031$; $B = 0.40$ m ; $d_B = -0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

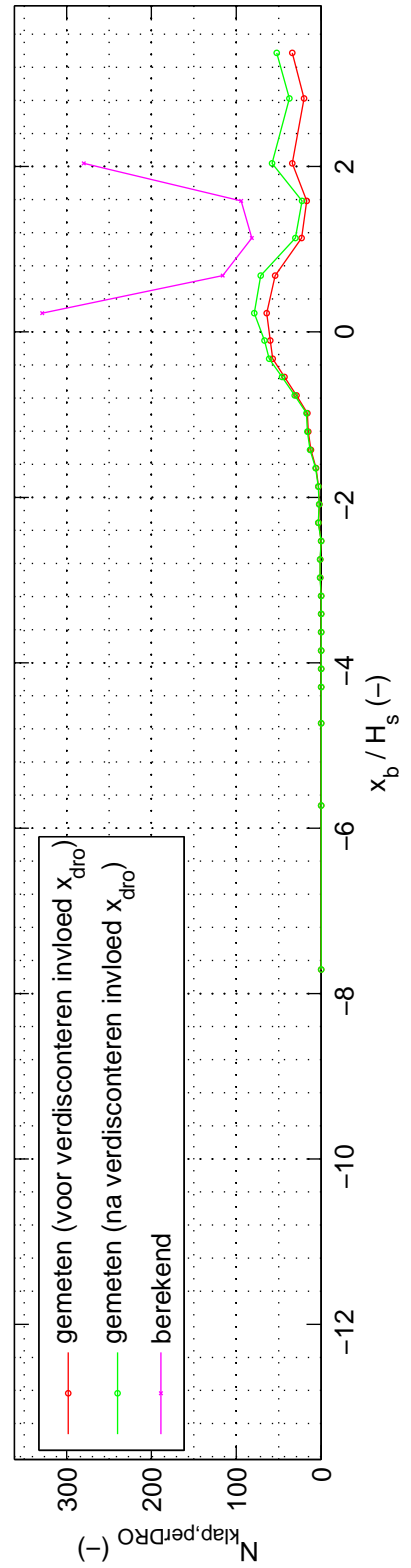
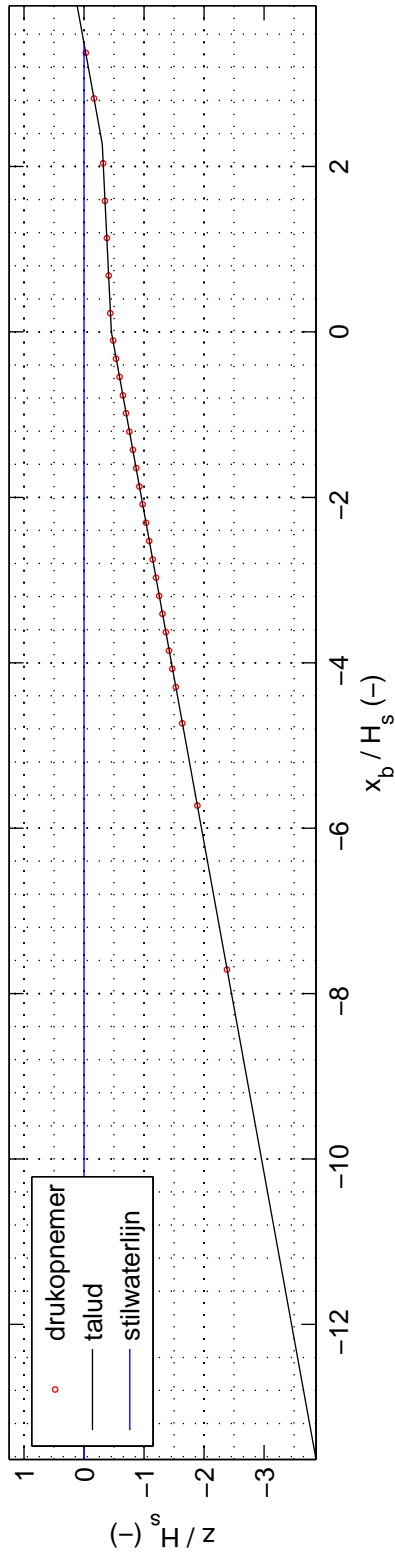
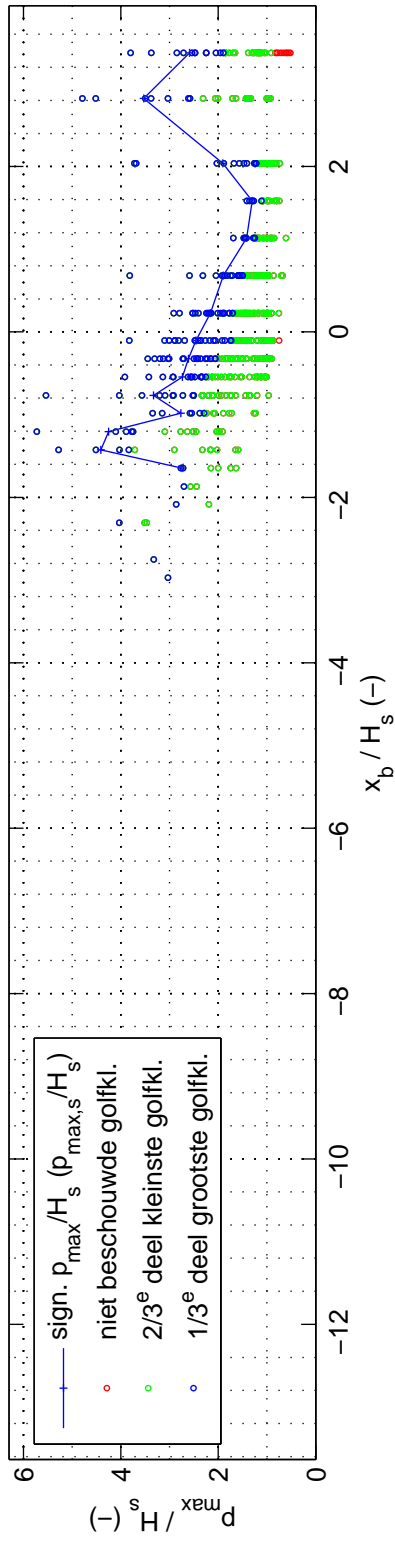
proef 4116

Deltares

1209832-014

FIG. C.50

proef 4117 ; $H_s = 0.176$ m ; $s_{op} = 0.030$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

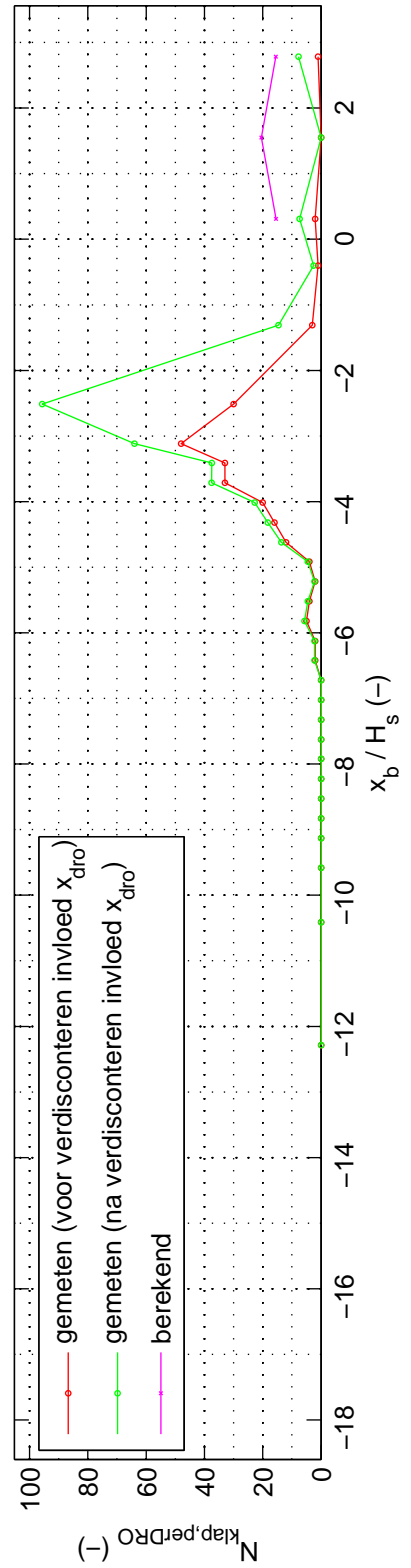
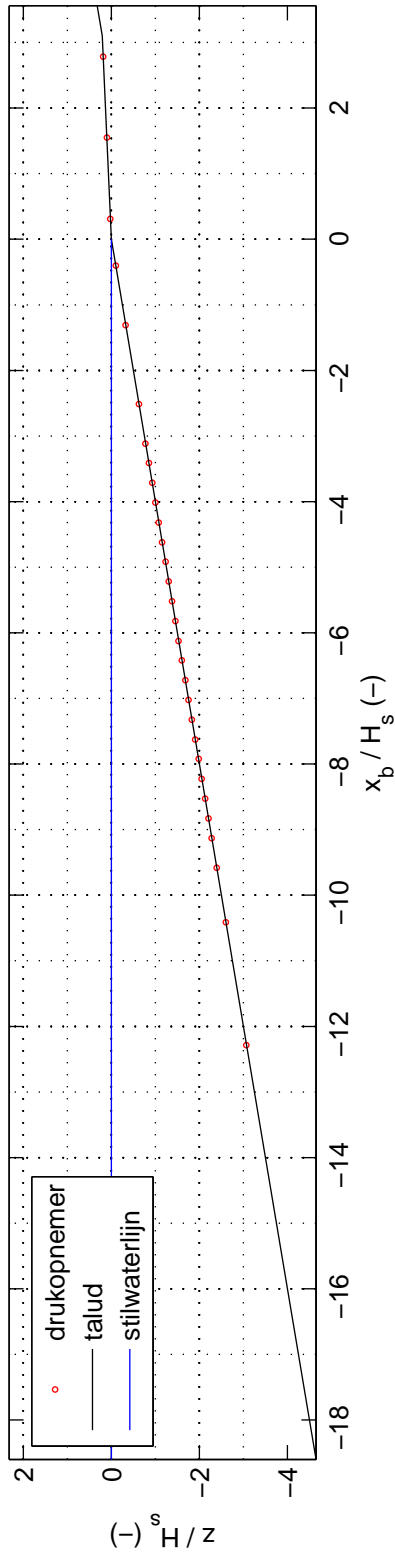
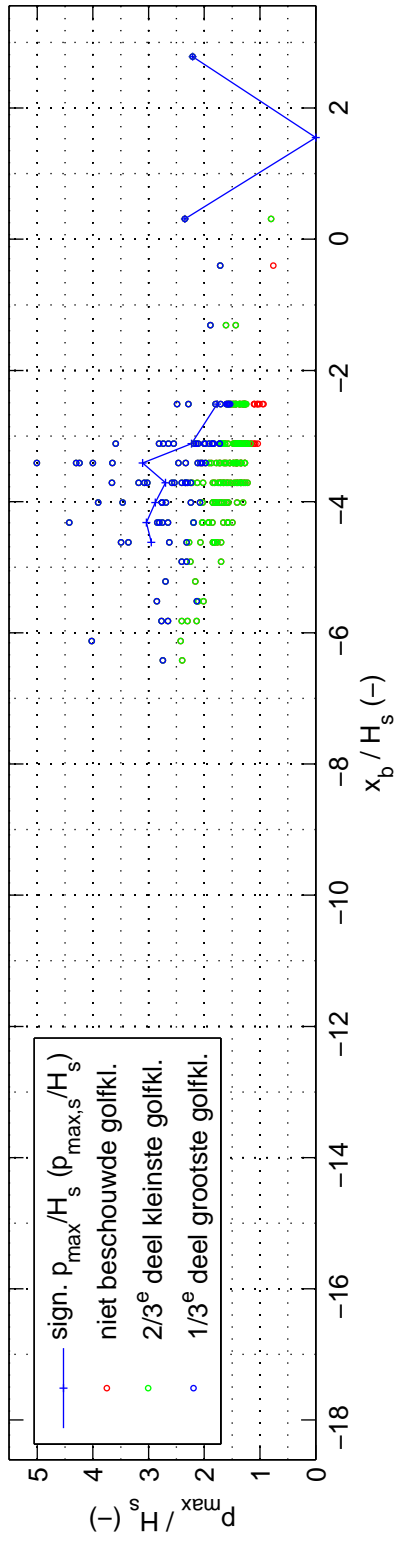
proef 4117

Deltares

1209832-014

FIG. C.51

proef 4118 ; $H_s = 0.129$ m ; $s_{op} = 0.010$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

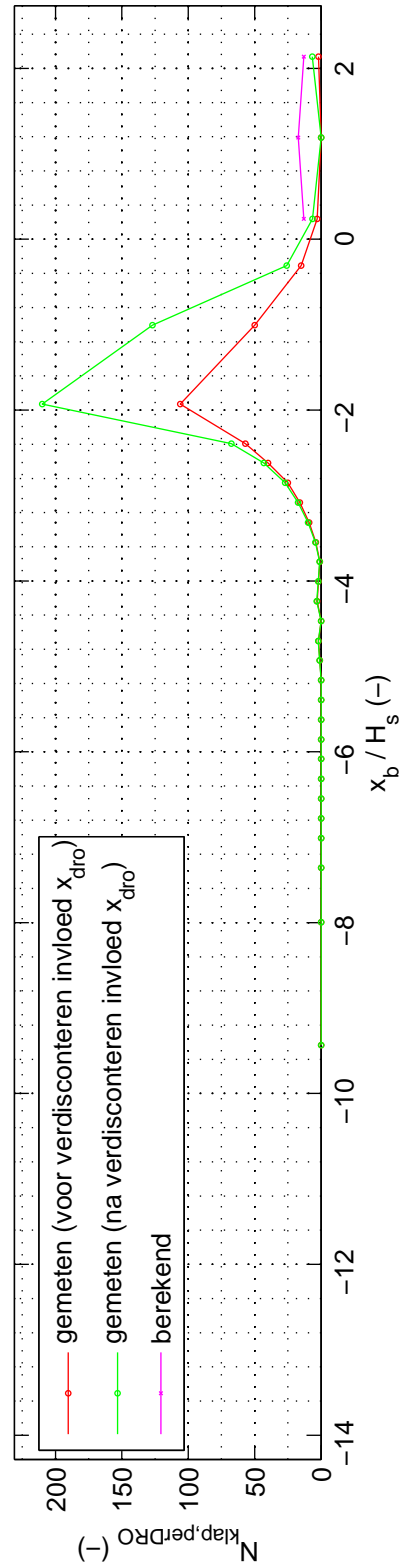
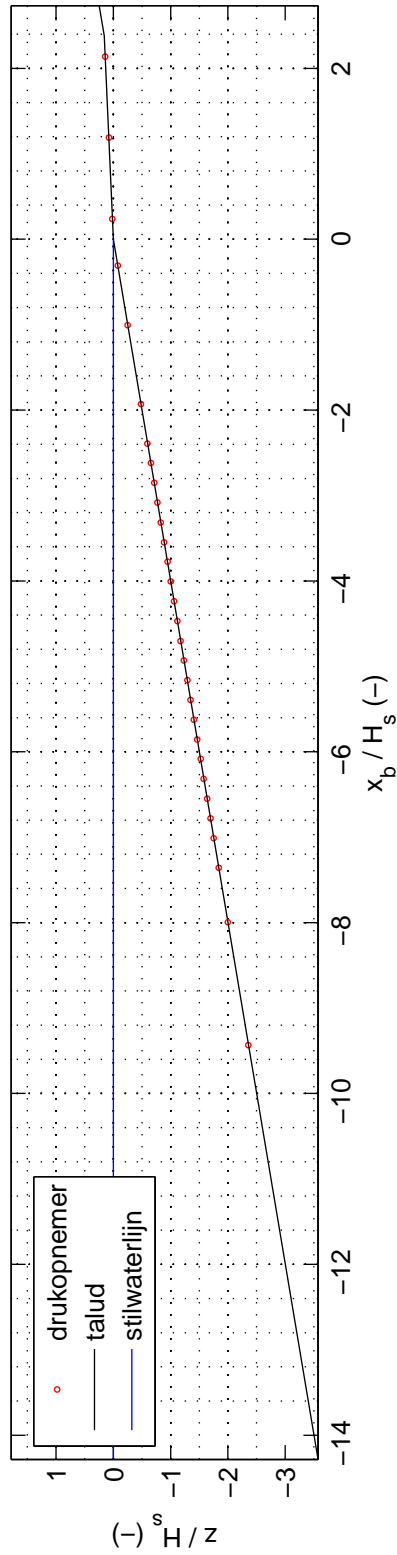
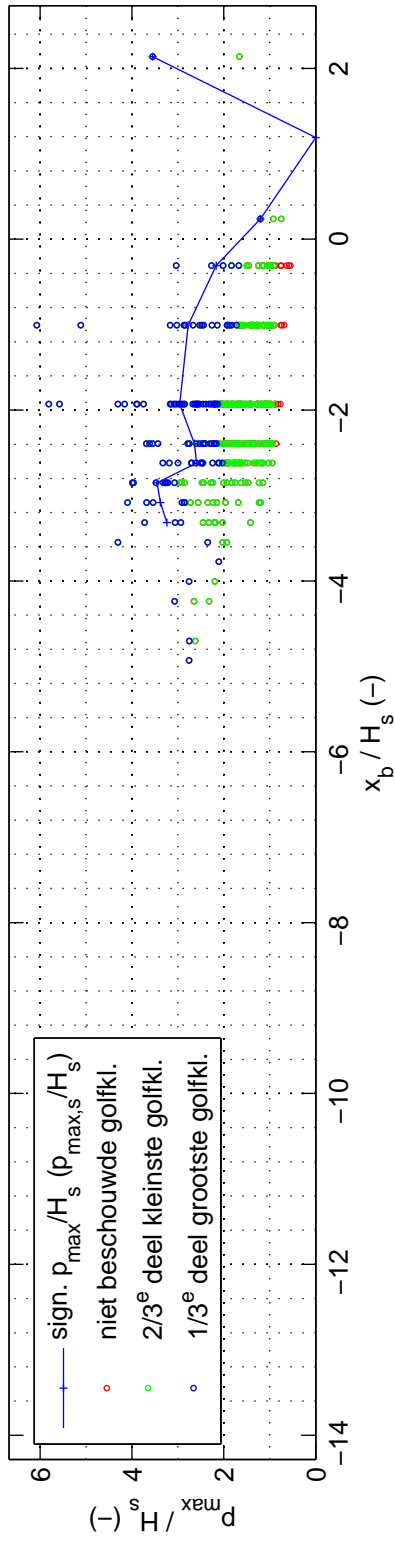
proef 4118

Deltares

1209832-014

FIG. C.52

proef 4119 ; $H_s = 0.168$ m ; $s_{op} = 0.027$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

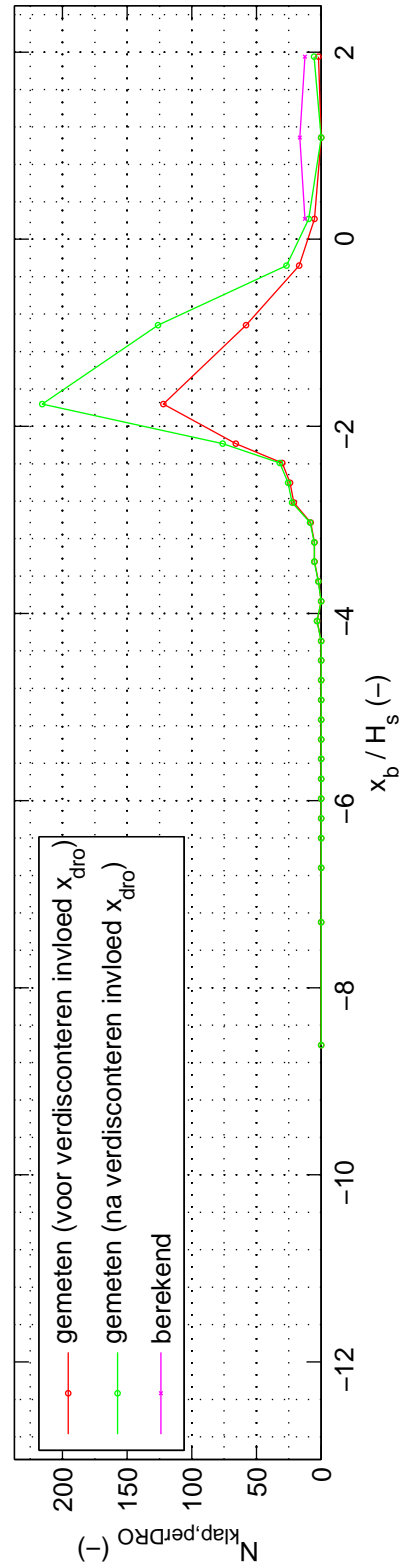
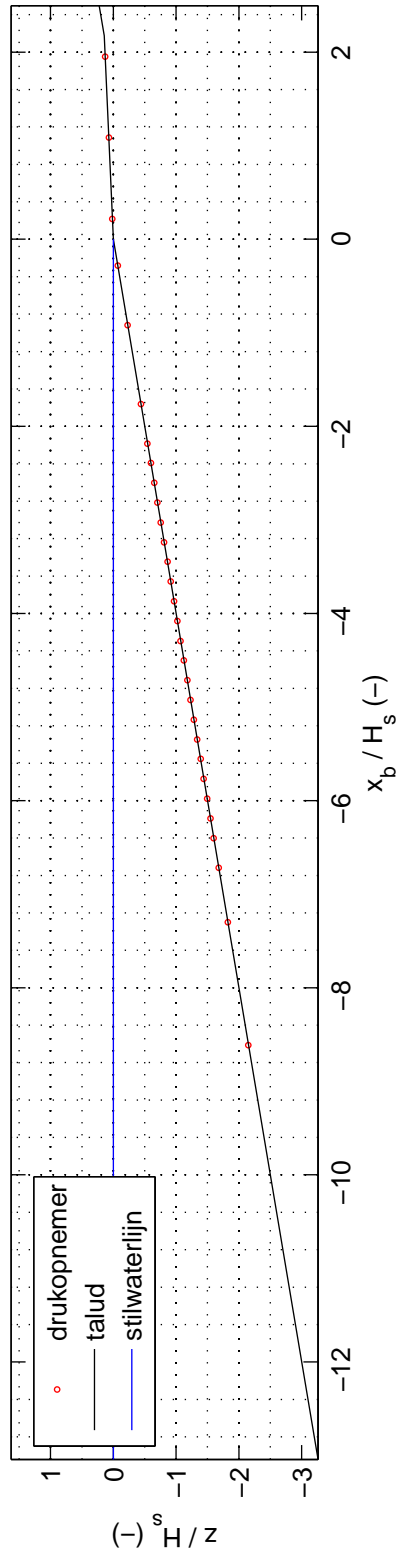
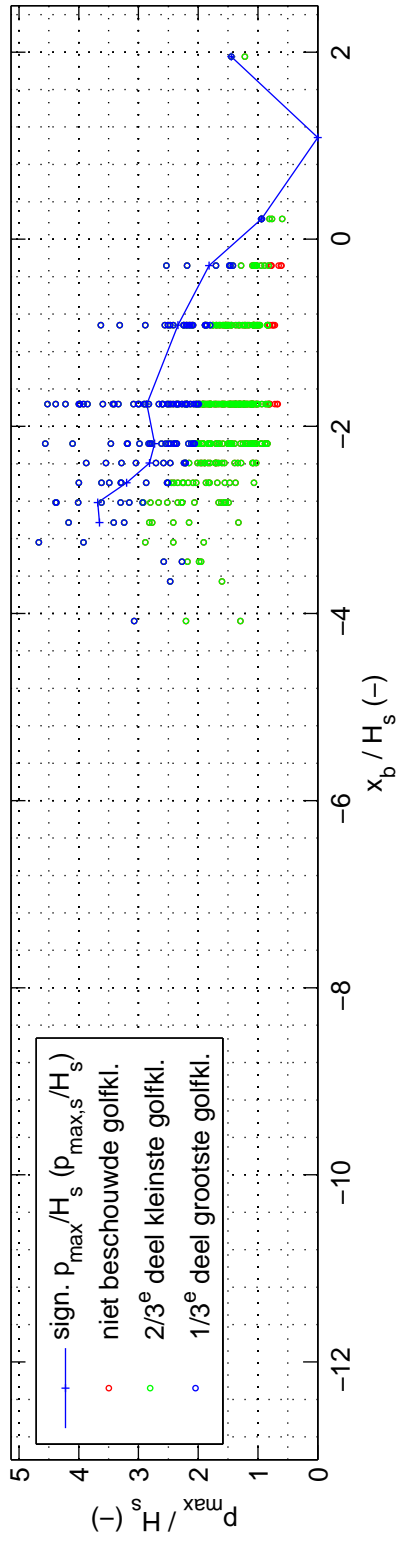
proef 4119

Deltares

1209832-014

FIG. C.53

proef 4120 ; $H_s = 0.184$ m ; $s_{op} = 0.034$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

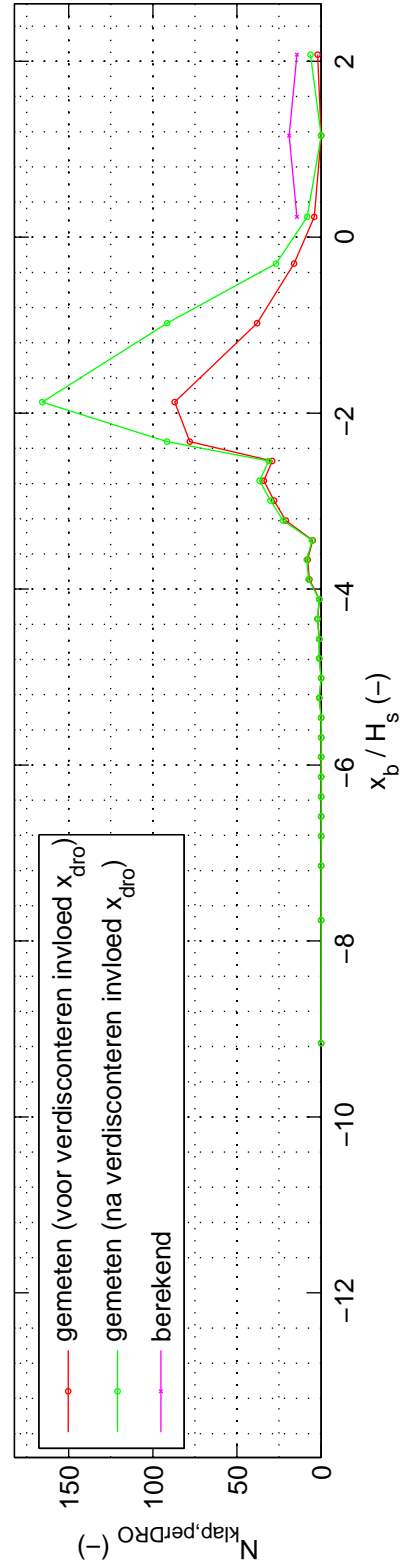
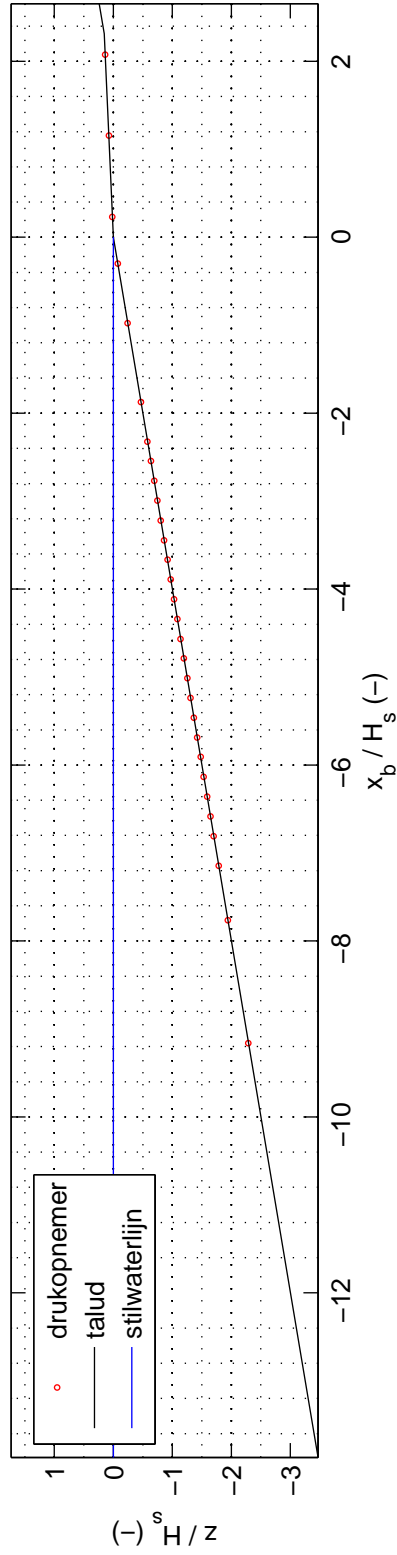
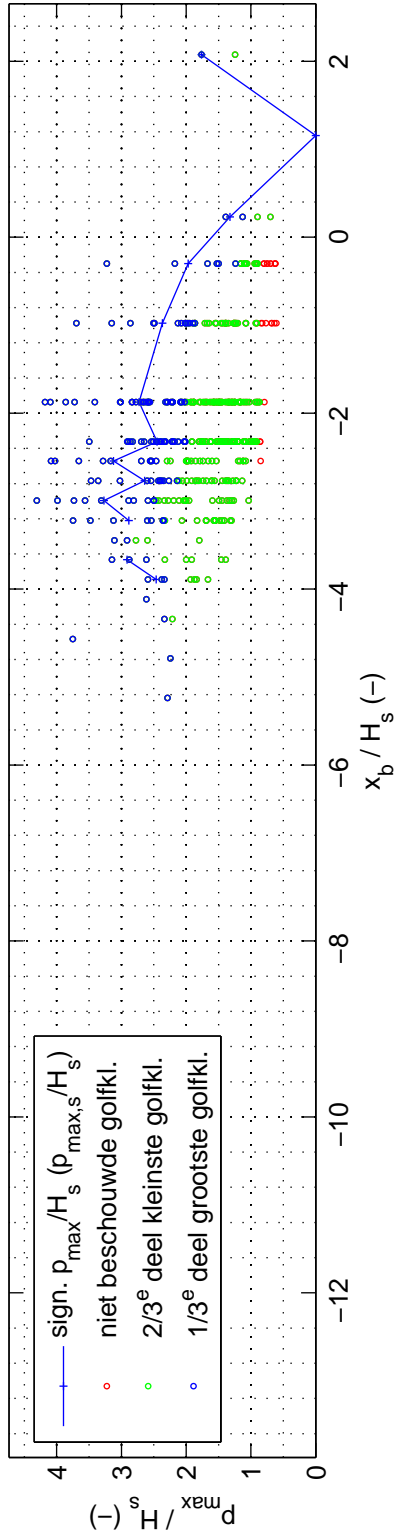
proef 4120

Deltares

1209832-014

FIG. C.54

proef 4121 ; $H_s = 0.173$ m ; $s_{op} = 0.023$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

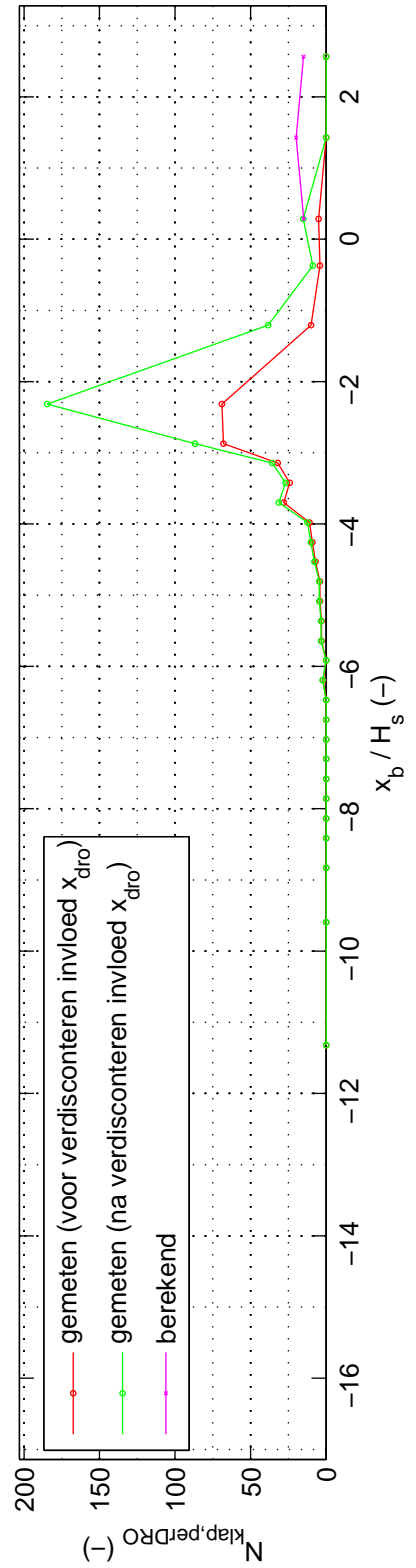
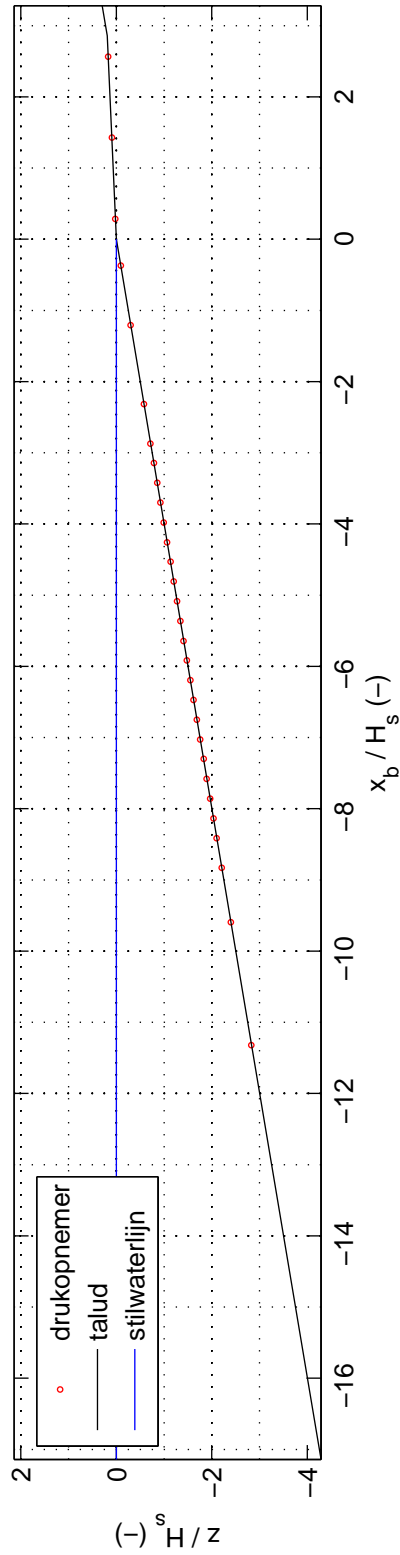
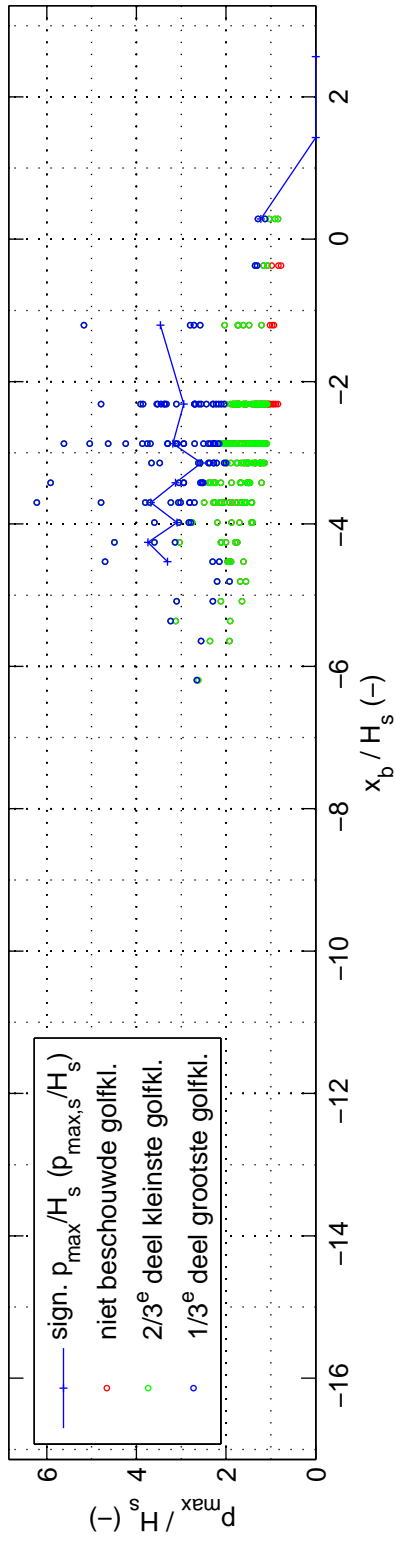
proef 4121

Deltares

1209832-014

FIG. C.55

proef 4122 ; $H_s = 0.140$ m ; $s_{op} = 0.015$; $B = 0.40$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

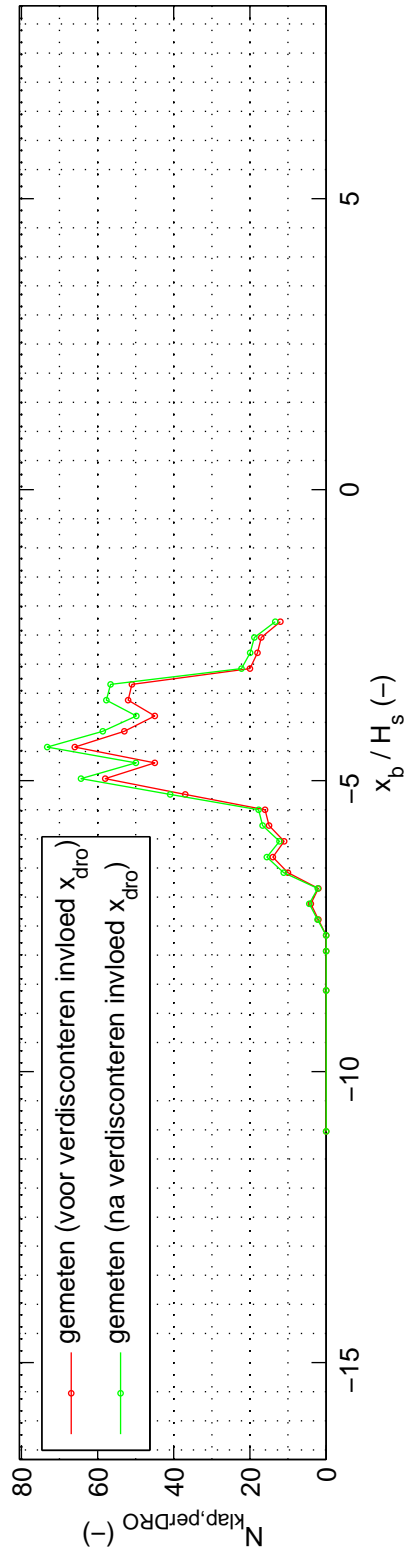
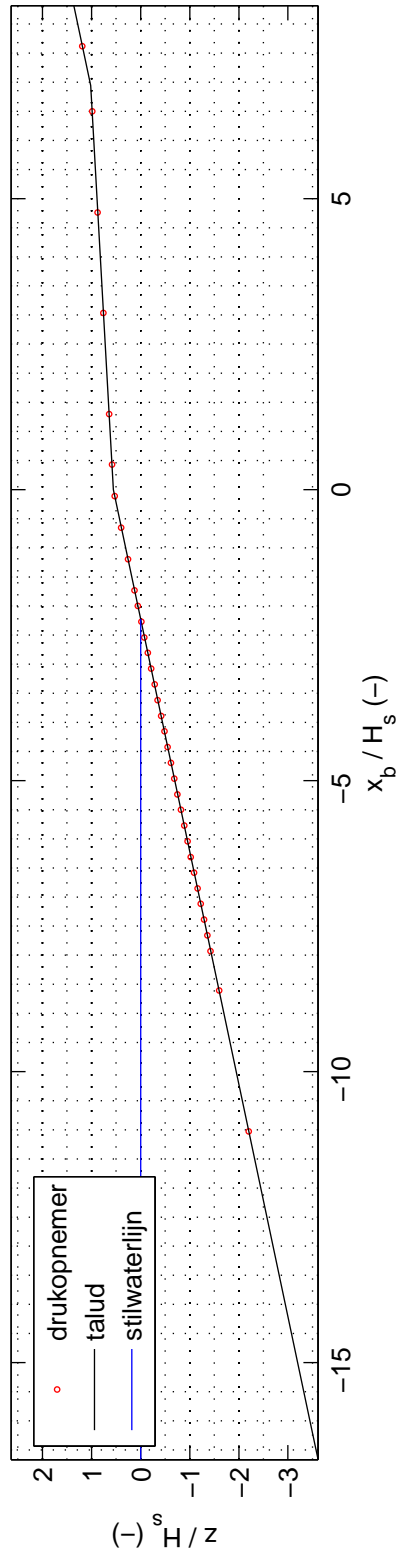
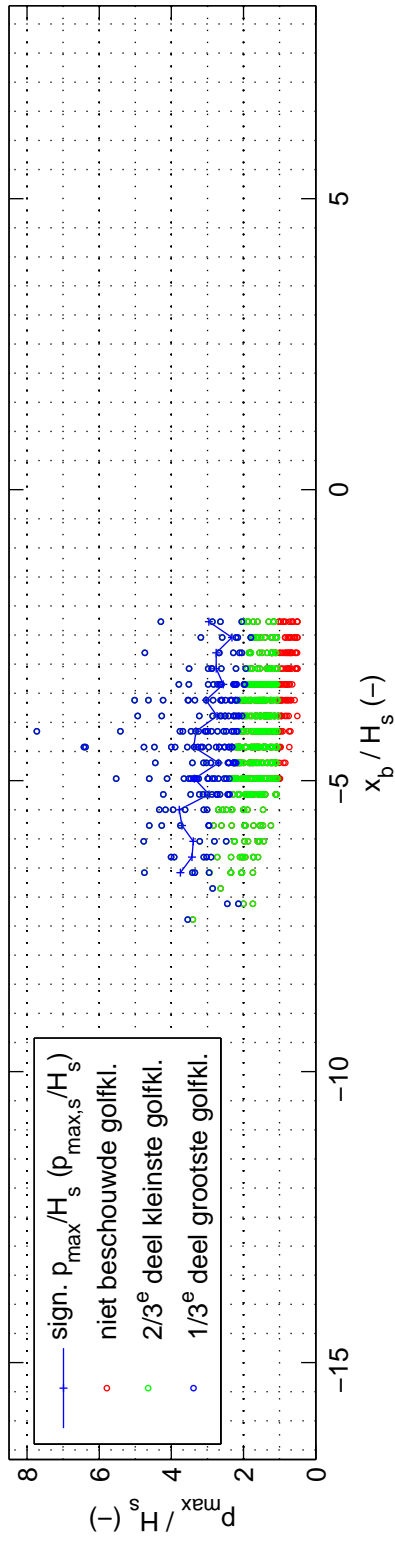
proef 4122

Deltares

1209832-014

FIG. C.56

proef 4201 ; $H_s = 0.144$ m ; $s_{op} = 0.021$; $B = 1.00$ m ; $d_B = -0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

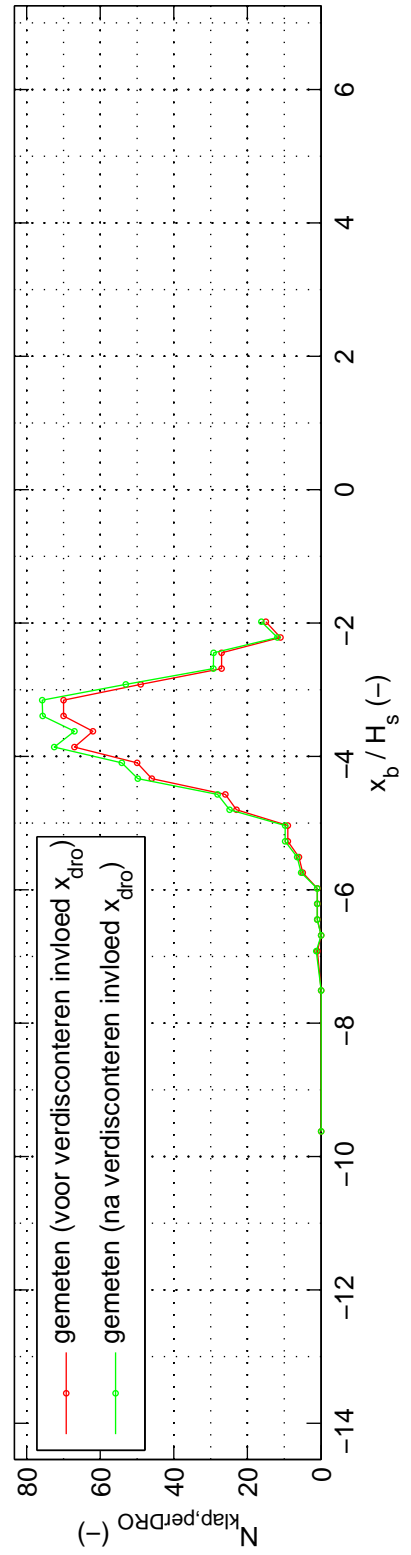
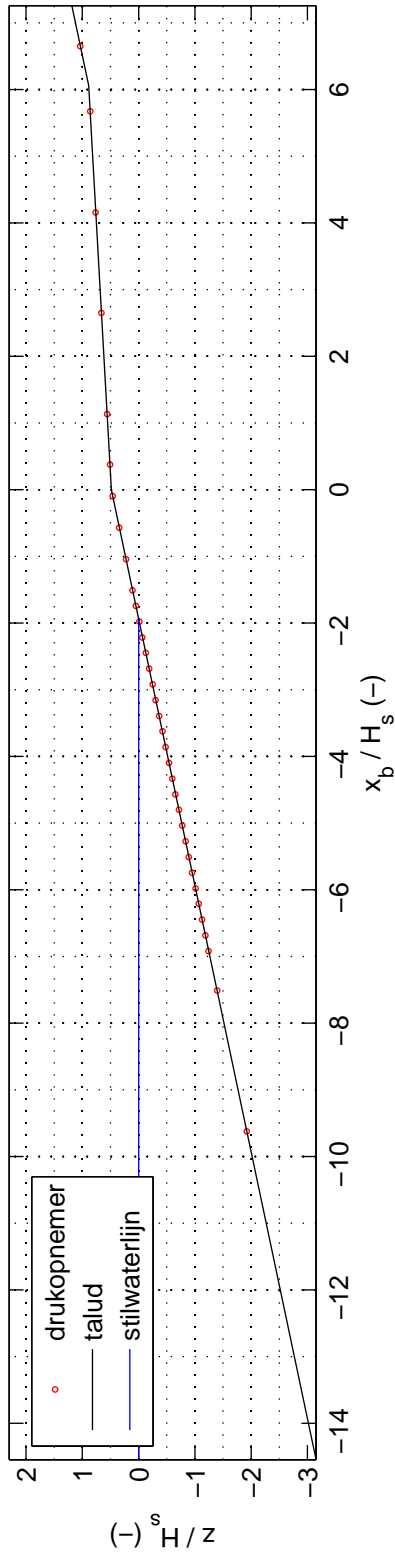
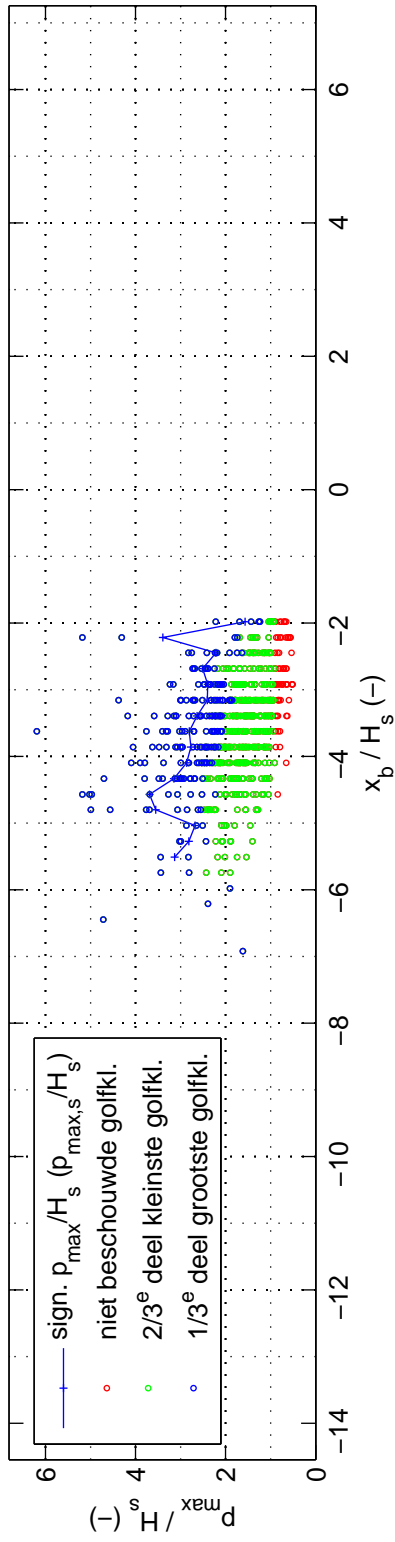
proef 4201

Deltares

1209832-014

FIG. C.57

proef 4202 ; $H_s = 0.165$ m ; $s_{op} = 0.032$; $B = 1.00$ m ; $d_B = -0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

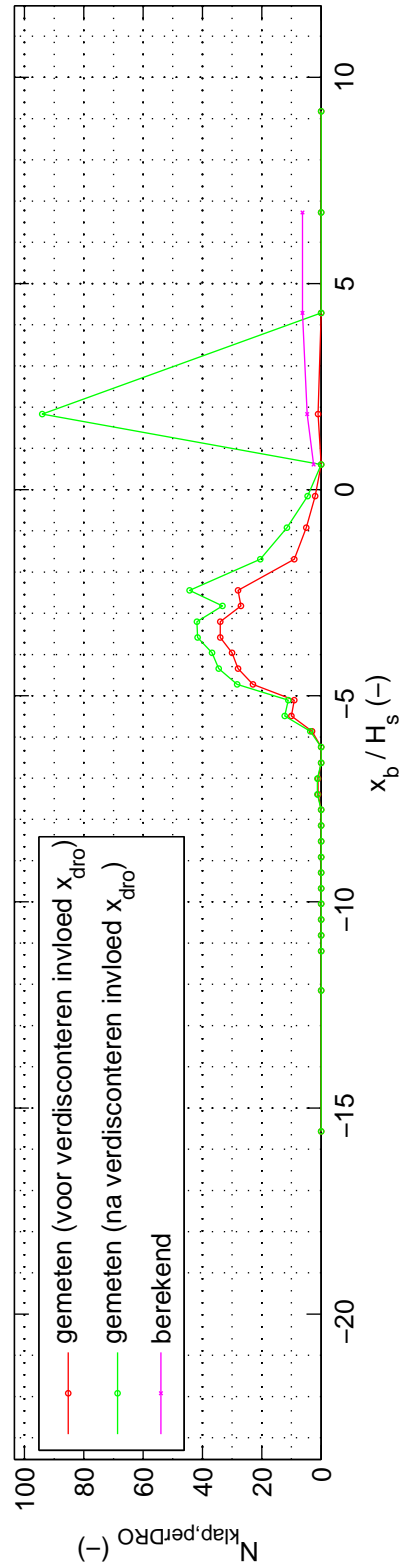
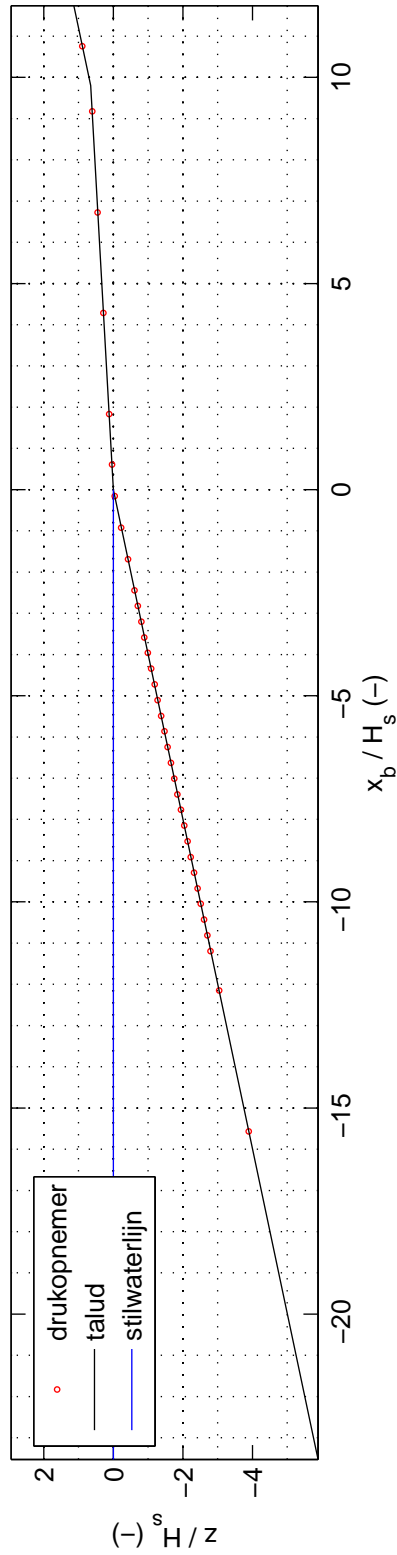
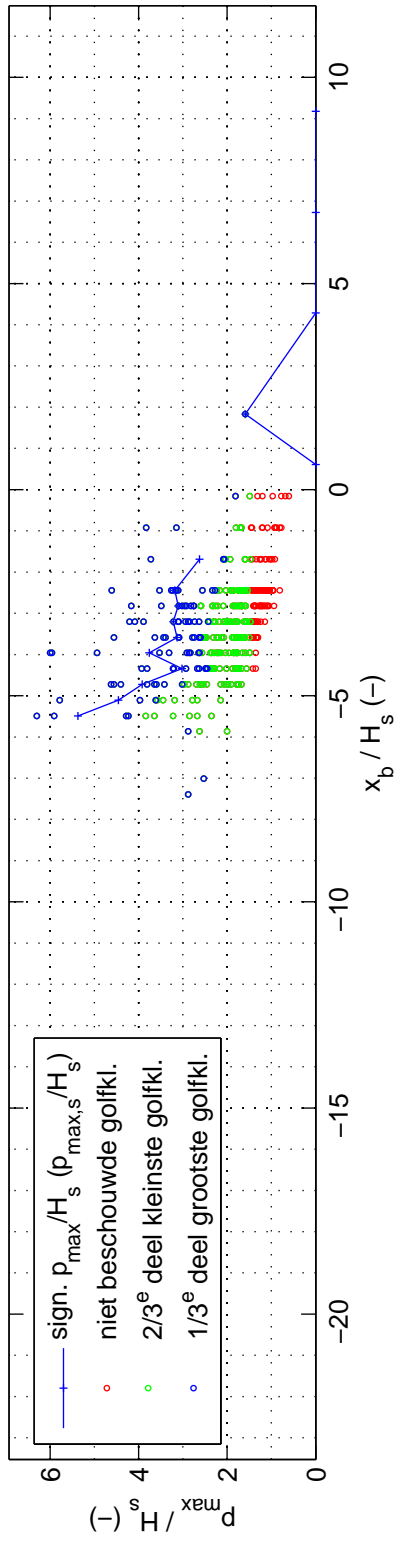
proef 4202

Deltares

1209832-014

FIG. C.58

proef 4203 ; $H_s = 0.102$ m ; $s_{op} = 0.011$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

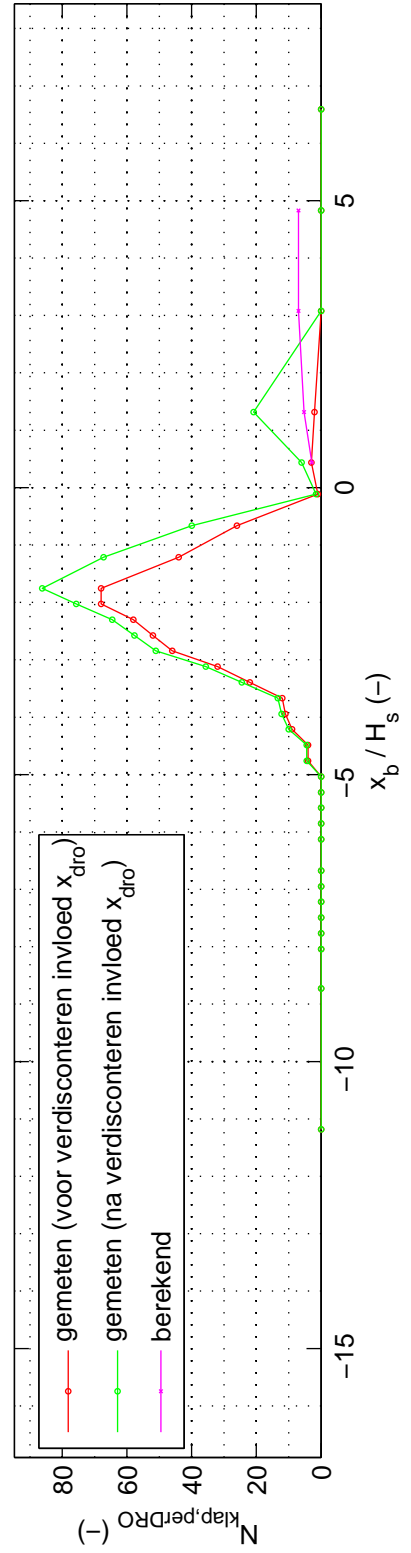
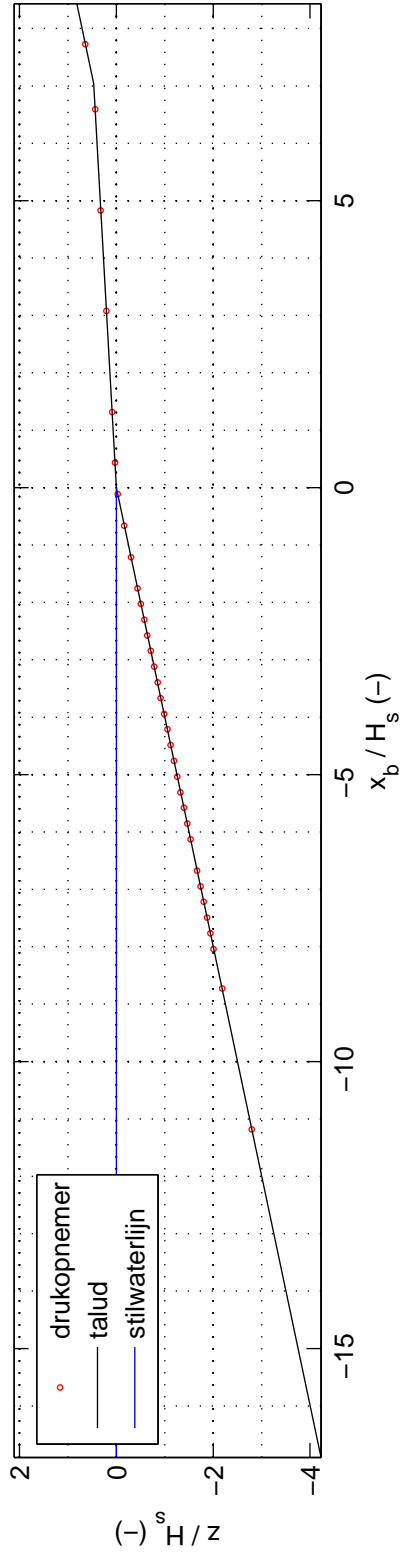
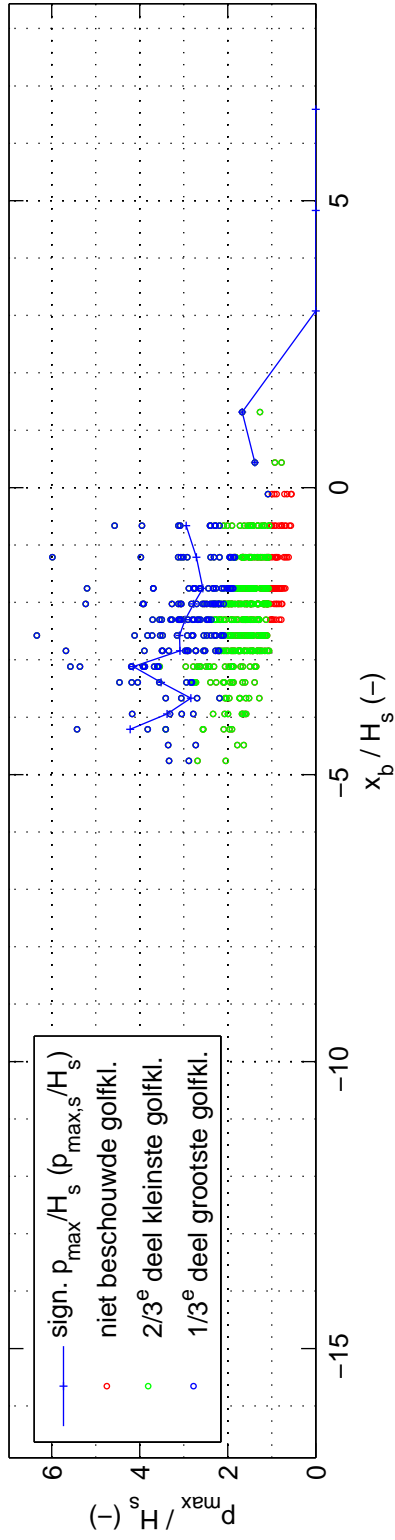
proef 4203

Deltares

1209832-014

FIG. C.59

proef 4204 ; $H_s = 0.142$ m ; $s_{op} = 0.019$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

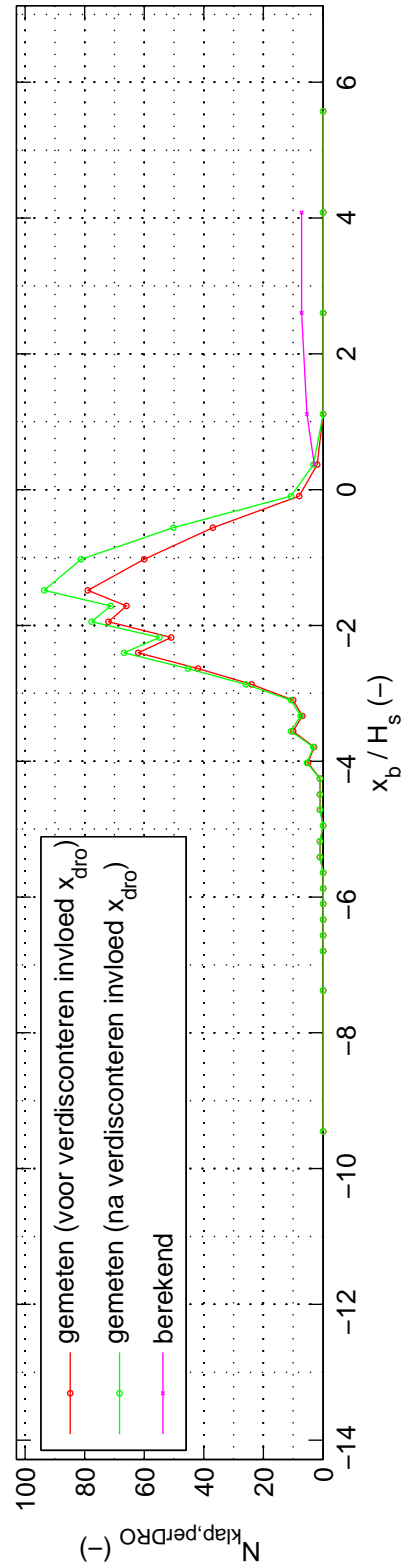
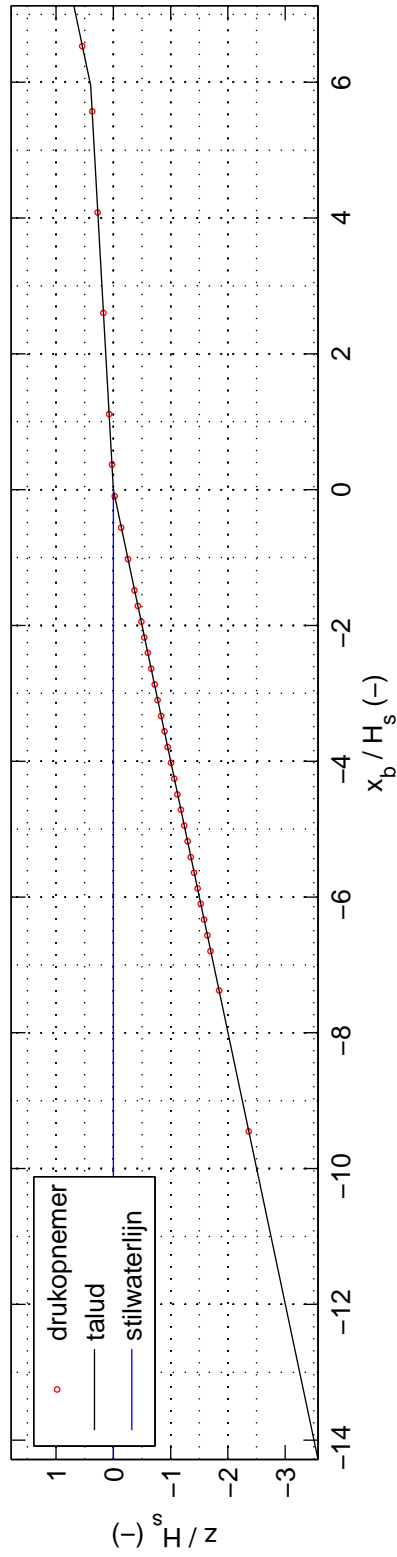
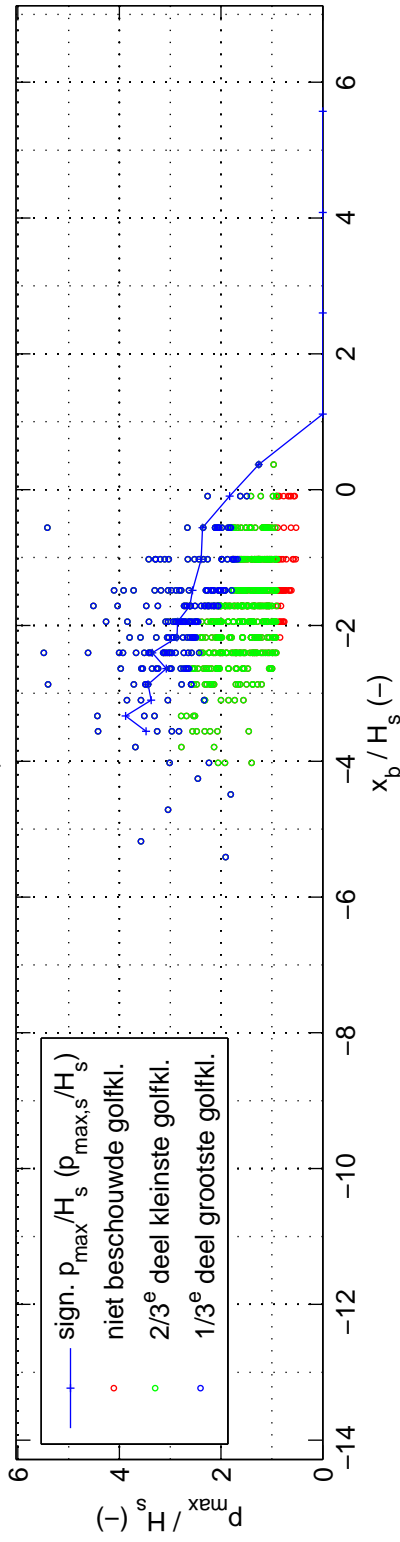
proef 4204

Deltares

1209832-014

FIG. C.60

proef 4205 ; $H_s = 0.168$ m ; $s_{op} = 0.029$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

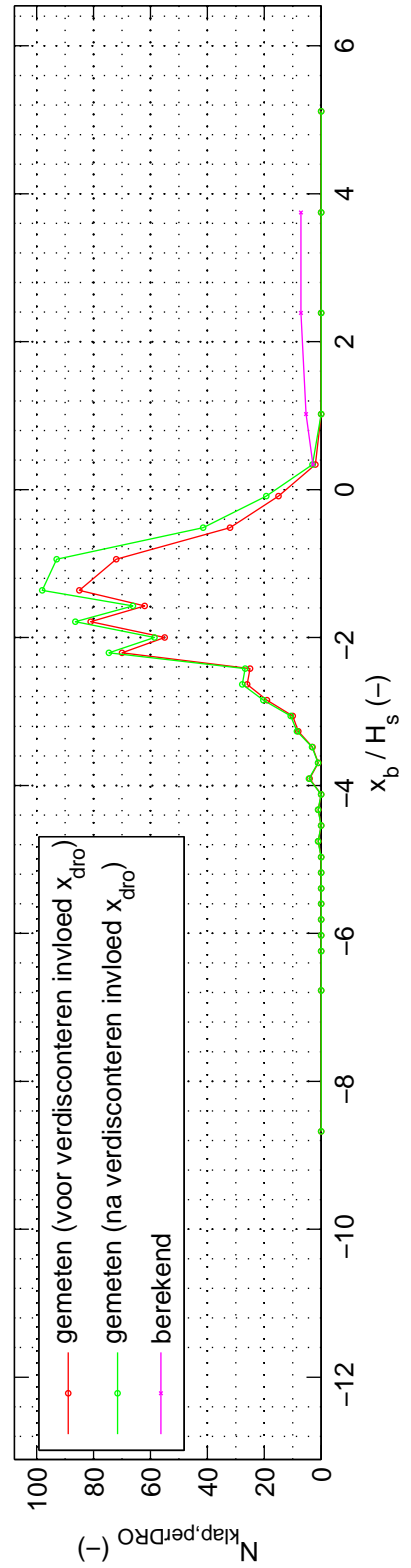
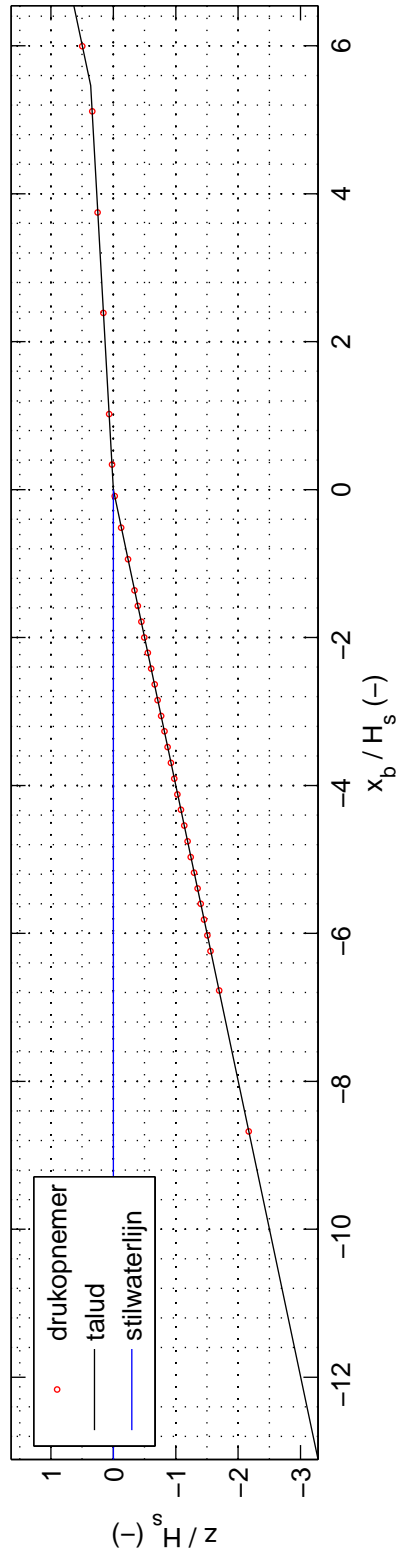
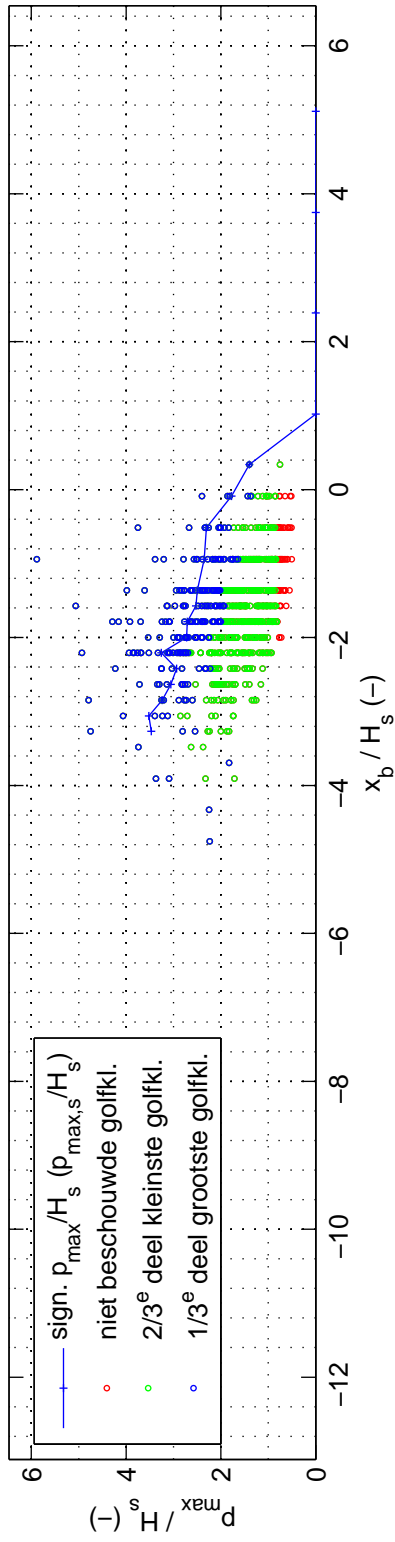
proef 4205

Deltares

1209832-014

FIG. C.61

proef 4206 ; $H_s = 0.183$ m ; $s_{op} = 0.034$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

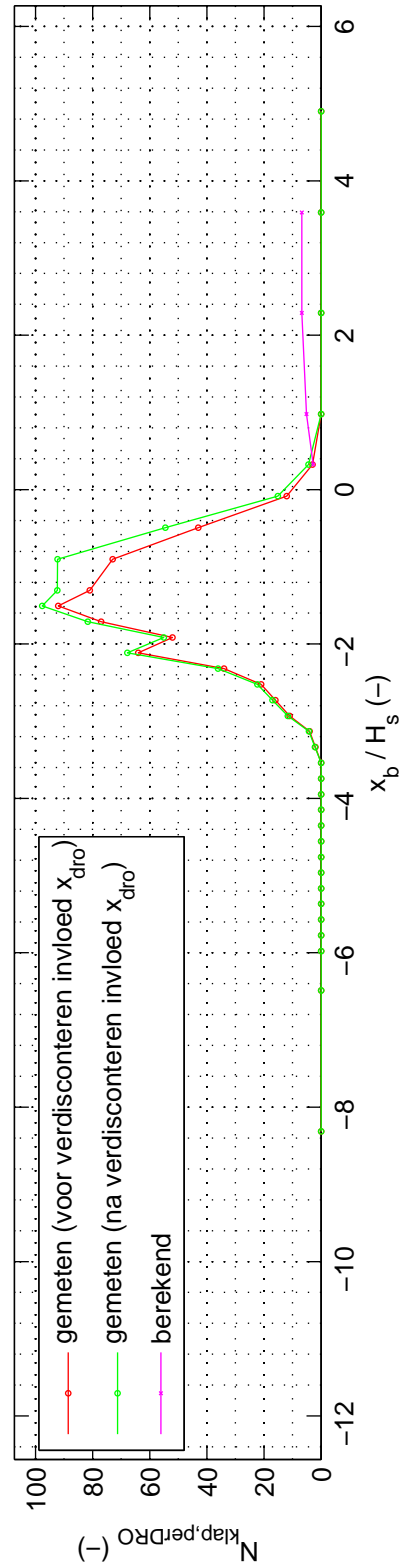
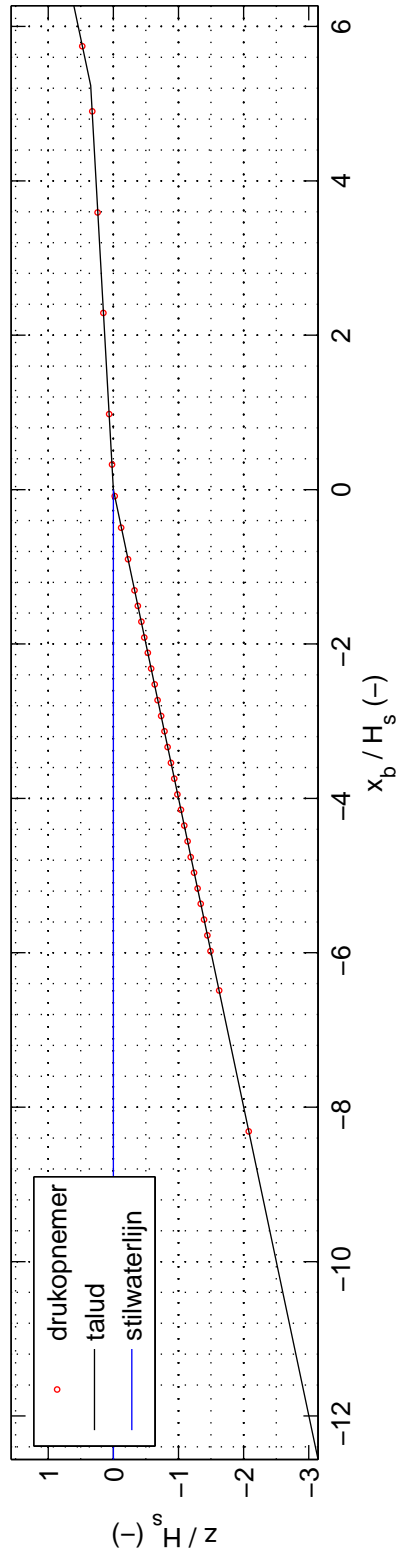
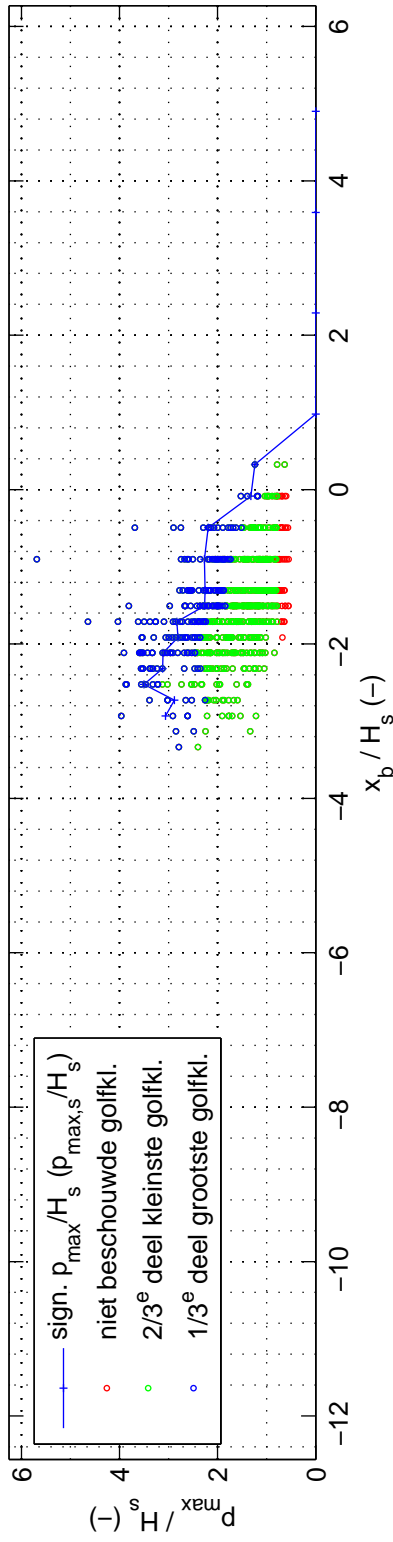
proef 4206

Deltares

1209832-014

FIG. C.62

proef 4207 ; $H_s = 0.191$ m ; $s_{op} = 0.040$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

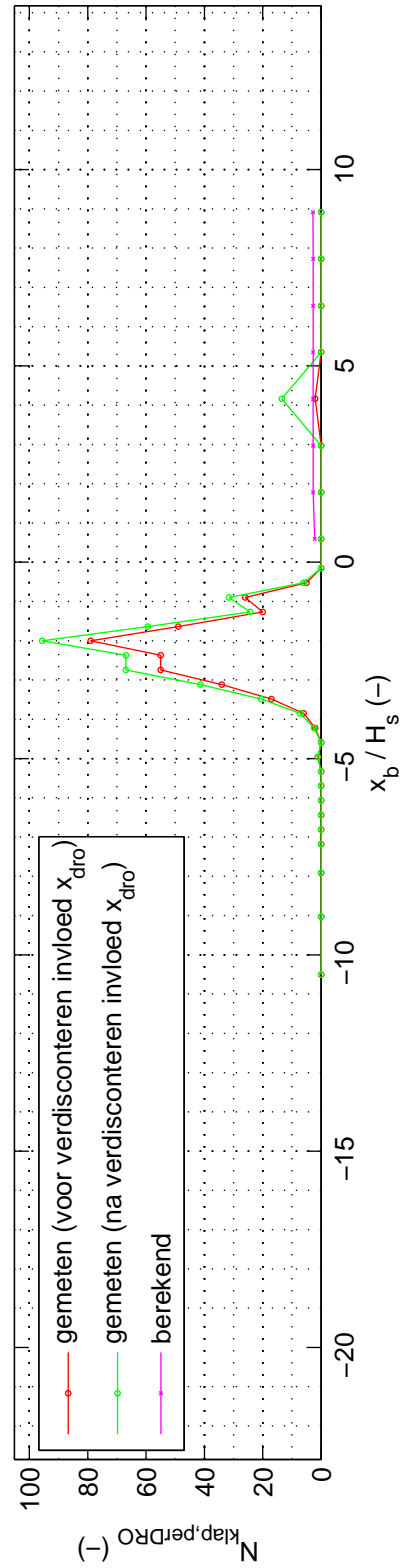
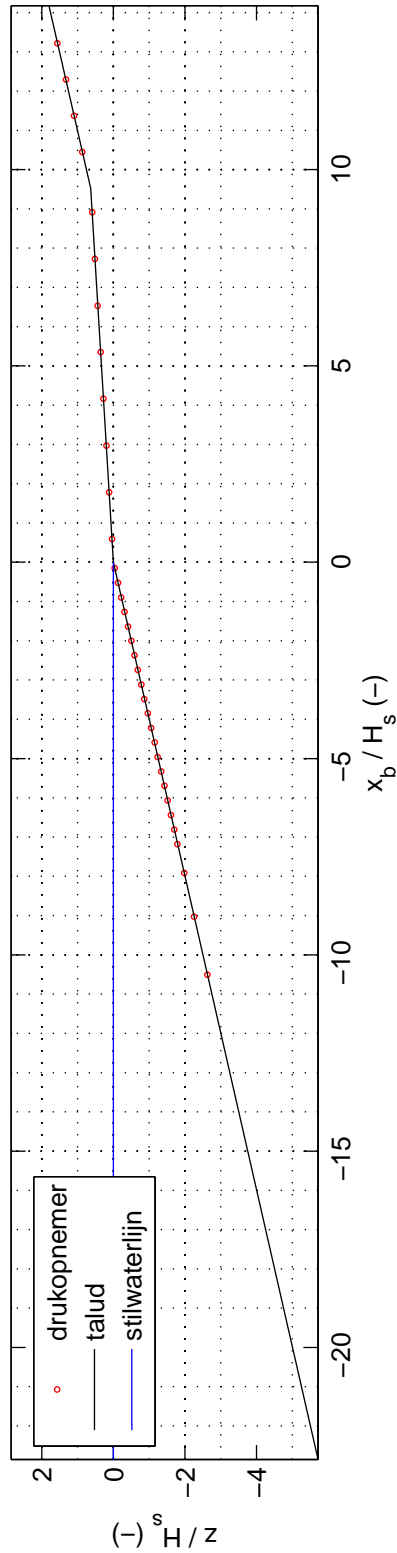
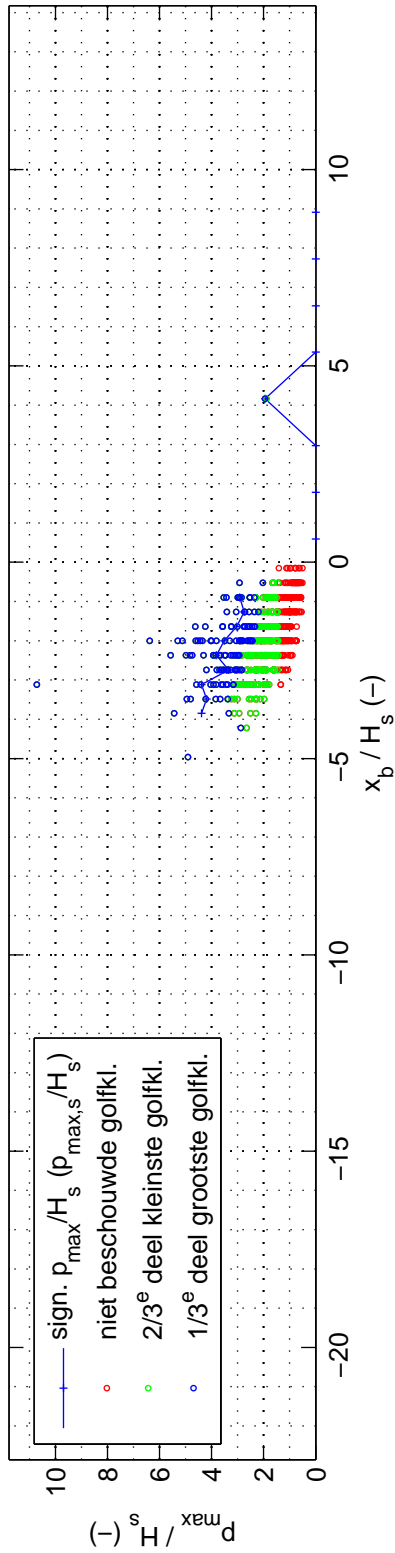
proef 4207

Deltares

1209832-014

FIG. C.63

proef 4208 ; $H_s = 0.105$ m ; $s_{op} = 0.019$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

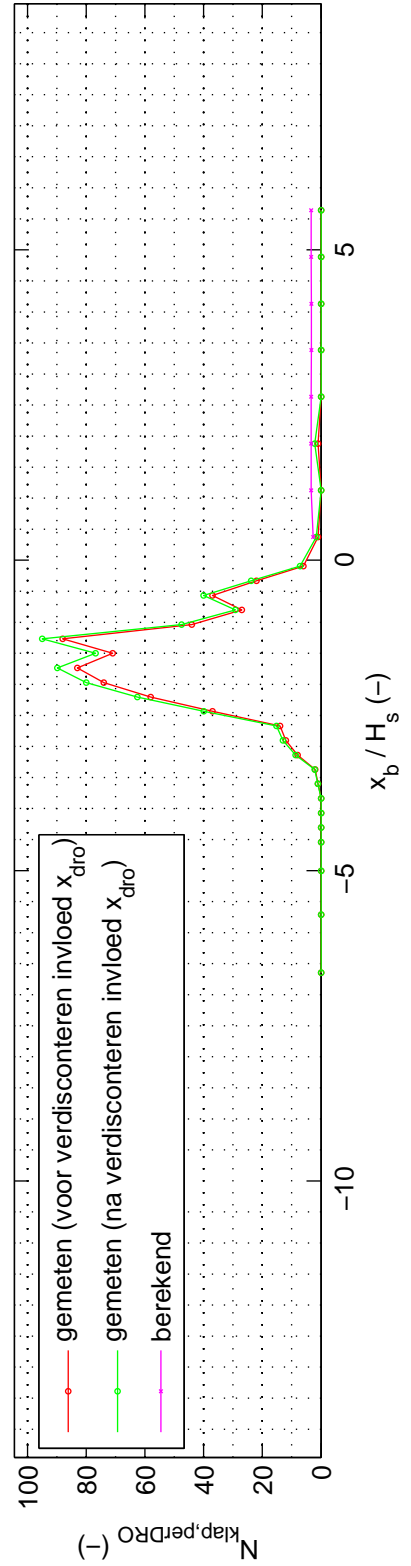
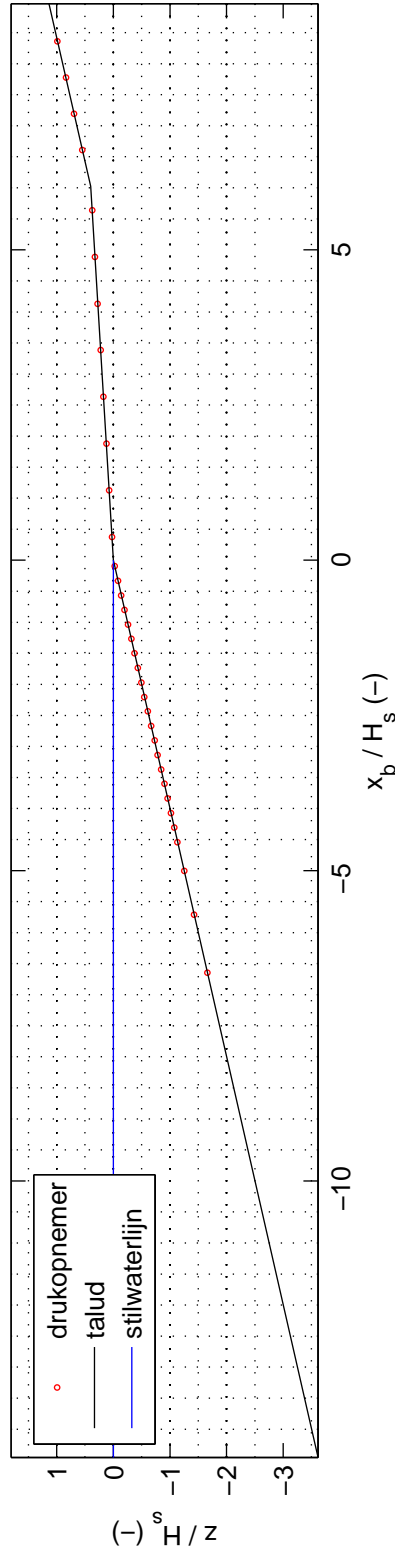
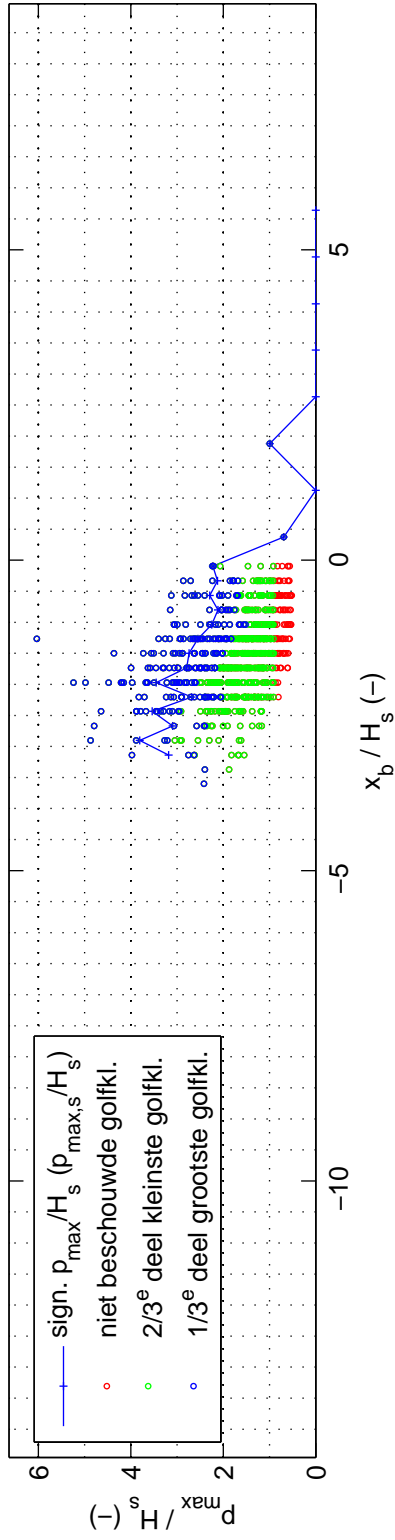
proef 4208

Deltares

1209832-014

FIG. C.64

proef 4209 ; $H_s = 0.166$ m ; $s_{op} = 0.035$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.00$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

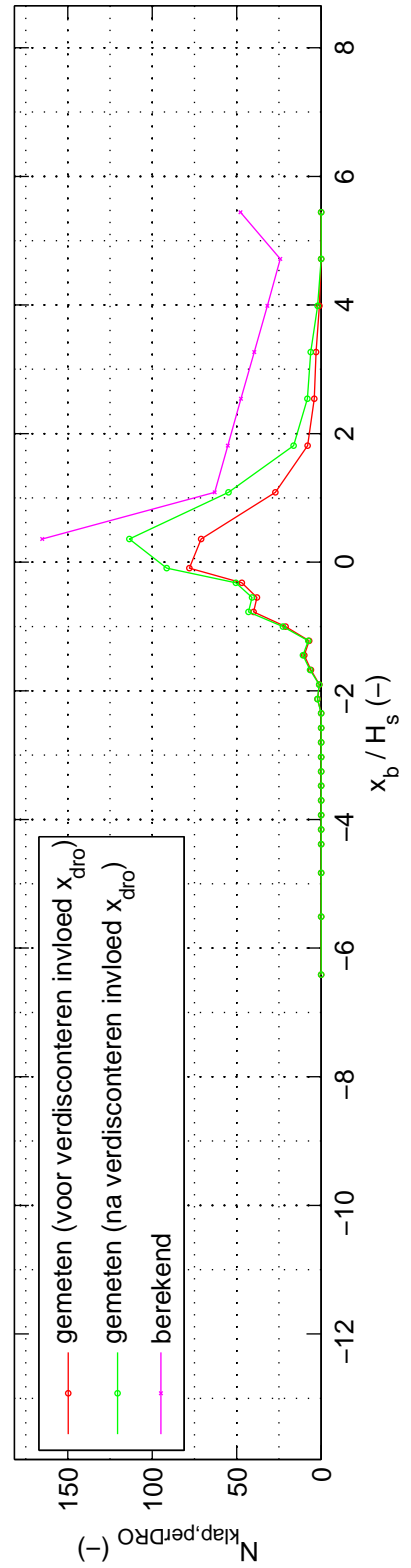
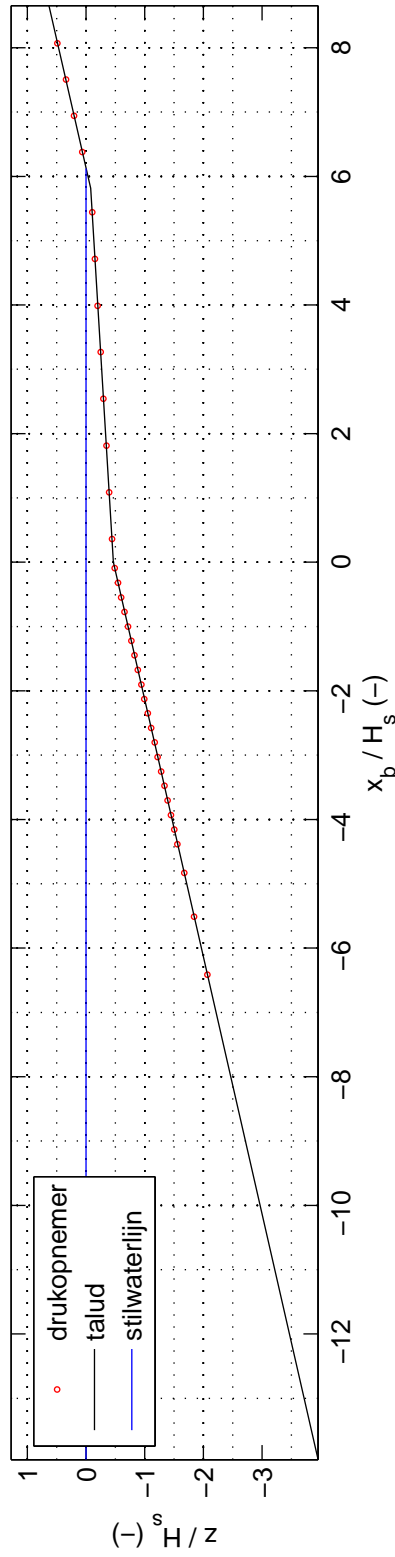
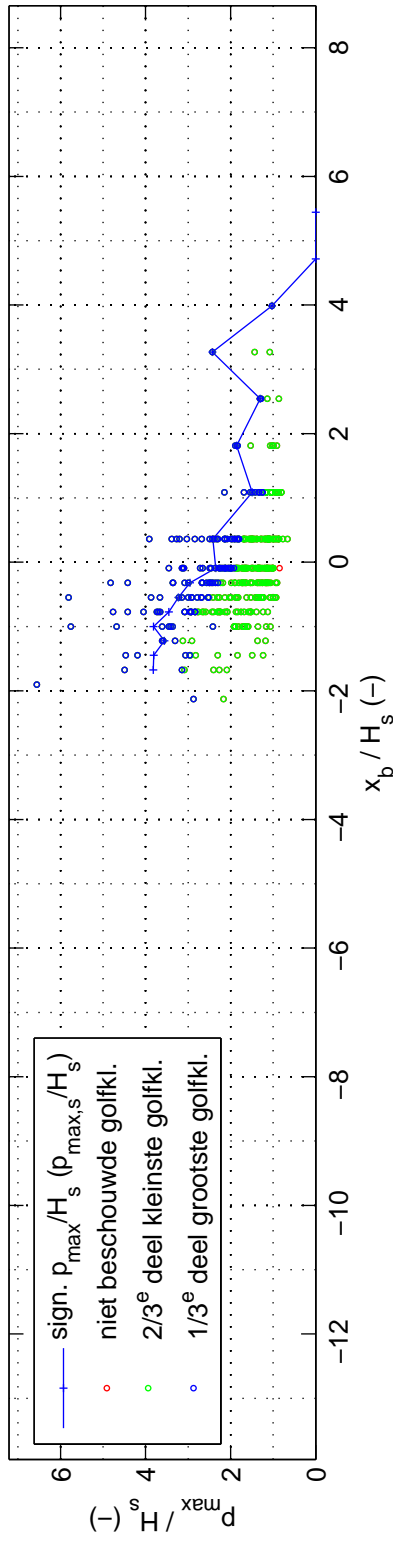
proef 4209

Deltares

1209832-014

FIG. C.65

proef 4210 ; $H_s = 0.172$ m ; $s_{op} = 0.029$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

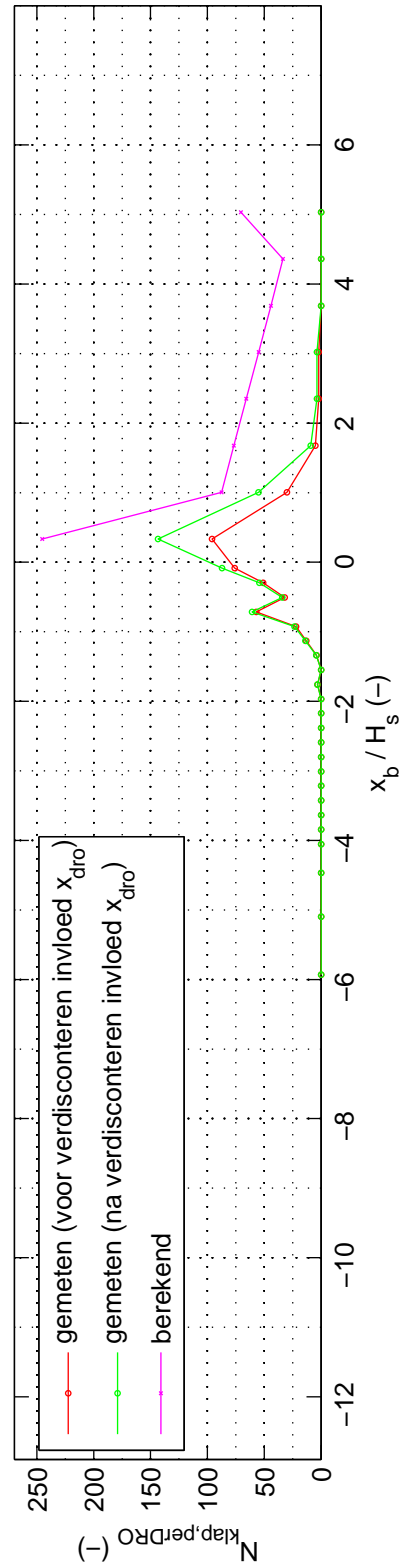
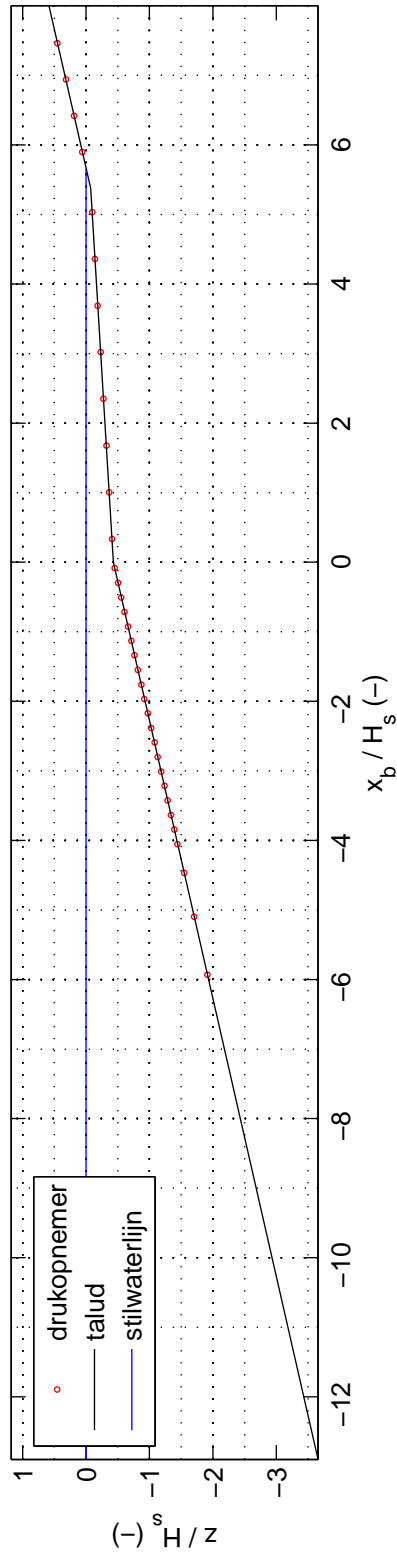
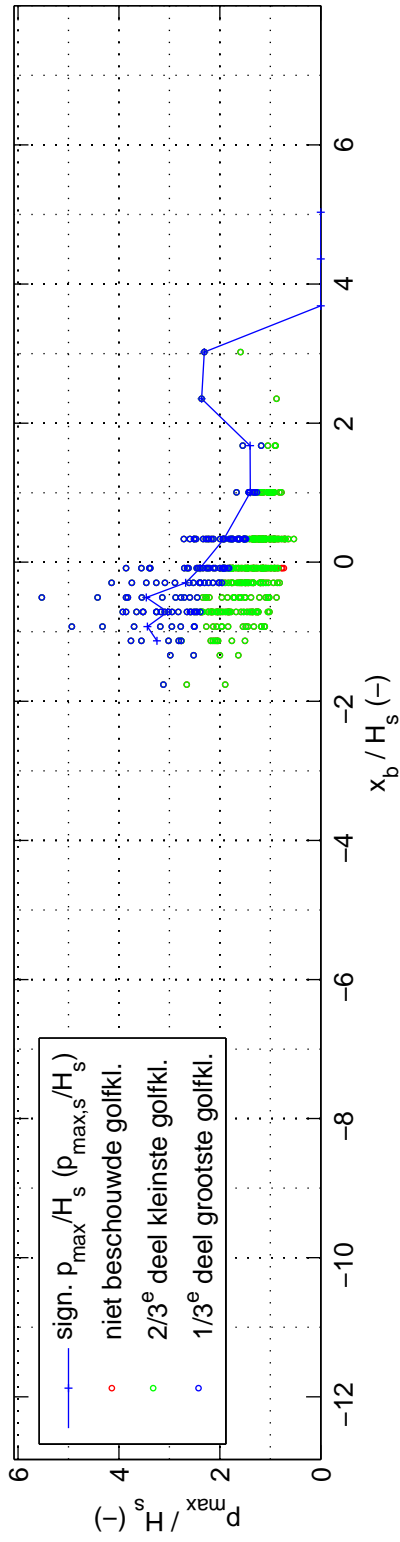
proef 4210

Deltares

1209832-014

FIG. C.66

proef 4211 ; $H_s = 0.186$ m ; $s_{op} = 0.036$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

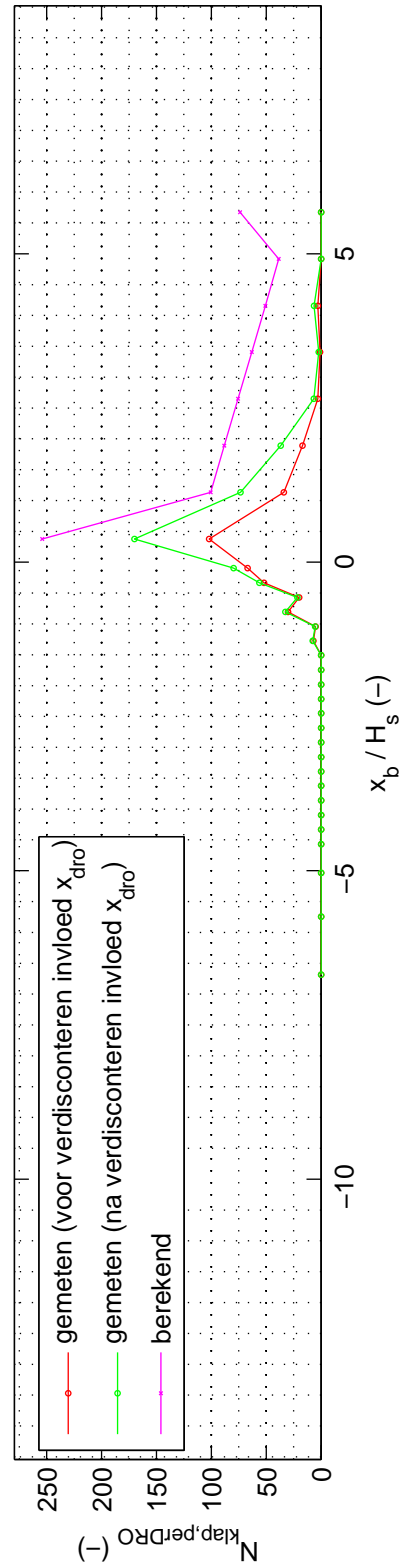
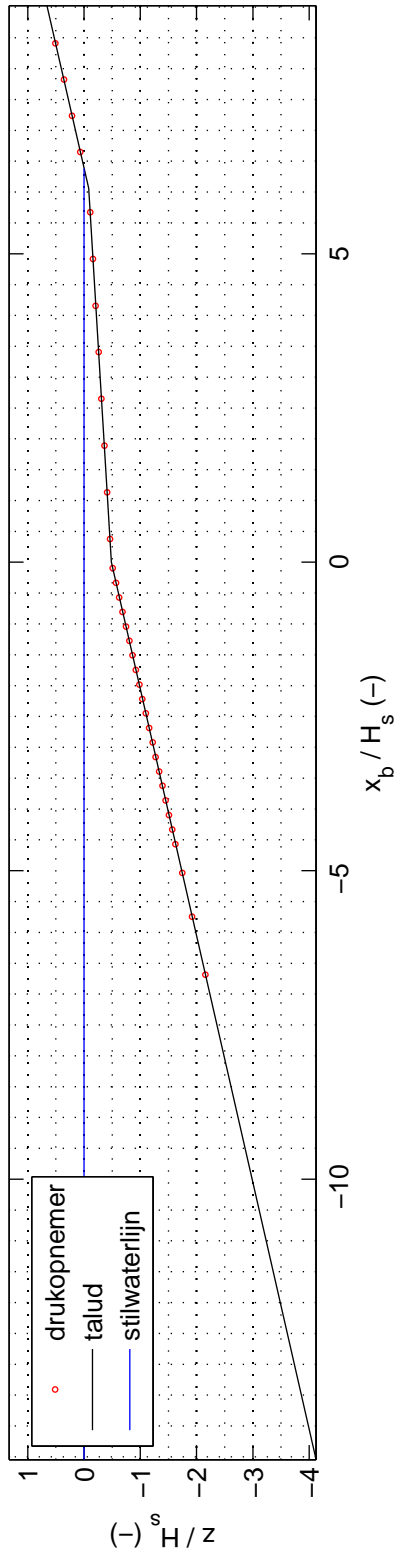
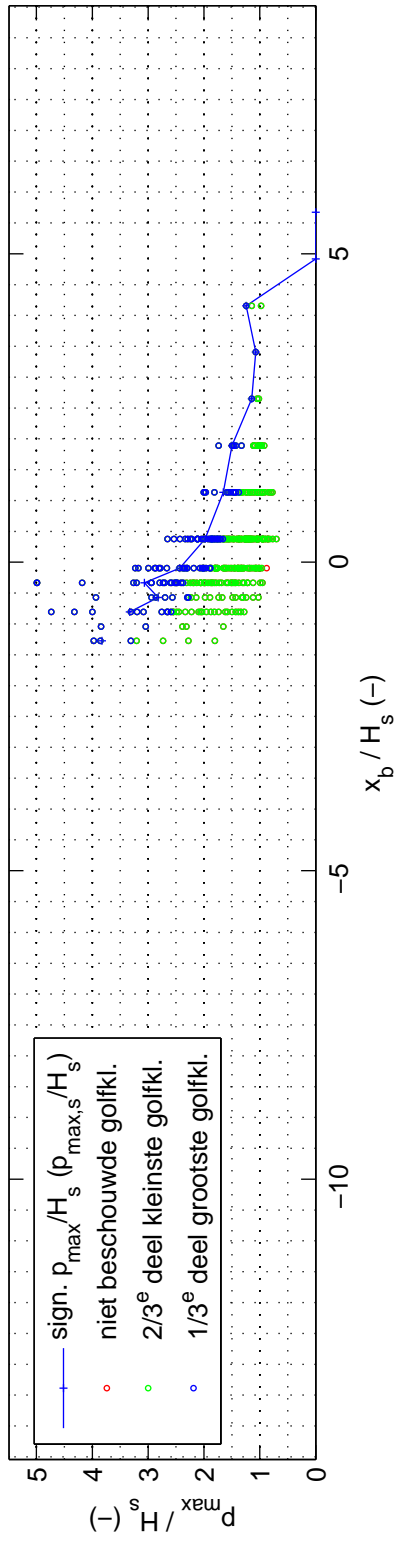
proef 4211

Deltares

1209832-014

FIG. C.67

proef 4212 ; $H_s = 0.165$ m ; $s_{op} = 0.035$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

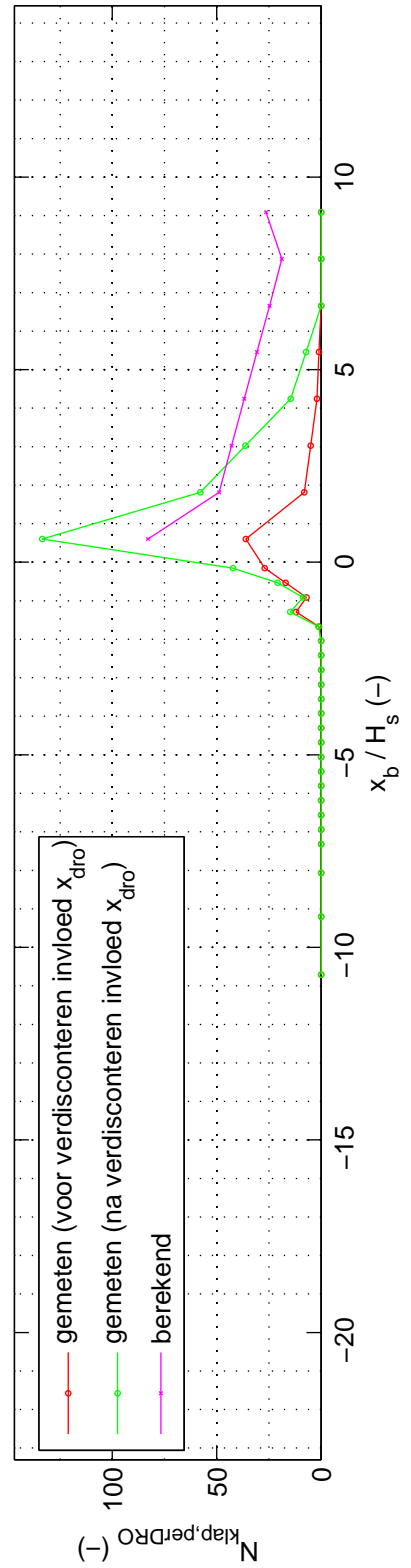
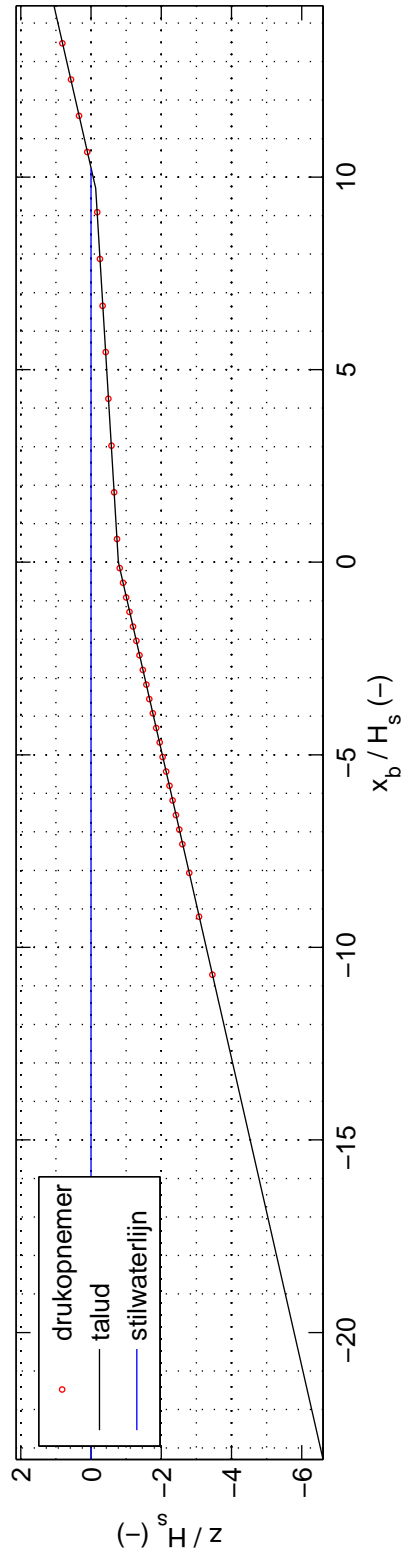
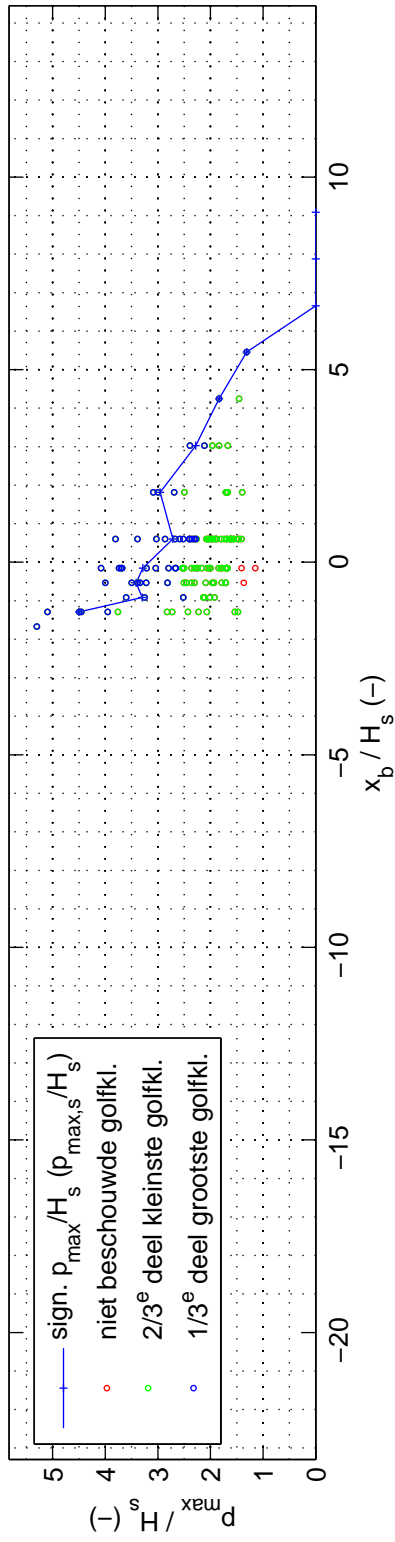
proef 4212

Deltares

1209832-014

FIG. C.68

proef 4213 ; $H_s = 0.103$ m ; $s_{op} = 0.019$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

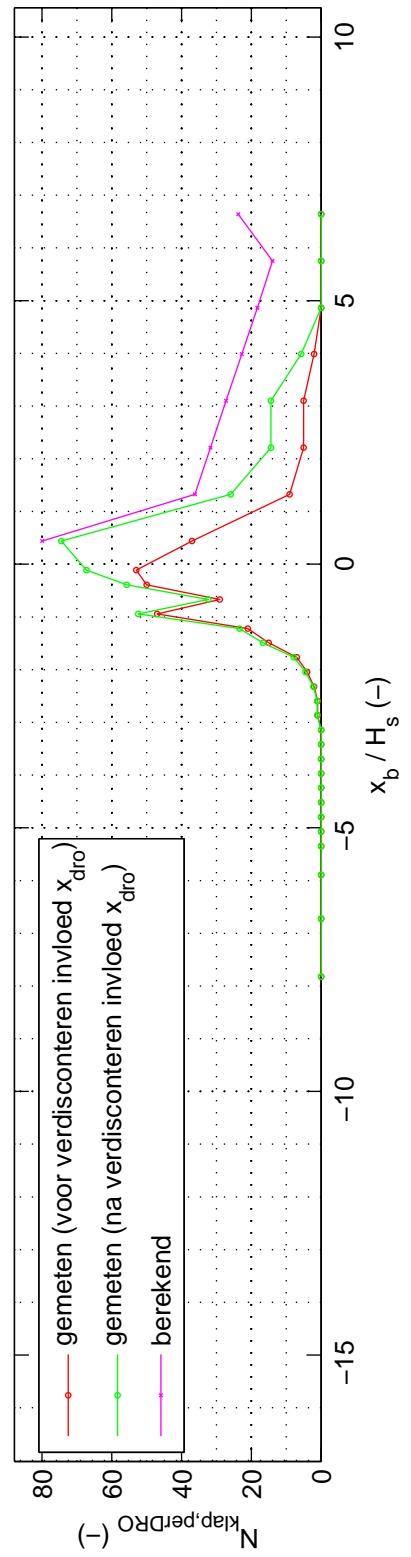
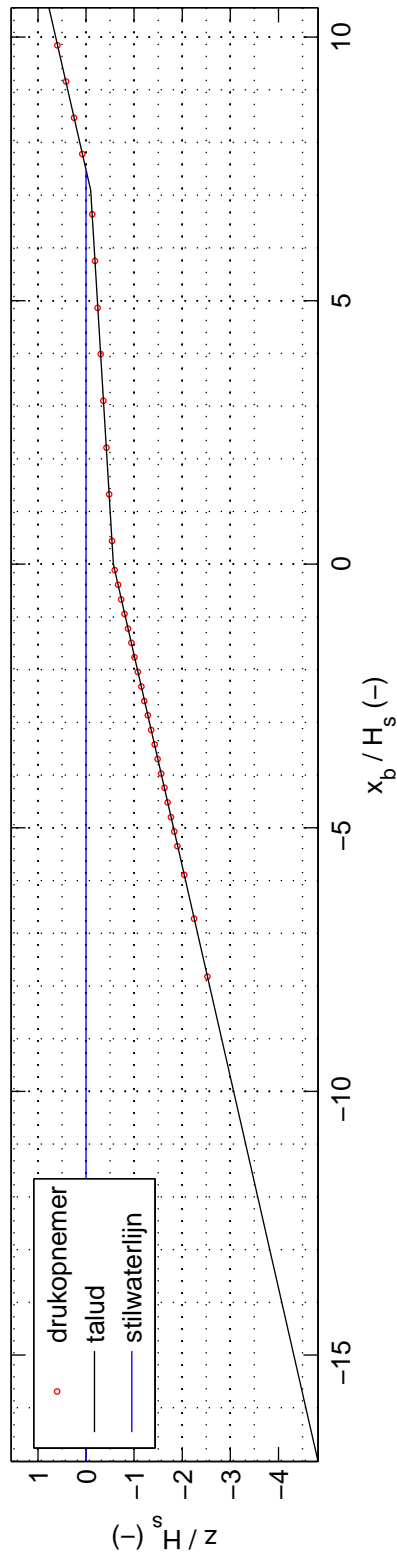
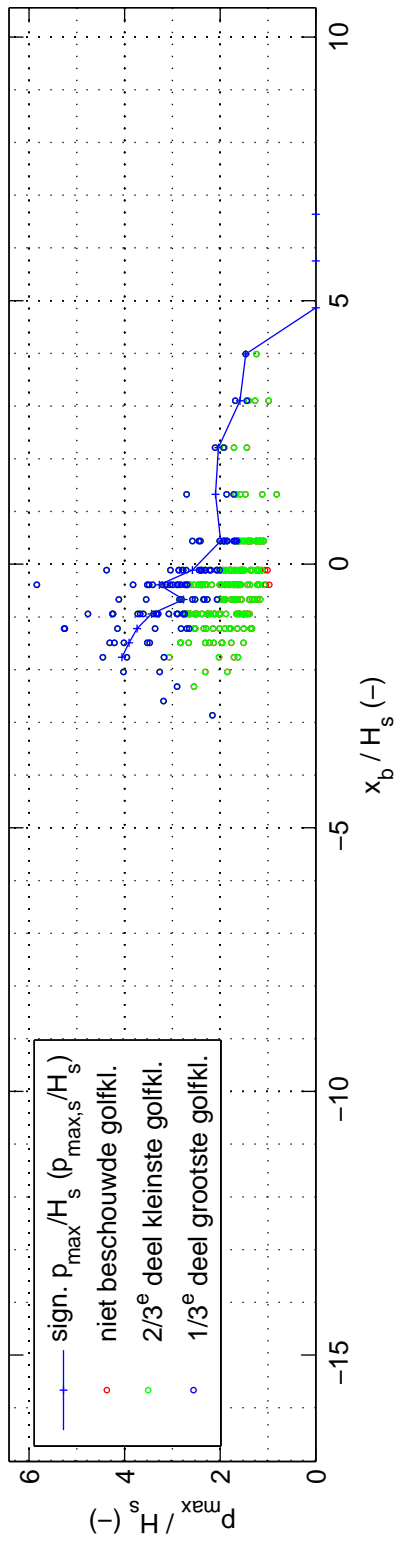
proef 4213

Deltares

1209832-014

FIG. C.69

proef 4214 ; $H_s = 0.141$ m ; $s_{op} = 0.019$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

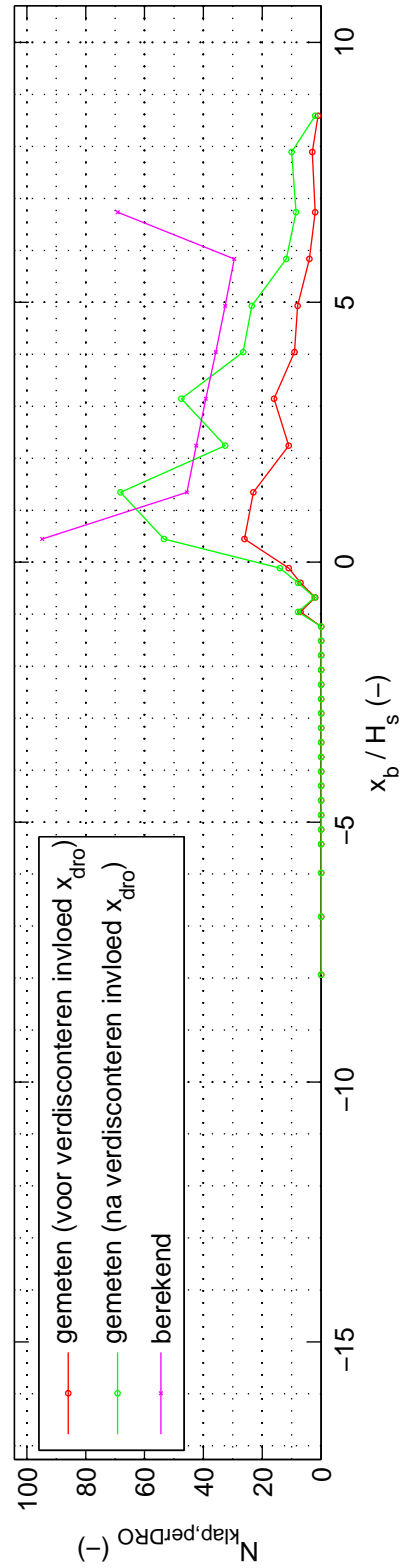
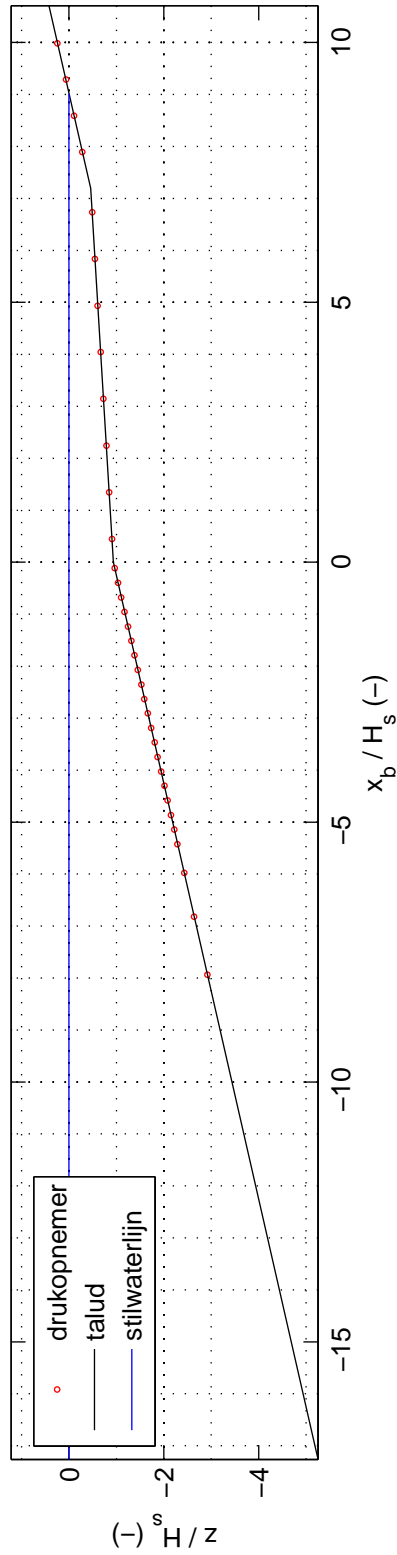
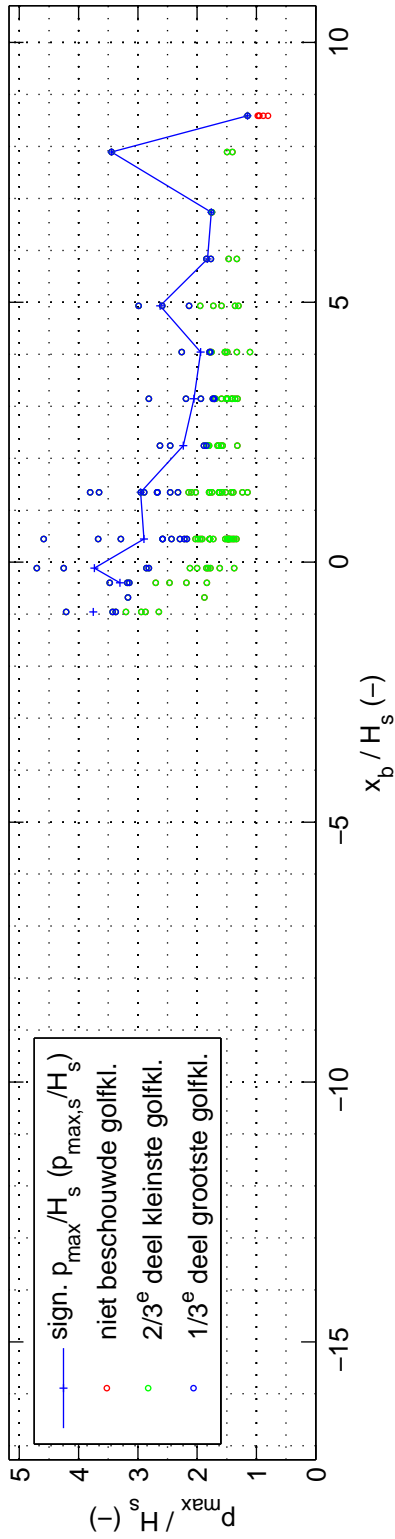
proef 4214

Deltares

1209832-014

FIG. C.70

proef 4215 ; $H_s = 0.139$ m ; $s_{op} = 0.020$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.13$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

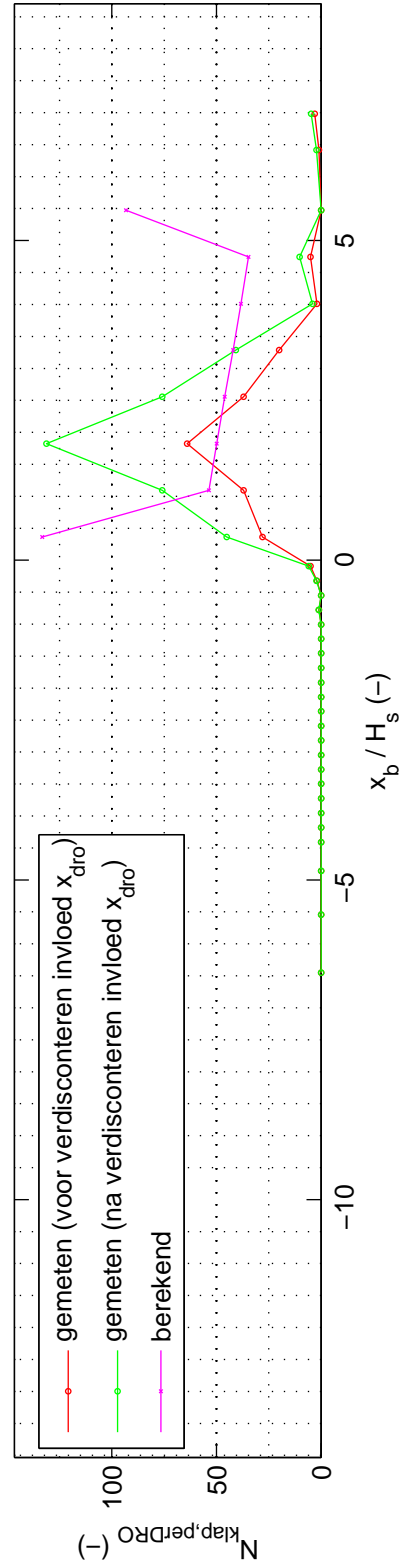
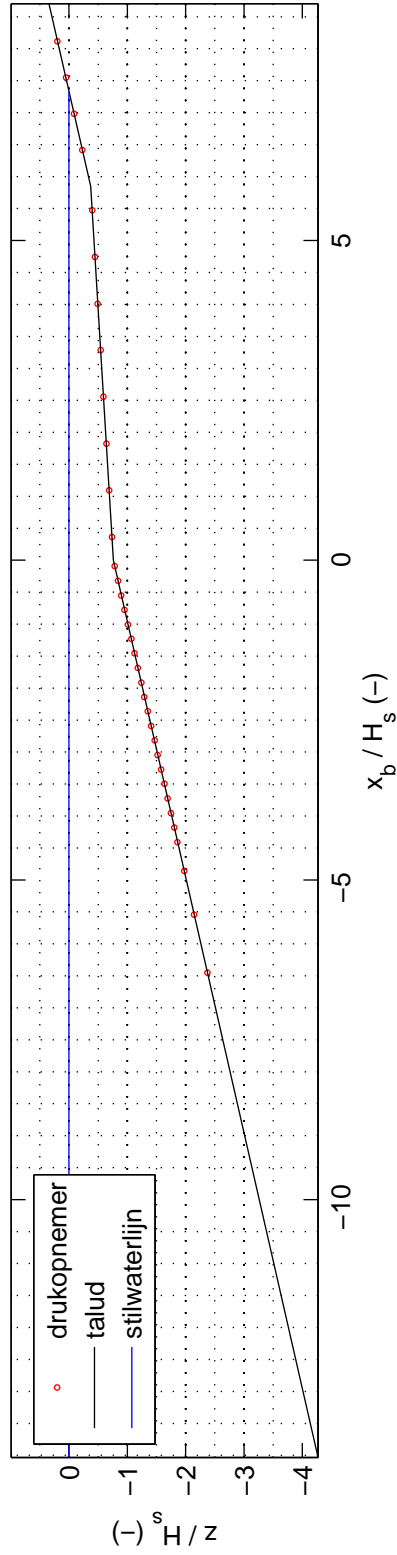
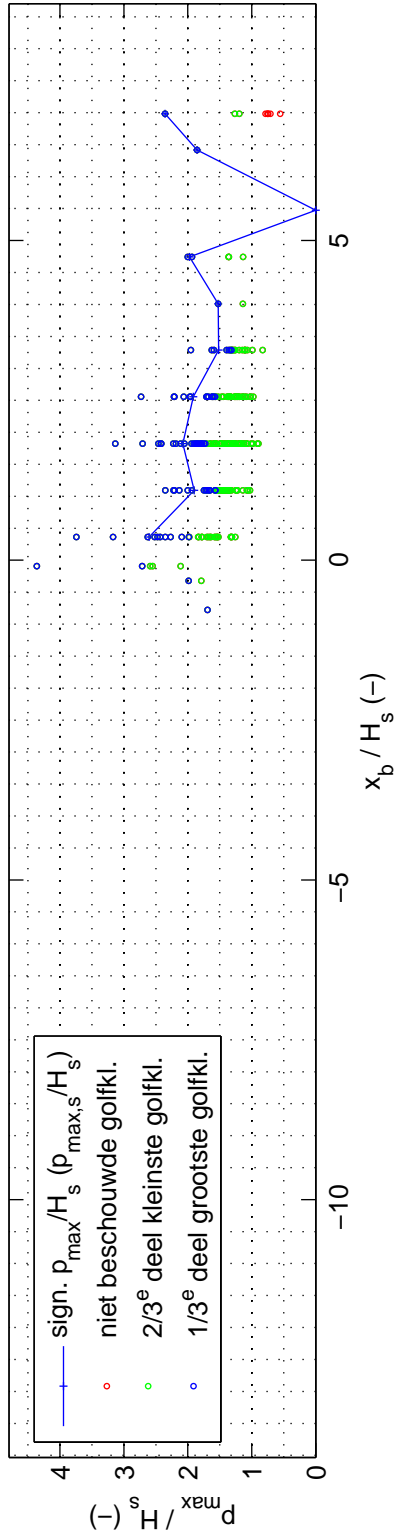
proef 4215

Deltares

1209832-014

FIG. C.71

proef 4216 ; $H_s = 0.171$ m ; $s_{op} = 0.036$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.13$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

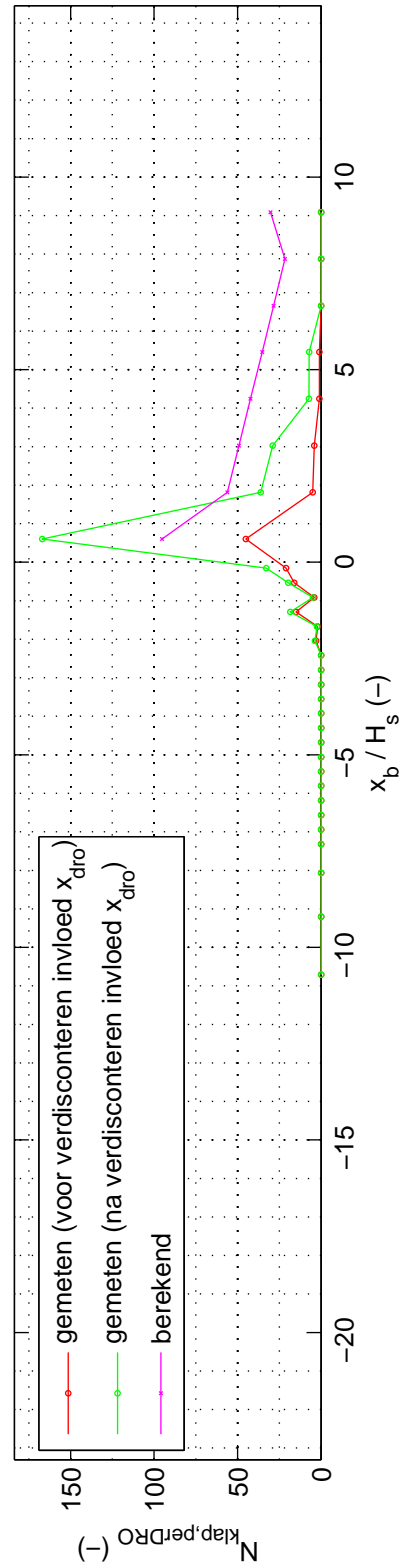
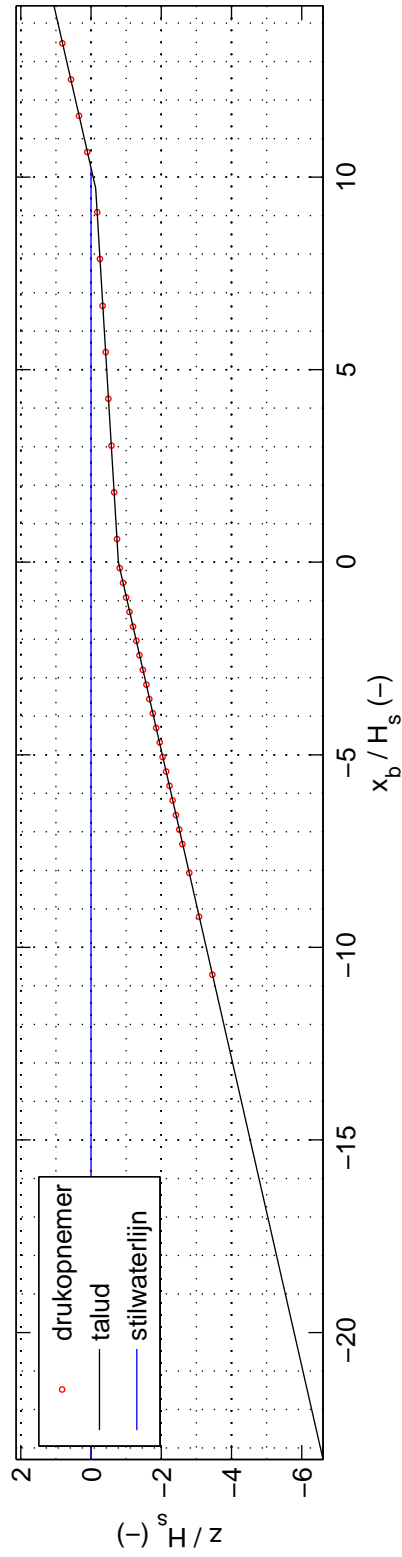
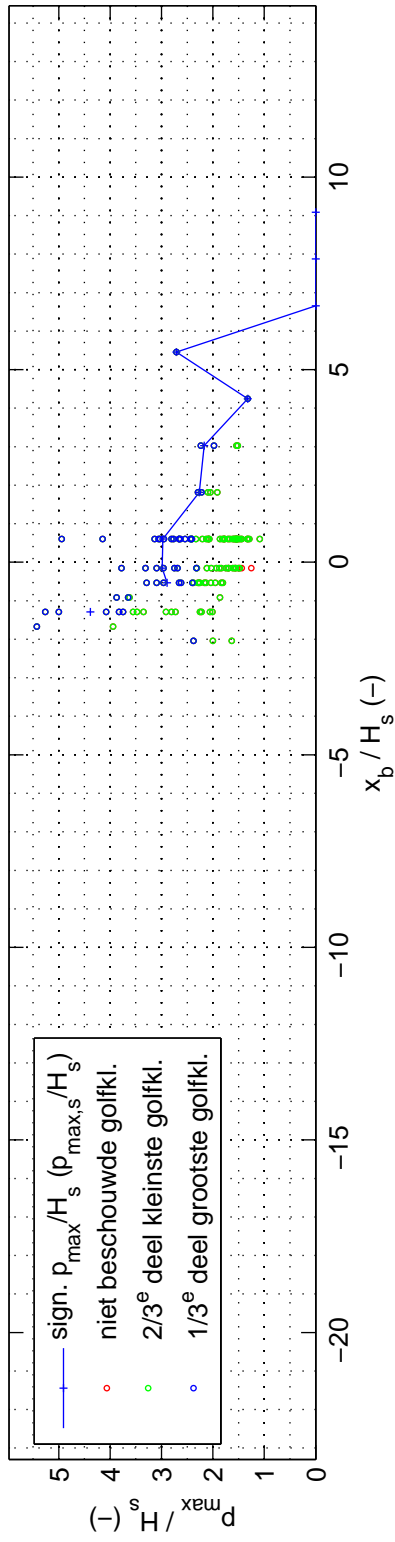
proef 4216

Deltares

1209832-014

FIG. C.72

proef 4217 ; $H_s = 0.103$ m ; $s_{op} = 0.021$; $B = 1.00$ m ; $d_B = 0.08$ m



Overzicht golfklapgroottes, modelopstelling en percentage golfklappen

proef 4217

Deltares

1209832-014

FIG. C.73