



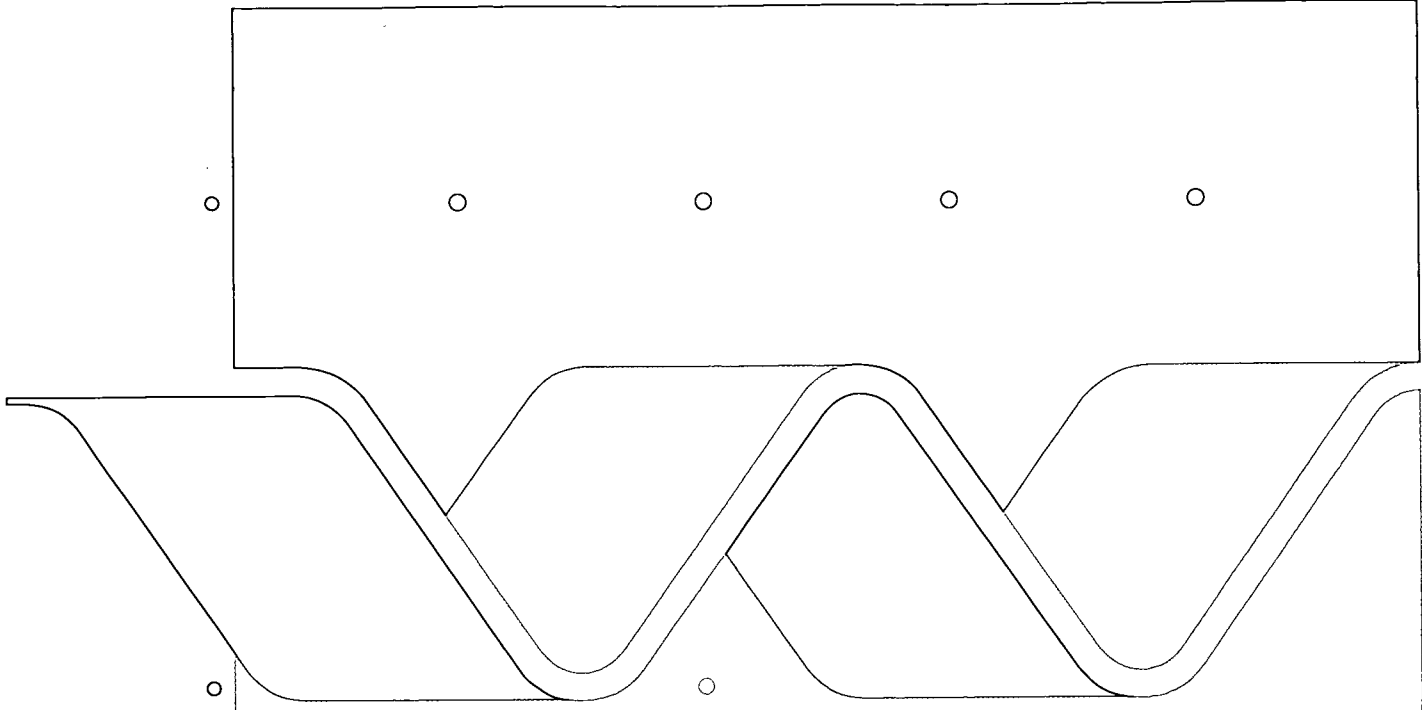
005804 2001 PZDT-R-01220 ken

Geavanceerde toetsing dijkvak met Basalton bij Bc

#PZDT01219

bestaat

niet



Opdrachtgever:

Projectbureau Zeeweringen

Geavanceerde toetsing dijkvak met

Basalton bij Borssele

juli 2001

Opdrachtgever:

Projectbureau Zeeweringen

Geavanceerde toetsing dijkvak met
Basalton bij Borssele



juli 2001



wl | delft hydraulics



OPDRACHTGEVER: Projectbureau Zeeweringen

TITEL: Geavanceerde toetsing dijkvak met Basalton bij Borssele

SAMENVATTING:

Dit rapport beschrijft de geavanceerde toetsing van de dijkvakken 531, 533 en 541 nabij Borssele, die bij gedetailleerde toetsing als twijfelachtig zijn getoetst. Dit wordt veroorzaakt door gewijzigde golfrandvoorwaarden voor de betreffende dijkvakken die beschreven staan in de memo Kamsteeg (2001).

Bij de toetsing is gebruik gemaakt van vergelijkingen met proeven uit de Deltagoot, berekeningen met ANAMOS v2.21 en berekeningen met ZSteen door GeoDelft.

REFERENTIES: Orderbon 350036

VER.	AUTEUR	DATUM	OPMERK.	REVIEW	GOEDKEURING
0	[Redacted]	05-07-2001		[Redacted] k (GeoDelft)	[Redacted]
1	[Redacted] <i>ck</i>	23-07-2001		[Redacted] <i>Ver</i>	G. Toms <i>ck</i>
PROJECTNUMMER:		H3545			
TREFWOORDEN:		Geavanceerde toetsing, Borsselepolder			
INHOUD:	TEKST	TABELLEN	FIGUREN	APPENDICES	
STATUS:	<input type="checkbox"/> VOORLOPIG	<input type="checkbox"/> CONCEPT	<input checked="" type="checkbox"/> DEFINITIEF		

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Beschrijving dijkvakken.....	2
2.1	Geometrie.....	2
2.2	Golfcondities.....	2
2.3	Maatgevende golfcondities	3
2.3.1	Dijkvak 531, sectie NAP -1.15m tot NAP +1.22m.....	3
2.3.2	Dijkvak 531, sectie NAP +1.22m tot NAP +3.41m.....	4
2.3.3	Dijkvak 533, sectie NAP +2.98m tot NAP +4.11m.....	4
2.3.4	Dijkvak 533, sectie NAP +4.11m tot NAP +4.80m.....	5
2.3.5	Dijkvak 541, sectie NAP +3.03m tot NAP +4.30 m.....	6
2.3.6	Dijkvak 541, sectie NAP +4.30m tot NAP +5.25m.....	6
3	Beoordeling van de bekledingen	7
3.1	Vergelijking met ANAMOS resultaten	7
3.2	Vergelijking met Deltagootproeven	7
3.3	Vergelijking met ZSteen resultaten.....	8
3.4	Invloed hoek van golfinval	9
4	Conclusies	12

Bijlagen

Figuren	A-1
Bijlage I.....	B-1

Lijst met figuren

- | | |
|----------|---|
| Figuur 1 | Topografisch overzicht van de onderzoekslocaties |
| Figuur 2 | Locatie Borsselepolder, dijkvak 531, dwarsdoorsnede |
| Figuur 3 | Locatie Borsselepolder, dijkvak 533, dwarsdoorsnede |
| Figuur 4 | Locatie Borsselepolder, dijkvak 541, dwarsdoorsnede |

Lijst met tabellen

- Tabel 1 Algemene kenmerken van de taludverdediging
- Tabel 2 Golfcondities Borsselepolder
- Tabel 3 Maximale golfcondities bij een maximaal vastgesteld toetspeil
- Tabel 4 Gebruikte invoer en resultaten van de ANAMOS berekeningen.

Lijst met symbolen

b	filterlaagdikte	(m)
D	toplaagdikte	(m)
D_{f15}	karacteristieke korrelgrootte van het filter	(m)
F	stabiliteitsparameter; $F = \frac{H_s}{\Delta D} \cdot \xi_{op}^{2/3}$	(-)
F_{\perp}	overeenkomstige stabiliteitsparameter bij loodrechte golfaanval	(-)
h	maatgevende waterstand t.o.v. NAP	(m)
h_{hoog}	Bovengrens van de te beoordelen taludbekleding	(m)
H_s	Significante golfhoogte	(m)
n	porositeit van het filter	(-)
T_{pm}	Gemiddelde golf piekperiode	(s)

Griekse symbolen

α	Taludhelling	(-)
ξ_{op}	Brekerparameter	(-)
ρ	soortelijke massa	(kg/m ³)
Ω	relatieve open oppervlak tussen Basaltonzuilen	(-)

I Inleiding

Projectbureau Zeeweringen te Goes heeft WL | Delft Hydraulics met hun brief van 7 juni 2001 (orderbon 350036) opdracht verleent voor het uitvoeren van een geavanceerde toetsing op de basaltbekleding van dijkvak 531, 533 en 541 nabij Borssele van km 53,00 tot 53,12, van km 53,12 tot 53,50 en van km 53,95 tot 54,14. Deze dijkvakken bleken bij de gedetailleerde toetsing als resultaat twijfelachtig op te leveren.

De geavanceerde toetsing is uitgevoerd door [REDACTED] van WL | Delft Hydraulics en [REDACTED] van GeoDelft. Het project is namens het Projectbureau begeleid door [REDACTED].

De toetsing is gebaseerd op de door de Rijkswaterstaat verstrekte tekeningen en informatie.

2 Beschrijving dijkvakken

2.1 Geometrie

De drie secties die geavanceerd getoetst zijn gelegen in de dijkvakken 531, 533 en 541 nabij Borssele van km 53,00 tot 53,12, van km 53,12 tot 53,50 en van km 53,95 tot 54,14. De dwarsprofielen zijn weergegeven in Figuur 1 tot en met Figuur 3. Ieder profiel is verticaal opgesplitst in twee niveaus. De bekleding bestaat voor dijkvakken 531 en dijkvak 533 uit basaltonzuilen ($D = 30$ cm) en voor dijkvak 541 uit basaltonzuilen met een Ecotoplaag ($D = 35$ cm) alle op een uitvullaag op een geotextiel. De bekleding is ingewassen. Specificatie van het inwasmateriaal is echter niet voor handen. De Basalton topklaag is geplaatst op een uitvullaag met een dikte van $b = 10$ cm en een korrelverdeling van 20 - 40 mm op een geotextiel.

Algemene kenmerken van de taludverdediging zijn samengevat in Tabel 1.

dijkvak	Omschrijving	ondergrens [m NAP]	bovengrens [m NAP]	dijkoriëntatie [° tov N]	taludhelling	D [m]	ρ [kg/m ³]
531	Borsselepolder	-1,15	1,22	156	1:3,1	0,30	2351
531	Borsselepolder	1,22	3,41	156	1:3,7	0,30	2351
533	Borsselepolder	2,98	4,11	155	1:3,5	0,30	2351
533	Borsselepolder	4,11	4,80	155	1:3,7	0,30	2351
541	Borsselepolder	3,03	4,30	180	1:3,5	0,35	2643
541	Borsselepolder	4,30	5,25	180	1:3,9	0,35	2643

Tabel 1 Algemene kenmerken van de taludverdediging

Voor het soortelijk gewicht is gebruik gemaakt van het vastgestelde natte soortelijk gewicht. Deze is proefondervindelijk vastgesteld, conform de geldende norm BRL 9080.

De dijkoriëntatie is gedefinieerd als de richting van een lijn loodrecht op de dijkas.

2.2 Golfcondities

De lokale golfcondities voor de dijkvakken 531, 533 en 541 zijn weergegeven in Tabel 2 voor drie waterstanden. Deze randvoorwaarden wijken af van de waarden die in 1997 zijn afgegeven. Dit is gebeurd in het kader van uniformeren van de methode van bepaling van de golftrandvoorwaarden. In deze golftrandvoorwaarden is een correctie toegepast voor stroming (Kamsteeg, 2001) (zie Bijlage 1).

randvoorwa arden vak	referentielijn	Hs [m]	Hs [m]	Hs [m]	Tpm [s]	Tpm [s]	Tpm [s]	golfinval [° tov N]
		NAP +2.0m	NAP +4.0m	NAP +6.0m	NAP +2.0m	NAP +4.0m	NAP +6.0m	
22	52,85 - 53,60	1,6	1,9	2,0	5,5	5,7	5,8	210
21	53,60 - 53,95	2,3	2,4	2,5	5,4	5,7	6,4	240
21	53,95 - 54,20	2,5	2,7	3,0	6,0	6,4	6,8	240

Tabel 2 golfcondities Borsselepolder

Bij het bepalen van de golfcondities is rekening gehouden met de maximale waterstanden die bij de verschillende windrichtingen op kunnen treden. Het toetspeil is vastgesteld bij een zware storm uit Noordwestelijke richting, terwijl de onderhavige dijkvakken een maatgevende windrichting hebben uit Westelijke of Zuidwestelijke richting. Voor deze richtingen zal het toetspeil echter niet optreden. Dit aspect is nader uitgewerkt in Bijlage 1. Het resultaat is, dat gerekend moet worden met de significante golfhoogte en gemiddelde piekperiode uit Tabel 2, maar tot het maximum zoals vermeld staat in Tabel 3. Dit maximum blijkt voor deze dijkvakken 533 en 541 maatgevend te zijn.

Dijkvak	$H_{s, \max}$ [m]	$T_{pm, \max}$ [s]	max waterstand [m +NAP]	hoek van golfinval t.o.v dijk (°)
531	1,90	5,70	5,20	54
533	1,90	5,70	5,20	55
541	2,80	6,80	5,20	60

Tabel 3 Maximale golfcondities bij een maximaal vastgesteld toetspeil

2.3 Maatgevende golfcondities

2.3.1 Dijkvak 531, sectie NAP -1.15m tot NAP +1.22m

Voor de toetsing van dit deel van de Basaltonbekleding in dijkvak 531 is gebruik gemaakt van een maatgevende waterstand die is bepaald op NAP +2.30m.

Door lineaire interpolatie van de golfcondities uit Tabel 2 als functie van de waterstand zijn de volgende maatgevende golfcondities berekend:

- Maatgevende significante golfhoogte $H_s = 1.65\text{m}$;
- Maatgevende gemiddelde piekperiode $T_{pm} = 5.53\text{s}$;

Bij deze golfbelasting kan de belasting op de Basalton met een zuilhoogte van 30 cm als volgt dimensieloos worden samengevat:

- Brekerparameter ξ_{op} :

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56 \cdot T_{pm}^2}}} = 1,74$$

- Dimensieloze golfhoogte:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = 4,24$$

- Stabiliteitsparameter

$$F = \frac{H_s}{\Delta D} \cdot \xi_{op}^{\frac{2}{3}} = 6,13$$

2.3.2 Dijkvak 531, sectie NAP +1.22m tot NAP +3.41m

Voor de toetsing van dit deel van de Basaltonbekleding in dijkvak 531 is de maatgevende waterstand voor de zuilen op NAP +3.41 m berekend met de volgende formule. Met h_{hoog} wordt de bovengrens van de te beoordelen steenzetting bedoeld.

$$h = h_{\text{hoog}} + \min \left\{ 0,11 \cdot H_s \left(\frac{1,56 \cdot T_{\text{pm}}^2 \cdot \tan \alpha}{H_s} \right)^{0,8}; 1,5 H_s \right\}$$

Berekening van de maatgevende waterstand geeft $h = +4.43$ m ten opzichte van NAP.

Wanneer met behulp van lineaire interpolatie van de golfcondities uit tabel 2 de maatgevende golfhoogte en periode werd bepaald bleken deze boven het maximum te liggen uit Tabel 3. Dit maximum is bepaald door lineaire interpolatie van de ontwerpwaterstand vermenigvuldigt met een eventuele reductie factor en de berekende waarden voor H_s en T_{pm} bij NAP +2m, NAP +4m en NAP +6m. De onderstaande significante golfhoogte en gemiddelde piekperiode zijn daarom de golfcondities die bij de maximale waterstand worden verkregen:

- Maatgevende significante golfhoogte $H_s = 1.90\text{m}$;
- Maatgevende gemiddelde piekperiode $T_{\text{pm}} = 5.70\text{s}$;

Voor het bepalen van de dimensieloze golfbelasting op de 30 cm dikke Basaltonbekleding is gebruik gemaakt van bovenstaande maatgevende significante golfhoogte en gemiddelde piekperiode

- Brekerparameter ξ_{op} :

$$\xi_{\text{op}} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56 \cdot T_{\text{pm}}^2}}} = 1,40$$

- Dimensieloze golfhoogte:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = 4,90$$

- Stabiliteitsparameter

$$F = \frac{H_s}{\Delta D} \cdot \xi_{\text{op}}^{\frac{2}{3}} = 6,12$$

2.3.3 Dijkvak 533, sectie NAP +2.98m tot NAP +4.11m

Wanneer met behulp van lineaire interpolatie van de golfcondities uit tabel 2 de maatgevende golfhoogte en periode werd bepaald bleken deze boven het maximum te liggen. De onderstaande golfhoogte en periode zijn daarom de golfcondities die bij de maximale waterstand worden verkregen:

- Maatgevende significante golfhoogte $H_s = 1.90\text{m}$;
- Maatgevende gemiddelde piekperiode $T_{\text{pm}} = 5.70\text{s}$;

Bij deze bovenstaande golfbelasting kan de belasting op de Basalton met een zuilhoogte van 30 cm als volgt dimensieloos worden samengevat:

- Brekerparameter ξ_{op} :

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56 \cdot T_{pm}^2}}} = 1,48$$

- Dimensieloze golfhoogte:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = 4,90$$

- Stabiliteitsparameter

$$F = \frac{H_s}{\Delta D} \cdot \xi_{op}^{\frac{2}{3}} = 6,35$$

2.3.4 Dijkvak 533, sectie NAP +4.11 m tot NAP +4.80m

Door lineaire interpolatie van de golfcondities als functie van de waterstand en rekeninghoudend met de maximale waarden uit Tabel 3 zijn de volgende maatgevende golfcondities berekend:

- Maatgevende significante golfhoogte $H_s = 1.90\text{m}$;
- Maatgevende gemiddelde piekperiode $T_{pm} = 5.70\text{s}$;

Bij deze golfbelasting kan de belasting op de Basalton met een zuilhoogte van 30 cm als volgt dimensieloos worden samengevat:

- Brekerparameter ξ_{op} :

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56 \cdot T_{pm}^2}}} = 1,40$$

- Dimensieloze golfhoogte:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = 4,90$$

- Stabiliteitsparameter

$$F = \frac{H_s}{\Delta D} \cdot \xi_{op}^{\frac{2}{3}} = 6,12$$

2.3.5 Dijkvak 541, sectie NAP +3.03m tot NAP +4.30 m

Door lineaire interpolatie van de golfcondities als functie van de waterstand en rekeninghoudend met de maximale waarden uit Tabel 3 zijn de volgende maatgevende golfcondities berekend:

- Maatgevende significante golfhoogte $H_s = 2.80\text{m}$;
- Maatgevende gemiddelde piekperiode $T_{pm} = 6.80\text{s}$;

Bij deze golfbelasting kan de belasting op de Basalton met een zuilhoogte van 35 cm als volgt dimensieloos worden samengevat:

- Brekerparameter ξ_{op} :

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56 \cdot T_{pm}^2}}} = 1,45$$

- Dimensieloze golfhoogte:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = 5,07$$

- Stabiliteitsparameter

$$F = \frac{H_s}{\Delta D} \cdot \xi_{op}^{\frac{2}{3}} = 6,49$$

2.3.6 Dijkvak 541, sectie NAP +4.30m tot NAP +5.25m

Door lineaire interpolatie van de golfcondities als functie van de waterstand en rekeninghoudend met de maximale waarden uit Tabel 3 zijn de volgende maatgevende golfcondities berekend:

- Maatgevende significante golfhoogte $H_s = 2.80\text{m}$;
- Maatgevende gemiddelde piekperiode $T_{pm} = 6.80\text{s}$;

Bij deze golfbelasting kan de belasting op de Basalton met een zuilhoogte van 35cm als volgt dimensieloos worden samengevat:

- Brekerparameter ξ_{op} :

$$\xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{1,56 \cdot T_{pm}^2}}} = 1,30$$

- Dimensieloze golfhoogte:

$$\frac{H_s}{\Delta D} = 5,07$$

- Stabiliteitsparameter

$$F = \frac{H_s}{\Delta D} \cdot \xi_{op}^{\frac{2}{3}} = 6,04$$

3 Beoordeling van de bekledingen

Om een eindoordeel te vellen over de stabiliteit van de te toetsen dijkvakken wordt in dit hoofdstuk de bekleding van de te toetsen dijkvakken van Borsselepolder vergeleken met ANAMOS berekeningen die gemaakt zijn met de gewijzigde randvoorwaarden. Vervolgens is de bekleding van de betreffende dijkvakken onder maatgevende omstandigheden vergeleken met proeven die gedaan zijn in de Deltagoot met vergelijkbare bekledingen. Tot slot worden de onderhavige bekledingen nagerekend met het rekenmodel ZSteen.

3.1 Vergelijking met ANAMOS resultaten

Voor de beoordeling van de bekledingen wordt eerst gekeken of met de gewijzigde golftrandvoorwaarden reeds een 'goed' beoordeling verkregen wordt. Daartoe is een berekening gemaakt met ANAMOS. Uit die berekening blijkt dat voor elk van de bekledingen de toplaag wel 'stabiel' is, maar er volgens ANAMOS geen vertrouwen is in deze stabiliteit omdat de belasting parameter F groter is dan 6. Dit resulteert derhalve in het beoordelingsresultaat 'twijfelachtig', zoals te zien is in onderstaande tabel.

	531 laag	531 hoog	533 laag	533 hoog	541 laag	541 hoog
golfhoogte (m)	1.645	1.900	1.900	1.900	2.800	2.800
golfperiode (s)	5.530	5.700	5.700	5.700	6.800	6.800
taludhelling	0.323	0.270	0.286	0.270	0.286	0.256
blokkoppervlak (m ²)	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
open oppervlak (%)	10	10	10	10	10	10
blokdikte (m)	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35
soortelijke massa (kg/m ³)	2351	2351	2351	2351	2643	2643
filterlaagdikte (m)	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
korrelgrootte (m)	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
porositeit (-)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
leklengte (m)	0.253	0.253	0.253	0.253	0.264	0.264
stabiel volgens ANAMOS?	ja	ja	ja	ja	ja	ja
F (-)	6.126	6.115	6.346	6.115	6.493	6.041
Score volgens ANAMOS	t	t	t	t	t	t

Tabel 4 Gebruikte invoer en resultaten van de ANAMOS berekeningen.

3.2 Vergelijking met Deltagootproeven

Voor de vergelijking met de te toetsen dijkvakken zijn enkele Deltagootproeven beschouwd van bekledingen die zeer vergelijkbaar zijn met de onderhavige bekledingen. Het betreft de Pit-Polygoonzuilen en de Hydroblocks die in 1998 en de zijn beproefd en een niet ingewassen Basaltonbekleding die getest is in 1983. Van al deze bekledingen bleek tijdens de proeven in de Deltagoot dat er bij een belasting met $F > 6$ minimale schade ontstond.

- Hydroblocks : $F = 7,83$;
- Pit-Polygoonzuilen : $F = 6,53$;
- Niet ingewassen Basalton : $F = 6,22$;

Deze schade voor de Pit-Polygoonzuilen en de Hydroblocks bestond uit lokale vervorming van het taludoppervlak dat resulteerde in het verschuiven van zuilen t.o.v. elkaar over een afstand van ongeveer 2 cm. Deze schade is echter nog geen bezwijken. Het moment van bezwijken trad voor Pit-polygoonzuilen en Hydroblocks pas op bij de laatste proef waarbij er een belasting groter dan $F = 10$ op te bekleding is losgelaten.

De Basaltonbekleding zonder inwassing was bij een belasting van $F = 6,2$ schade waarneembaar, maar met inwassing zal de constructie waarschijnlijk een grotere belasting kunnen weerstaan.

Uit berekening van de dimensieloze stabiliteitsparameter uit Hoofdstuk 2 blijkt dat met name het onderste deel van de bekleding van dijkvak 541 zwaar belast gaat worden tijdens de maatgevende omstandigheden. Er treedt onder maatgevende omstandigheden een belasting op met $F = 6,5$. Vergelijking met de gemeten F -waarden uit het Deltagootonderzoek geven een F -waarde van de proeven voor begin van beweging die gelijk of zelfs nog hoger liggen. Bij deze grote golfbelasting is het te verwachten dat er enige ongewenste vervorming zal optreden. De veiligheid bij loodrechte golfval zal echter nog lang niet in het geding zijn, omdat de bekleding waarschijnlijk pas zal bezwijken bij een aanzienlijk hogere belasting.

3.3 Vergelijking met ZSteen resultaten

Op basis van de golfbelasting en constructiegegevens zoals beschreven in Tabel 4 zijn ook ZSteen berekeningen uitgevoerd. ZSteen is de verbeterde versie van het numerieke onderzoeksmodel Steenzet. Het voornaamste voordeel van ZSteen ten opzichte van het analytische model ANAMOS is dat in de rekenmethode impliciet rekening wordt gehouden met de invloed van golfklappen op de top laagstabiliteit. In ANAMOS wordt hier ook een rekenprocedure voor gehanteerd, maar wordt de betrouwbaarheid van deze rekenmethodiek betwijfeld boven een waarde van de stabiliteitsparameter F van 6. Een tweede voordeel is dat ZSteen is opgezet als model dat de werkelijkheid zo dicht mogelijk benaderd (onderzoeksmodel) terwijl ANAMOS als ontwerpmodel geldt, waarbij de nodige veiligheden zijn ingebouwd.

De voordelen van ZSteen ten opzichte van het model Steenzet (waarbij in principe hetzelfde rekenhart wordt gebruikt) is dat de golfbestanden in ZSteen onregelmatig zijn (in Steenzet regelmatig) en dat de gebruikte golfbestanden beter bemeten zijn (en dus nauwkeurigere informatie geven ten aanzien van steile golffronten en de invloed van golfklappen).

Een belangrijk nadeel van ZSteen is dat het model nog niet is vrijgegeven voor de adviespraktijk. Een eerste verificatie van het model heeft plaatsgevonden, maar er zal een uitgebreidere verificatie en praktijkervaring nodig zijn voordat het model in de adviespraktijk kan worden gebruikt.

Gegeven de genoemde voordelen van ZSteen en gezien de bij GeoDelft aanwezige expertise met betrekking tot de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van het rekenmodel zijn toch berekeningen uitgevoerd met het model. Deze rekenresultaten mogen niet worden gezien als 'maatgevend' of als 'beste oordeel', maar kunnen wel worden gezien als richtinggevend en mede-ondersteunend bij het verstrekken van het definitieve advies.

De berekeningen hebben zich geconcentreerd op het dijkvak 541. De overige dijkvakken zijn met de gegeven waarden uit Tabel 4 doorgerekend en geven zonder uitzondering een stabiele steenzetting als resultaat. Voor dijkvak 541 zijn aanvullende berekeningen uitgevoerd om na te gaan hoe gevoelig het resultaat is voor verandering in blokdikte, open oppervlak en golfhoogte. De conclusie uit deze berekeningen is dat ZSteen een stabiele steenzetting vindt tot een waarde van de stabiliteitsparameter $F = 8,2$. Een tweede conclusie die de rekenresultaten laten zien is dat de golfterugtrekking (en daarmee het mechanisme 'overdrukken onder de bekleding ten gevolge van een steil golffront') in het filter door deze open bekleding goed kunnen worden gevolgd, en dus weinig overdrukken geven. Rondom het tijdstip van de golfklap ontstaan de maximale verschillen. De golfklap is dus duidelijk maatgevend voor de stabiliteit van de steenzetting.

De gevonden F -waarde staat voor een extreem hoge stabiliteit. In zijn algemeenheid houdt de betrouwbaarheid van de huidige rekenmodellen op bij een F -waarde van 6. Aan de andere kant kan worden gesteld dat de rekenresultaten in grote lijnen in overeenstemming is met de Deltagootresultaten. Er zal wel de nodige reserve moeten worden gehanteerd, omdat ook bij de nieuwe en verbeterde onregelmatige golfbestanden in ZSteen sprake is van een beperkte mate van meetdichtheid en er bovendien sprake kan zijn van schaaleffecten ten aanzien van golfklappen waar op dit moment nog onvoldoende onderzoek naar is gedaan.

3.4 Invloed hoek van golfinval op stabiliteit

Gezien het feit dat de belasting bij deze dijkvakken een F -waarden heeft die groter is dan 6, moet er uiterst behoedzaam getoetst worden. Voordat er tot een goedkeuring kan worden overgegaan zullen ook bijzondere aspecten die normaal niet worden meegenomen bij de toetsing zo goed mogelijk meegeteld moeten worden. Een aspect dat bij deze dijkvakken een belangrijke rol kan spelen is de invloed van de hoek van golfaanval.

Voor de dijkvakken geldt dat de lokale golfvoortplantingsrichting nabij de dijk zodanig is dat de hoek van golfaanval t.o.v. de dijk hier 54° tot 60° is. Het scheef invallen van de golven heeft enerzijds een positieve invloed op de belasting, en anderzijds een negatieve invloed:

- De golven zullen de dijk bereiken nadat ze direct vóór de dijk (binnen enkele tientallen meters van de waterlijn) door refractie en diffractie zijn bijgedraaid. Beide processen gaan gepaard met een verlies aan golfhoogte. In feite komt het erop neer dat de golfenergie, die oorspronkelijk in een smalle strook aanwezig was, bij de dijk wordt uitgesmeerd over een langer stuk dijkbekleding. De golven komen daardoor met een kleinere hoek op de bekleding en de golfhoogte is lager.
- Op basis van geschematiseerde numerieke simulaties is door Bezuijen (2000) de stabiliteit van een bekleding bij scheve golfaanval geschat. Deze berekeningen suggereren een lagere stabiliteit bij scheve golfaanval dan bij loodrechte golfaanval. Daarbij is de richting van de golven op het moment van breken maatgevend. Er is berekend dat bij een hoek van golfinval van 60° de belasting ongeveer 40% hoger is dan bij loodrechte golfinval. Bij een hoek van 40° is dit nog ongeveer 30%.

Ook de indicatieve berekeningen van Bezuijen (2000) op basis van tijdens regelmatige golfaanval gemeten drukken geven de indruk dat er sprake is van twee elkaar

tegenwerkende invloeden, waarbij bij zeer grote invalshoeken de eerst genoemde invloed het wint van de tweede, maar bij kleine hoeken is de tweede invloed dominant.

De afname van de golfhoogte op het moment dat de golven het talud bereiken is thans moeilijk te kwantificeren. Gezien de korte tijd dat de golven de gelegenheid hebben om zich aan te passen aan de veranderende waterdiepte wanneer zij de teen van de dijk gepasseerd zijn, doet vermoeden dat de vermindering van de golfhoogte geringer is dan zal volgen uit de formules voor refractie van golven. Met dit in gedachten is geschat dat de golven op het moment van breken een hoek van 30° à 45° maken met de dijknormaal, waarbij de golfhoogte gereduceerd is met ongeveer 10% à 20%.

Het gecombineerde effect van de scheve golfaanval zou dus een netto vergroting van de belasting van ongeveer 10 à 20% kunnen geven. Helaas is er thans zo weinig bekend over deze processen, laat staan het combineren van de positieve en negatieve invloed, dat deze percentages gezien moeten worden als een zeer ruwe schatting. Ondanks deze ruwe schatting is gekozen om het effect van scheve golfval wel mee te nemen in deze toetsing. Aannemende dat de golfhoogte met ongeveer 10 à 20% vergroot moet worden om de belasting bij scheve golfaanval te kunnen vergelijken met die bij loodrechte golfaanval, zou de belasting parameter F vergroot moeten worden met 7 à 13% omdat F evenredig is met $H^{2/3}$. Gezien de grote onzekerheid omtrent de invloed van scheve golfaanval wordt de huidige toetsing uitgevoerd met een 15% hogere F - waarde.

Voor de onderhavige dijkvakken is de overeenkomstige F - waarde bij loodrechte golfaanval derhalve:

- dijkvak 531 laag: $F_{\perp} = 7,1$
- dijkvak 531 hoog: $F_{\perp} = 7,0$
- dijkvak 533 laag: $F_{\perp} = 7,3$
- dijkvak 533 hoog: $F_{\perp} = 7,0$
- dijkvak 541 laag: $F_{\perp} = 7,5$
- dijkvak 541 hoog: $F_{\perp} = 6,9$

Deze waarden kunnen vergeleken worden met de ZSteen en Deltagoot resultaten.

3.5 Stabiliteitsbeschouwing

Voor de geavanceerde toetsing van de dijkvakken bij Borssele is gebruik gemaakt van gewijzigde golfrandvoorwaarden, zoals is beschreven in Paragraaf 2.2 van dit rapport. De stabiliteit van de toplaag is met de gewijzigde golfrandvoorwaarden volgens ANAMOS stabiel, echter er is geen vertrouwen in dit resultaat, omdat de belasting parameter F groter is dan 6. Het beoordelingsresultaat van de gedetailleerde toetsing is derhalve 'twijfelachtig'.

Voor de dijkvakken geldt dat de lokale golfvoortplantingsrichting nabij de dijk zodanig is dat de hoek van golfaanval t.o.v. de dijk hier 54° tot 60° is. Het scheef invallen van de golven heeft enerzijds een positieve invloed op de belasting, en anderzijds een negatieve invloed. Met behulp van de resultaten van numerieke simulaties van Bezuijen (2000) en een ruwe schatting van de golfhoogtereductie door lokale refractie is een ruwe schatting gemaakt van de overeenkomstige belasting parameter F_{\perp} bij loodrechte golfaanval die een

gelijke belasting geeft als de onderhavige scheve golfaanval: $F_{\perp} \approx 1,15F$. Helaas is er thans zo weinig bekend over de optredende processen, laat staan het combineren van de positieve en negatieve invloed, dat dit gezien moeten worden als een zeer ruwe schatting.

Als gebruik gemaakt wordt van bovenstaande schatting van de invloed van scheve golfaanval wordt voor de onderhavige dijkvakken een waarde voor F_{\perp} gevonden tussen 6,9 en 7,5. Ten aanzien van de stabiliteit geldt het volgende:

- Volgens de berekeningen met ZSteen zou de bekleding nog stabiel zijn tot $F_{\perp} = 8,2$.
- Uit de Deltagootproeven is echter gebleken dat een goed ingewassen steenzetting reeds enige ongewenste vervorming ondergaat bij $F_{\perp} \approx 6,5$. De bekleding bezwijkt echter volgens de Deltagootproeven pas bij $F_{\perp} \approx 10$.
- Verder is gemeten in de Deltagoot dat niet ingewassen Basalton reeds schade geeft bij $F_{\perp} = 6,2$.

Uit het vergelijken van de optredende waarden van F_{\perp} onder maatgevende omstandigheden en de resultaten van ZSteen en de Deltagoot, kan geconcludeerd worden dat de bekledingen onder maatgevende omstandigheden een ongewenste vervorming ondergaan, maar nog niet bezwijken mits de inwassing in goede staat verkeert. Daardoor is de veiligheid niet in het geding en kan de bekleding 'goed' gekeurd worden.

Het wordt ten zeerste aanbevolen om deze conclusie te verifiëren als er meer bekend is over de invloed van scheve golfaanval. Tevens is het essentieel dat geregeld, en zeker bij elke toetsing, de staat van de inwassing gecontroleerd wordt.

4 Conclusies

Van drie dijkvakken nabij Borssele, dijkvak 531, dijkvak 533 en dijkvak 541 is na het uitvoeren van een gedetailleerde toetsing gebleken dat hier als resultaat 'twijfelachtig' werd getoetst. Dit onderzoek beschrijft de geavanceerde toetsing zoals deze is uitgevoerd door WL | Delft Hydraulics en GeoDelft.

De stabiliteit van de toplaag is met de nieuwe golfrandvoorwaarden van RIKZ volgens ANAMOS stabiel, maar er is geen vertrouwen in dit resultaat, omdat de belasting parameter F groter is dan 6. Het beoordelingsresultaat van de gedetailleerde toetsing is derhalve 'twijfelachtig'. Gezien het feit dat de belasting bij deze dijkvakken een F -waarde heeft die groter is dan 6, is er uiterst behoedzaam getoetst: ook bijzondere aspecten, die normaal niet worden meegenomen, zijn bij de toetsing zo goed mogelijk meegeteld. Een aspect dat bij deze dijkvakken een belangrijke rol speelt, is de invloed van de scheve golfaanval.

Uit het vergelijken van de optredende belasting onder maatgevende omstandigheden en de resultaten van ZSteen en de Deltagoot, rekening houdend met scheve golfaanval, kan geconcludeerd worden dat de bekledingen onder maatgevende omstandigheden een ongewenste vervorming ondergaan, maar nog niet bezwijken mits de inwassing in goede staat verkeert. Daardoor is de veiligheid niet in het geding en kan de bekleding 'goed' gekeurd worden.

Het is essentieel dat geregeld, en zeker bij elke toetsing van de onderzochte dijkvakken, de staat van de inwassing gecontroleerd wordt.

Over de invloed van scheve golfinval op de stabiliteit van steenzettingen is op het moment van gereedkomen van dit rapport nog weinig bekend. Het wordt ten zeerste aanbevolen om de invloed van de scheve golfinval nader te onderzoeken en de resultaten hiervan te betrekken bij toetsingen en zeker bij toetsing van de onderhavige bekledingen.

Referenties

Bezuijen, A (2000).

Invloed scheve golfaanval op steenzetting. rapport GeoDelft CO-389240/24 versie 3, oktober 2000.

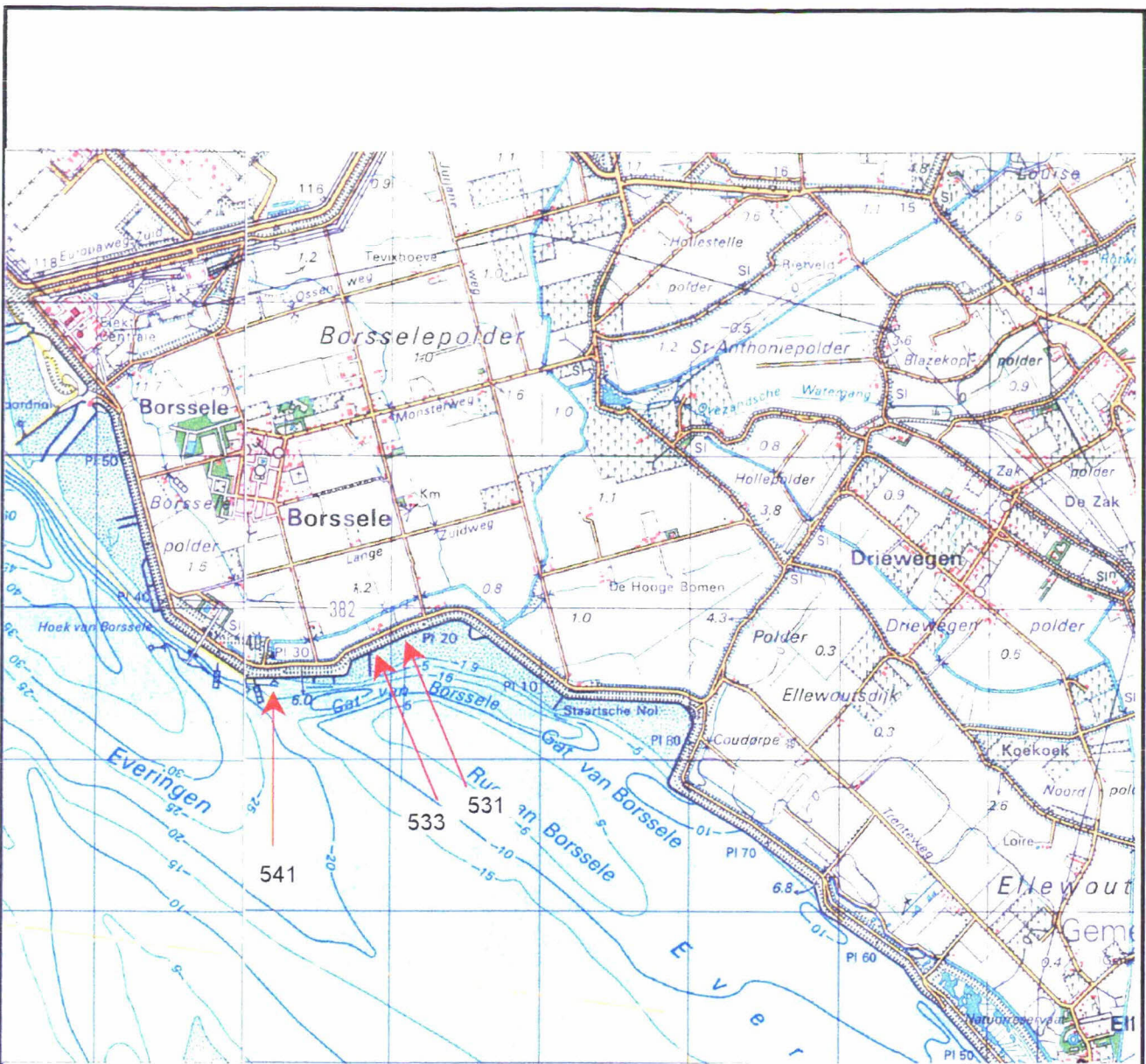
Kamsteeg, A (2001).

Memo Randvoorwaarden Borssele. k-01-05-37, mei 2001.

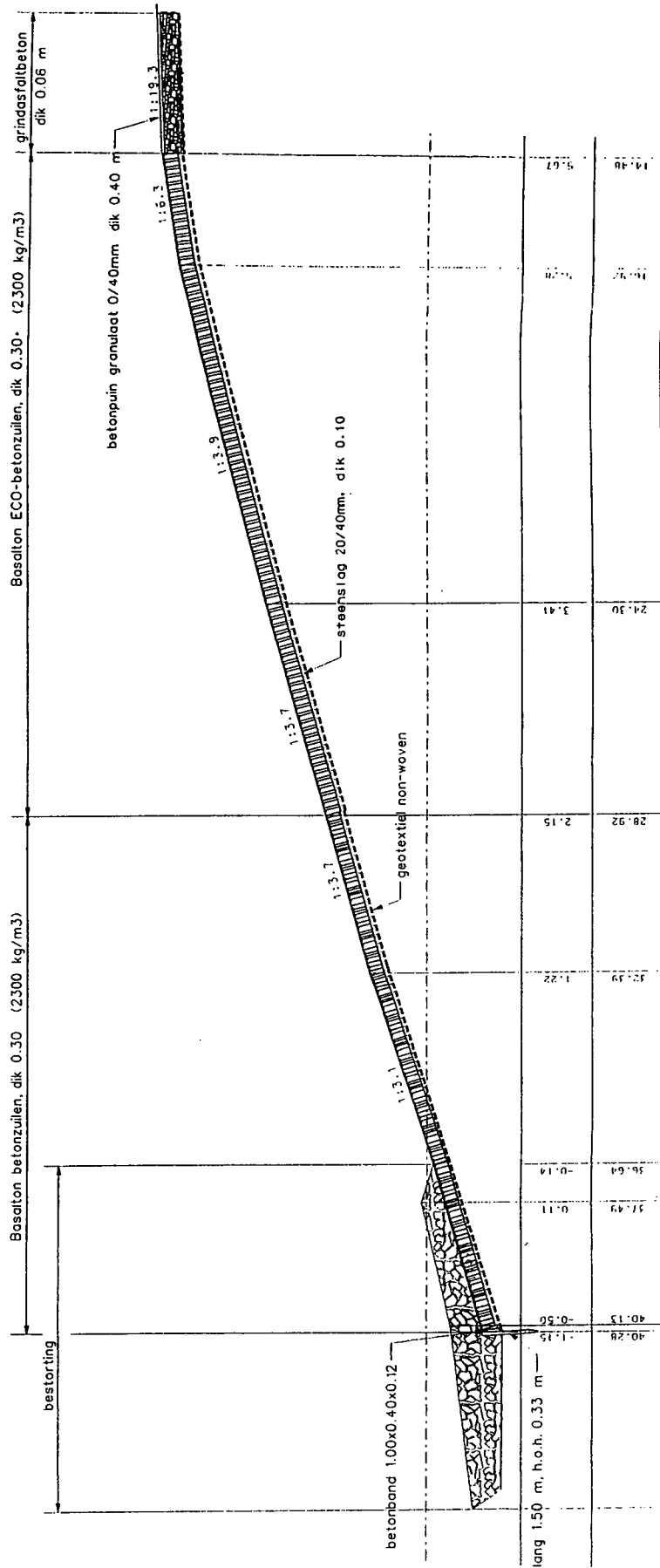
RIKZ (2001).

Golfberekeningen Oosterschelde. RIKZ/2001.06, 2001.

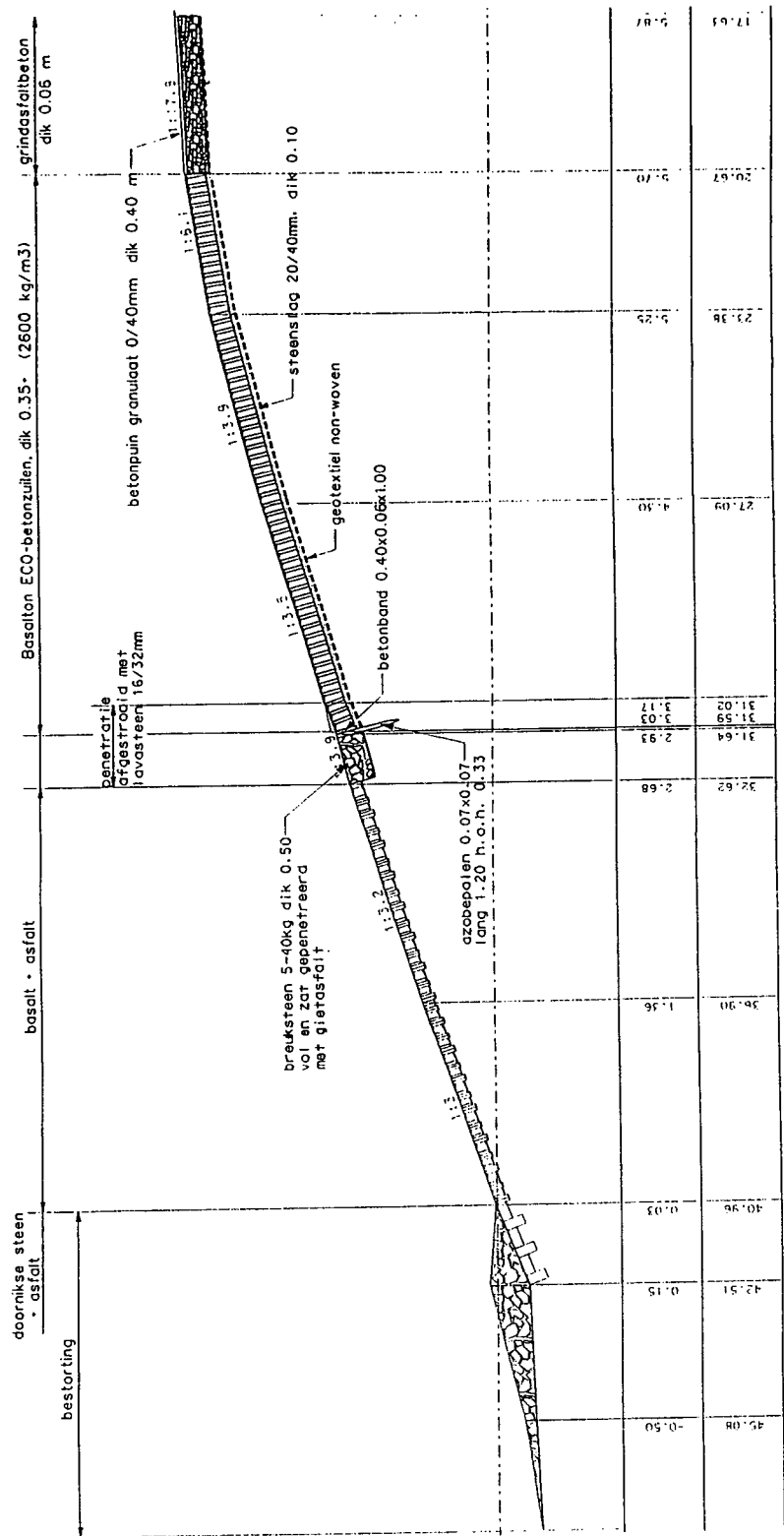
Figuren



Topografisch overzicht van de
onderzoeks locaties



Locatie Borsselepolder, dijkvak 531
dwarsdoorsnede



Locatie Borsselepolder, dijkvak 541
dwarsdoorsnede

Bijlage I

Memo

Werkgroep

Kennis



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Projectbureau Zeeweringen

Betreft (actie en nr.)
89, Randvoorwaarden Borssele

Vraagsteller

Intern

Beantwoord door

[REDACTED]

Doorkiesnummer

[REDACTED]

Status

definitief

Datum

-

Datum

7-05-2001

Bijlage(n)

-

Kenmerk

k-01-05-37

Inleiding

In 1997 zijn in het kader van het project Zeeweringen voor het dijkvak Borssele, als eerste dijkvak in de Westerschelde, golfrandvoorwaarden bepaald (lit. 1 en 2). Voor het bepalen van deze randvoorwaarden is o.a. gebruik gemaakt van resultaten van berekeningen met de golfmodellen HGENER, HISWA en ENDEC. Later zijn ook voor de overige dijkvakken langs de Westerschelde golfrandvoorwaarden bepaald. Hierbij is echter gebruik gemaakt van het (toen net gereedgekomen) golfmodel SWAN. Het SWAN model is veel geavanceerder dan bovengenoemde modellen. De specificaties van het golfmodel SWAN en de wijze waarop dit model wordt toegepast voor de berekening van golfrandvoorwaarden is o.a. beschreven in lit 3, 4 en 5. Het golfmodel SWAN is de huidige RIKZ standaard voor het berekenen van golfbelastingen voor waterkeringen.

Golfrandvoorwaarden Borssele volgens huidige inzichten (2001)

Recent zijn, vanwege het uniformeren van de methode van bepaling van golfrandvoorwaarden, de golfrandvoorwaarden op de Westerschelde opnieuw bepaald. Hierbij zijn ook voor het dijkvak Borssele opnieuw golfrandvoorwaarden berekend met behulp van het golfmodel SWAN (zie tabel 1). Deze golfrandvoorwaarden wijken voor het dijkvak Borssele af van de waarden die in 1997 zijn afgegeven (lit. 1 en 2).

Tabel 1: Randvoorwaarden Borssele

dijkvak	dijkvakscheidingscoördinaten				referentielijn		golfhoogte Hs (m)				golfperiode Tpm (s)			
	x-van	y-van	x-tot	y-tot	van	tot	+2m	+4m	+6m	max	+2m	+4m	+6m	max
25	43030	381302	42284	381408	51,0	51,8	1,5	2,0	2,2	2,0	5,7	6,0	6,3	6,2
24	42284	381408	41577	381858	51,8	52,7	1,7	2,0	2,3	2,0	5,5	5,8	6,1	6,0
23	41577	381858	41364	381920	52,7	52,85	1,3	1,7	1,9	1,7	5,5	5,8	5,9	5,8
22	41364	381920	40689	381619	52,85	53,6	1,6	1,9	2,0	1,9	5,5	5,7	5,8	5,7
21	40689	381619	40350	381880	53,6	53,95	2,3	2,4	2,5	2,4	5,4	5,7	6,4	6,1
21	40350	381880	40071	381548	53,95	54,2	2,5	2,7	3,0	2,8	6,0	6,4	6,8	6,8

Projectbureau Zeeweringen

Postadres p/a postbus 114, 4460 AC Goes

Bezoekadres p/a waterschap Zeeuwse Eilanden,

Piet-Heinstraat 77 Goes

Het project Zeeweringen wordt uitgevoerd i.s.m. de Zeeuwse waterschappen en de provincie Zeeland.

Vanaf NS station richting centrum, na 150 m. rechts.

Telefoon (0113) 24 13 70

Telefax (0113) 21 61 24



De golfrandvoorwaarden op basis van de huidige inzichten wijken af van de in 1997 afgegeven waarden. De golfhoogten zijn overwegend hoger dan in 1997 (m.n. dijkvak 21 en 22) en de nieuwe golfperioden zijn lager (de randvoorwaarden uit 1997 hadden een constante T_p van 8,4 s). Naast het feit dat er met andere modellen en uitgangspunten is gerekend dan in 1997 zijn er nog een tweetal oorzaken te noemen die deze verschillen verklaren:

- In de bepaling van de randvoorwaarden volgens de huidige inzichten is de invloed van stroming meegenomen. Dit heeft (vooral voor dijkvak 21) een verhoging van de H_s tot gevolg.
- Volgens de huidige inzichten wordt als golfrandvoorwaarde de T_{pm} gegeven. Deze waarde wordt bepaald uit het berekende golfspectrum. De waarde uit 1997 is overgenomen uit het randvoorwaardenboek 1996.

Bepaling van de golfrandvoorwaarden

De bepaling van de golfrandvoorwaarden voor het dijkvak Borssele op basis van de huidige inzichten is identiek aan de manier waarop voor een groot deel van de Westerschelde de golfrandvoorwaarden zijn bepaald (lit 5). De golfrandvoorwaarden zijn gegeven voor 3 waterstanden: NAP +2m, NAP +4m en NAP +6m (zie tabel 1). Er is een correctie toegepast voor de invloed van stroming. Tevens zijn er randvoorwaarden gegeven waarbij rekening is gehouden met de maximaal mogelijke waterstand per windrichting (kolom "max" in tabel 1). Deze methode van maximaal mogelijke waterstand per windrichting is ook toegepast bij het bepalen van golfbelastingen voor dijkbekledingen in de Oosterschelde (lit 6).

Golfrandvoorwaarden bij maximaal mogelijke waterstand per windrichting

Bij de start van het project is als uitgangspunt genomen dat bij de golfrandvoorwaarden voor de Westerschelde worden bepaald bij 3 vaste waterstanden (NAP +2m, NAP +4m en NAP +6m). Bij het ontwerp wordt tussen deze 3 waterstanden geïnterpoleerd. De bekleding wordt dan aangelegd tot het ontwerppeil. Deze methode is soms conservatief, omdat dit ontwerppeil alleen voor Noordwestelijke windrichtingen realistisch is. Als de maatgevende windrichting dus niet uit het Noordwesten komt, is het toepassen van die golven bij het ontwerppeil te conservatief.

Dit probleem is bij het bepalen van de golfbelastingen voor de Oosterschelde ook geconstateerd. Hiervoor is een methode bedacht die rekening houdt met de maximale waterstand die bij een bepaalde windrichting kan optreden. Deze methode is beschreven in het rapport "Golfberekeningen Oosterschelde" (lit. 6, paragraaf 7.3). Volgens deze methode wordt voor elke windrichting een reductiefactor t.o.v. het ontwerppeil bepaald. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de richtingsafhankelijke waterstandstatistiek voor een aantal punten in de Westerschelde (lit. 7). Voor de Westerschelde is dit gedaan voor de locaties Vlissingen en Hansweert. De reductiefactoren bij verschillende windrichtingen zijn voor Vlissingen en Hansweert vrijwel identiek. Voor het dijkvak Borssele (ligt tussen Vlissingen en Hansweert in) zijn daarom dezelfde reductiefactoren toegepast (zie tabel 2).

Voor windrichtingen tussen 285° en 330° is de reductiefactor 1, wat betekent dat het ontwerppeil uit die windrichtingen wel kan optreden.

De maximale waarde van H_s en T_{pm} wordt als volgt bepaald:

1. De maximale waterstand die bij een windrichting kan optreden wordt bepaald door het ontwerppeil te vermenigvuldigen met de reductiefactor.
2. De H_s en T_{pm} bij die maximale waterstand wordt verkregen door interpolatie tussen de berekende waarden bij NAP +2m, NAP +4m en NAP +6m.



Tabel 2: Reductiefactoren t.o.v. ontwerppeil voor bepaling golfrandvoorwaarden bij maximale waterstand

windrichting	reductiefactor
30	0,7
60	0,7
90	0,7
120	0,7
150	0,7
180	0,7
210	0,7
240	0,8
270	0,9
285	1
300	1
315	1
330	1
360	0,8

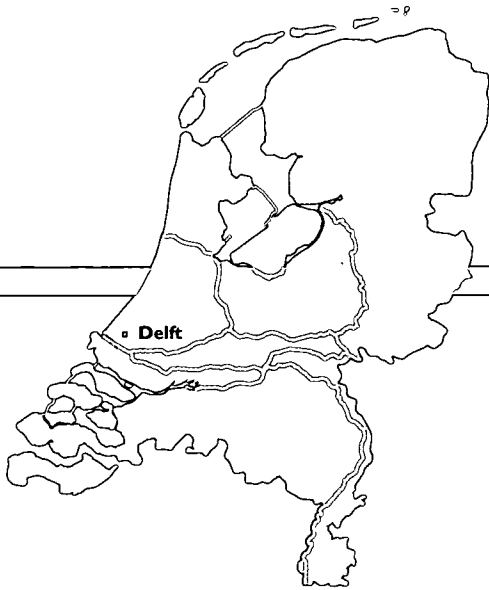
Voor het dijkvak Borssele zijn vooral de windrichtingen uit West en Zuidwest maatgevend. Hier zijn reductiefactoren van 0,7 tot 0,9. Aangezien het toetspeil NAP +5,7m is, komt de maximale waterstand voor die windrichtingen uit tussen NAP +4m en NAP +5,2m ($0,7 * 5,7m$ en $0,9 * 5,7m$). De Hs en Tpm bij die waterstand zijn lager dan de Hs en Tpm bij NAP +6m.

Voor alle dijkvaksegmenten zijn de Hs en Tpm bij de maximale waterstand gegeven in tabel 1 (kolom "max").

Gebruik van de golfrandvoorwaarden Borssele

De golfrandvoorwaarden voor het dijkvak Borssele, zoals gegeven in tabel 1, mogen voor het ontwerpen van dijkbekledingen worden toegepast op de manier zoals gebruikelijk is binnen het projectbureau Zeeweringen. Bij de interpolatie van de randvoorwaarden tussen NAP +4m en NAP +6m moet er echter voor worden gezorgd dat de toegepaste Hs en Tpm nooit hoger zijn dan de waarden in de "max" kolom.

- Lit. 1. Golfrandvoorwaarden dijkvak Borsselepolder, RIKZ/AB-96.868x
- Lit. 2. Dijkbekleding dijkvak Borssele; advies golfbelasting, RIKZ/AB-97.801x
- Lit. 3. Betrouwbaarheid golfmodellen HISWA en SWAN in de Westerschelde, RIKZ/OS-97.112x
- Lit. 4. Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde gegeven een 1/4000 windsnelheid, RIKZ-97.046
- Lit. 5. Golfrandvoorwaarden op de Westerschelde gegeven een 1/4000 windsnelheid, RIKZ-98.018
- Lit. 6. Golfberekeningen Oosterschelde, RIKZ/2001.06
- Lit. 7. Richtingsafhankelijke extreme waarden voor HW-standen, golfhoogten en golfperiodes, RIKZ/2000.040



WL | Delft Hydraulics

**Rotterdamseweg 185
postbus 177
2600 MH Delft
telefoon 015 285 85 85
telefax 015 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

**Rotterdamseweg 185
p.o. box 177
2600 MH Delft
The Netherlands
telephone +31 15 285 85 85
telefax +31 15 285 85 82
e-mail info@wldelft.nl
internet www.wldelft.nl**

