

# Verhoging Waterkering Elahuizen

*Een onderzoek naar de inpassingproblematiek*

## Eindrapport

Delft Oktober 2004

### **Projectgroep CF34**

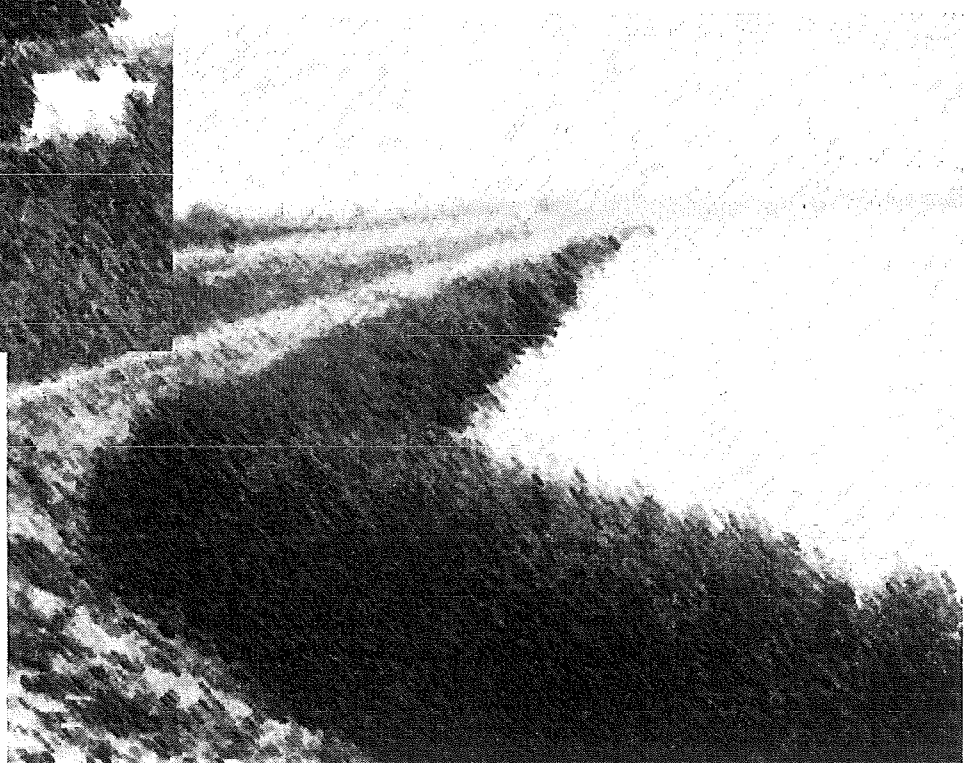
E.A. van Blaaderen

M. Mertens

R.P. van Oosten

I. van der Plicht

M.L. Redeker



## Voorwoord

Voor u ligt het eindverslag "Verhoging waterkering Elahuizen" dat in het najaar 2004 door de projectgroep CF34 is opgesteld in het kader van het Master Project van de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft.

Dit rapport is onderverdeeld in vier delen. De hoofdstukken 1 t/m 4 geven een inleiding tot het project.

In deel A (hoofdstuk 5 t/m 9) wordt een vooronderzoek beschreven naar de technische normen en bijbehorende reductiemaatregelen waarmee een waterkering wordt ontworpen. Deze normen worden vergeleken met de gebruikte methoden in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]).

Vervolgens worden er in deel B (hoofdstuk 10 tot en met 13) verschillende alternatieven ontworpen voor het projectgebied. Dit gebied is opgesplitst in drie delen: de waterkering bij het bungalowpark 't Zwin (hoofdstuk 11), het strandje aan het bungalowpark (hoofdstuk 12) en de waterkering ter plaatse van de jachthaven (hoofdstuk 13).

In deel C (hoofdstuk 14) worden de resultaten van het onderzoek geëvalueerd. Dit resulteert in een samenvatting van deel B en een inventarisatie van de beperkingen en tekortkomingen van het onderzoek.

De projectgroep wil de volgende personen bedanken voor de medewerking:

**Begeleiders:**

Dhr. Ir. H.J. Verhagen  
Dhr. Prof. Dr. Ir. M.J.F. Stive

**Betrokkenen:**

Dhr. S. Osinga, Wetterskip Fryslân  
Dhr. J. Niemeijer, Arcadis  
Mevr. A. Nauta, contactpersoon vereniging van eigenaren Elderskar  
Mevr. A. Bleeker, contactpersoon vereniging van eigenaren Elderskar  
Dhr. E. Koopman, contactpersoon vereniging van eigenaren Elderskar

Namens projectgroep CF34,  
Egbert A. van Blaaderen  
Marcel Mertens  
Reinoud P. van Oosten  
Nander van der Plicht  
Marcel L. Redeker

Delft, 20 oktober 2004

## Samenvatting

In het Integraal Waterbeheersplan Friese Waterschappen is aangegeven dat ongeveer 50% van de kaden in Friesland niet aan de gestelde veiligheidseisen voldoet. Naar aanleiding van dit plan is het Wetterskip Fryslân het projectbureau Oevers en Kaden opgericht die het rapport Technische Normen Friese Kaden hebben uitgebracht. In dit rapport wordt een berekeningsmethode beschreven voor de berekening van de kruinhoogte van kades. In het kader van het opstellen van deze technische normen is het niet de bedoeling geweest om individuele kaden door te rekenen. De berekeningen zijn daarom op een vrij hoog abstractieniveau uitgevoerd.

Het rapport Technische Normen Friese Kaden geeft ook een rekenregel om de kades rond de Fluessen te kunnen bepalen. Het Friese dorp Elahuizen is gelegen aan de oostelijke oever van dit uitgestrekte meer. Het Wetterskip Fryslân heeft berekend dat de kades in dit gebied met ongeveer 0,5m moeten worden verhoogd tot 1,0m +NAP. De geplande verhoging van de waterkering door het Wetterskip Fryslân betekent voor het aanwezige bungalowpark en de jachthaven in Elahuizen een ingrijpende verandering in de bestaande situatie. De bewoners van het bungalowpark zijn het daarom ook niet eens met de voorgenomen kadeverhoging en vonden dat er gezocht moest worden naar een passende oplossing voor hun stukje kade.

De projectgroep 'CF34' is in het kader van het Master Project van de Technische Universiteit Delft gevraagd om diverse oplossingen te bedenken voor de waterkering langs het bungalowpark en rond de jachthaven. Deze oplossingen moeten technisch aan de wensen van alle betrokken partijen voldoen. Een grote wens van de bewoners van het bungalowpark 't Zwin is met name een vrij uitzicht te behouden over de Fluessen en verder moet gestreefd worden naar behoud van de recreatiemogelijkheden op deze locatie. Het Wetterskip Fryslân is geïnteresseerd in een veilige oplossing die voldoet aan de gestelde normen.

Door de indeling van de kaden in klassen is het mogelijk dat de kruinhoogte, berekend met het rapport Technische Normen Friese Kaden, voor het stuk kade bij het bungalowpark en de jachthaven hoger zijn dan noodzakelijk. Dit master project is er daarom op gericht om een passende, (reken-)technische oplossing te vinden voor het stuk kade bij het bungalowpark en rond de jachthaven.

In het vooronderzoek is de door het Wetterskip Fryslân gebruikte berekeningsmethodiek gecontroleerd. Geconcludeerd kan worden uit dit onderzoek dat de gebruikte methode correct is volgens de toen geldende TAW-richtlijnen. Daarnaast moet wel opgemerkt worden dat door de indeling in klassen de kades soms fors overgedimensioneerd worden. Het is daarom beter om alle kades individueel uit te rekenen met de juiste invoerparameters. Een onjuiste aanname in het rapport is dat de piekgolfperiode en de significante golfperiode aan elkaar gelijkgesteld zijn.

Vervolgens is getracht de kruinhoogte te minimaliseren door een herberekening van de kruinhoogte te doen. In deze herberekening werden nauwkeurigere invoerparameters toegepast en golfoploop- en/of golfreducerende maatregelen genomen. In totaal zijn er tien alternatieven naar voren gekomen ter vervanging van de voorgenomen verhoging van de waterkering ter plaatse van het bungalowpark. Elk van de alternatieven voldoet aan de huidige veiligheidsnormen en het gestelde veiligheidsniveau. Daarnaast is er voornamelijk een oplossing geboden aan het uitzichtbederf die de voorgenomen verhoging van de waterkering tot gevolg zou hebben. Er zijn 4 alternatieven waarbij geen kadeverhoging nodig is en 6 alternatieven waarbij de kade beperkt opgehoogd moet worden tot 0,75m +NAP (excl. overhoogte).

Bij al deze alternatieven wordt de kruinhoogte gereduceerd door het toepassen van een berm, ondiepe voor- of tussenoever, breukstenen dam, een flauwere taludhelling of combinaties hiervan.

In de huidige waterkering ligt een klein zandstrand dat door de bewoners van het bungalowpark en die van het dorp Elahuizen wordt gebruikt. Een van de eisen is dat het strandje behouden moet blijven. Dit strandje is opnieuw gedimensioneerd om een oplossing te bieden aan het probleem van wegspoelen van zand. Het strandje kan behouden blijven in zijn huidige omvang en uiterlijk en zijn beschutte ligging kan worden gewaarborgd.

Er zijn twee alternatieven uitgewerkt die beide stabiel zijn onder normale stormcondities met betrekking tot dwars- en langstransport van zand. De berekende kostenindicatie laat zien dat een oplossing in de vorm van een afgeschermd strandje door middel van een palenrij goedkoper blijkt dan een oplossing met kribben.

Het derde deel van dit project is het beschermen van de jachthaven. Om de waterkering in de jachthaven te kunnen dimensioneren is er eerst een berekening van de golfhoogten in de jachthaven uitgevoerd. Hieruit is gebleken dat de huidige waterkering (nul-alternatieven) beperkt verhoogd dient te worden (tot 0,5 m +NAP). Een nadeel van het ophogen van de kering in de haven is wel dat er vrij hoge golven blijven optreden in de jachthaven. Te hoge golven zijn natuurlijk niet echt wenselijk, aangezien dit tot schade kan leiden aan de boten die hier afgemeerd liggen.

Als alternatief is er onderzocht of een golfbreker de golven zou kunnen reduceren. Deze golfbreker in de havenmond zorgt ervoor dat de golfhoogte in de jachthaven vele malen minder wordt, waardoor de kadeverhoging minder is als bij de nul-alternatieven. De minimale kadehoogte wordt nu 0,35 m +NAP.

Ook buiten de extreme situaties om reduceert deze golfbreker de inkomende golven. Voor de zeilers die gebruik maken van de jachthaven (incl. de zeilscholen) is dit een groot bijkomend voordeel. Tijdens het optuigen en aanmeren van de boten hebben zij minder last van de golven.

Een laatste alternatief is een beweegbare waterkering in de haven, die alleen ten tijde van extreme waterstanden gesloten wordt. Deze kering kan op 2 plaatsen in de haven aangelegd worden; namelijk in de haven monding en vlak na het eerste havenbekken. Dit is in verhouding een dure oplossing, waarbij tevens de doorvaartbreedte van de haven gereduceerd dient te worden. Gezien de globale kosten van de andere oplossingen is een (dure) beweegbare kering niet de meest ideale oplossing.

De projectgroep heeft **geen** keuze gemaakt uit de voorgestelde alternatieven en zich alleen gericht op het aandragen van technische oplossingen. Voor de alternatieven is wel een inventarisatie gemaakt van de voor- en nadelen om tot een keuze te kunnen komen. Ook is er aandacht besteed aan mogelijke toetsingscriteria. De keuze uit de alternatieve oplossingen wordt overgelaten aan de belanghebbenden en politiek verantwoordelijken.

## Inhoudsopgave

Voorwoord.....	I
Samenvatting.....	II
Inhoudsopgave.....	IV
Lijst met Tabellen.....	VIII
Lijst met Figuren .....	X
<b>1 Inleiding.....</b>	<b>1</b>
1.1 Aanleiding .....	1
1.2 Doelstelling .....	1
1.3 Structuurbeschrijving.....	1
<b>2 Achtergrondinformatie .....</b>	<b>3</b>
2.1 Water in Friesland.....	3
2.2 Projectgebied .....	3
2.2.1 Elahuizen .....	3
2.2.2 Bungalowpark 't Zwin en jachthaven Elahuizen.....	4
2.2.3 Betrokken bestuursorganen (primaire waterkering).....	5
2.2.4 Betrokken bestuursorganen (boezemkades).....	6
<b>3 Probleemdefinitie .....</b>	<b>7</b>
3.1 Probleemanalyse .....	7
3.2 Probleemstelling .....	7
<b>4 Doelstelling en beperkingen .....</b>	<b>8</b>
4.1 Doelstelling .....	8
4.2 Beperkingen.....	8
4.2.1 Randvoorwaarden.....	8
4.2.2 Uitgangspunten.....	9
4.2.3 Aannames.....	9
<b>DEEL A</b>	
<b>5 Situatiebeschrijving.....</b>	<b>11</b>
<b>6 Onderzoek Technische normen.....</b>	<b>13</b>
6.1 Inleiding .....	13
6.2 Sterkte van een kade .....	13
6.3 Maatgevend boezempeil .....	16
6.4 Marge voor onzekerheden .....	16
6.5 Waakhoogte.....	16
6.5.1 Windgolven .....	16
6.5.2 Golfoploop .....	18
6.5.3 Golfoverslag.....	22
6.5.4 Scheepvaartgolven .....	24
6.5.5 Bui-oscillaties, Buistoten en lokale opwaaing .....	24
6.5.6 Totale waakhoogte.....	25
6.6 Overhoogte .....	25

6.7	Technische reductiemogelijkheden kruinhoogte.....	25
6.7.1	Verlagen hydraulische belasting m.b.v. een vooroever verdediging .....	25
6.7.2	Reduceren overhoogte.....	33
<b>7</b>	<b>Vergelijk berekeningsmethoden.....</b>	<b>35</b>
7.1	Verfijnen rekenmethode .....	35
7.2	Invoerparameters .....	35
7.2.1	Maatgevend boezempeil .....	36
7.2.2	Marge voor onzekerheden in het MBP .....	36
7.2.3	Waakhoogte.....	36
<b>8</b>	<b>Herberekening Friese Kaden .....</b>	<b>39</b>
8.1	Waakhoogte met oorspronkelijke invoerparameters .....	39
8.2	Kruinhoogte.....	40
8.3	Eerste aanpassingen .....	40
8.3.1	Strijklengte .....	40
8.3.2	Waterdiepte .....	41
8.3.3	Taludhelling .....	41
8.3.4	Invloedsfactoren.....	41
8.4	Berekening waakhoogte met eerste aanpassingen .....	41
8.4.1	Waakhoogte bij toepassing breukstenen dam.....	42
8.4.2	Waakhoogte met toepassing van palenrijen.....	43
8.4.3	Waakhoogte met toepassing van een berm .....	43
8.4.4	Berekeningen met invloed rietkraag .....	44
8.4.5	Berekeningen met invloed ondiepe vooroever.....	45
8.5	Stabiliteit .....	45
<b>9</b>	<b>Programma van eisen .....</b>	<b>46</b>
<b>DEEL B</b>		
<b>10</b>	<b>Toetsingscriteria.....</b>	<b>48</b>
10.1	Inleiding.....	48
10.2	Criteria.....	48
10.3	Beschrijving criteria .....	48
<b>11</b>	<b>Uitwerking waterkering bungalowpark 't Zwin .....</b>	<b>50</b>
11.1	Huidige kade Elahuizen .....	50
11.2	Varianten.....	51
11.2.1	Variant 1: Kade met een dam.....	51
11.2.2	Variant 2: Kade met een berm en dam.....	51
11.2.3	Variant 3: Kade met een dam en een tussehoever.....	52
11.2.4	Variant 4: Kade met een dam, berm en een tussehoever.....	53
11.2.5	Variant 5: Kade met een ondiepe vooroever .....	54
11.2.6	Variant 6: Kade met een ondiepe vooroever en berm .....	54
11.2.7	Variant 7: Kade met een flauwer talud .....	55
11.2.8	Variant 8: Verplaatsen van de waterkering achter het bungalowpark .....	55
11.3	Alternatieven zonder kadeverhoging.....	56
11.4	Alternatieven met kadeverhoging .....	56
11.5	Overhoogte.....	57
11.5.1	Kadeverhoging van 0,25m .....	57
11.5.2	Dam/Golfbreker voor kade Elderskar .....	57

11.6	Vergelijk alternatieven .....	58
11.6.1	Volumetoename kadeverhoging .....	58
11.6.2	Volume berm.....	58
11.6.3	Volume ondiepe vooroever .....	59
11.6.4	Volume breukstenen dam .....	59
11.6.5	Totaalvolumes alternatieven .....	60
11.7	Kostenvergelijking .....	60
11.7.1	Kadeverhoging.....	60
11.7.2	Aanbrengen vooroever.....	61
11.7.3	Berm .....	61
11.7.4	Dam .....	61
11.7.5	Totaal globale kosten .....	62
11.8	Nader onderzoek alternatieven.....	63
<b>12</b>	<b>Uitwerking strandje aan bungalowpark .....</b>	<b>64</b>
12.1	Uitgangspunten zandstrand .....	64
12.2	Dimensionering zandstrand .....	64
12.2.1	Golfbelasting en waterstanden .....	64
12.2.2	Materiaalkeuze.....	65
12.3	Berekening onder normale condities.....	66
12.4	Berekening onder stormcondities .....	66
12.5	Stabiliteit bij langstransport.....	68
12.6	Alternatieven voor het zandstrandje.....	69
12.6.1	Toepassing van kribben .....	69
12.6.2	Toepassing van palenrij .....	70
<b>13</b>	<b>Uitwerking waterkering jachthaven .....</b>	<b>72</b>
13.1	Huidige situatie .....	72
13.2	Waterkering langs kaden jachthaven .....	72
13.2.1	Inkomende golfhoogte.....	72
13.2.2	Golfindringing in de haven.....	73
13.2.3	Oplossing waterkering haven .....	74
13.3	Waterkering in watergang .....	76
13.3.1	Plaats kering .....	76
13.3.2	Soort kering .....	78
13.4	Globale kostenberekening .....	80
13.4.1	Nulalternatief.....	80
13.4.2	Golfbreker .....	82
13.4.3	Beweegbare kering .....	84
13.4.4	Conclusie .....	84
13.5	Nader onderzoek alternatieven.....	84
<b>DEEL C</b>		
<b>14</b>	<b>Evaluatie van het onderzoek.....</b>	<b>86</b>
14.1	Conclusies uit het onderzoek.....	86
14.1.1	Verhoging van de waterkering ter plaatse van het bungalowpark.....	86
14.1.2	Strandje Elahuizen.....	87
14.1.3	Jachthaven Elahuizen .....	87
14.2	Beperkingen en tekortkomingen van het onderzoek .....	88
14.2.1	Genoemde kosten.....	88
14.2.2	Grondgesteldheid.....	88
14.2.3	Golfindringing jachthaven.....	88
14.2.4	Stabiliteit waterkering .....	88
14.2.5	Hoogtegegevens achterin jachthaven .....	89

14.3	Aanvullend onderzoek .....	89
14.3.1	Bodemonderzoek.....	89
14.3.2	Model golfindringing .....	89
14.3.3	Stabiliteit waterkering .....	89
<b>Literatuurlijst .....</b>		<b>90</b>
<b>Bijlagen .....</b>		<b>91</b>



## Lijst met Tabellen

Tabel 6.1: Invloedsfactoren ruwheid voor taludbekledingen .....	20
Tabel 6.2: Relevante aspecten vooroeververdediging d.m.v. dammen.....	26
Tabel 6.3: Waarden voor $A_{dam}$ voor verschillende damtypen .....	29
Tabel 6.4: Relevante aspecten vooroeververdediging d.m.v. palenrijen .....	30
Tabel 8.1: Waakhoogte in [m] voor meren tot 1 km breed .....	39
Tabel 8.2: Waakhoogte in [m] voor meren tot 3 km breed .....	39
Tabel 8.3: Waakhoogte in [m] voor meren tot 5 km breed .....	39
Tabel 8.4: Waakhoogte in [m] voor meren tot 7 km breed .....	40
Tabel 8.5: Waakhoogte in [m] met eerste aanpassingen bij taludhelling 1:3.....	41
Tabel 8.6: Waakhoogte in [m] met eerste aanpassingen bij taludhelling 1:4.....	41
Tabel 8.7: Waakhoogte in [m] bij toepassing van een dam bij taludhelling 1:3 .....	42
Tabel 8.8: Waakhoogte in [m] bij toepassing van een dam bij taludhelling 1:4 .....	42
Tabel 8.9: Reductiefactor op golfhoogte door toepassing palenrijen.....	43
Tabel 8.10: Waakhoogte in [m] bij toepassing van een berm bij taludhelling 1:3 .....	43
Tabel 8.11: Waakhoogte in [m] bij toepassing van een berm bij taludhelling 1:4 .....	44
Tabel 8.12: Reductiefactor voor de invloed van een rietkraag .....	44
Tabel 8.13: Waakhoogte bij toepassing van een ondiepe vooroever .....	45
Tabel 11.1: Waakhoogte bij toepassing van een dam en taludhelling 1 :3.....	51
Tabel 11.2: Waakhoogte bij toepassing van een dam bij taludhelling 1 : 4 .....	51
Tabel 11.3: Waakhoogte bij toepassen dam en berm bij taludhelling kade 1 : 3.....	52
Tabel 11.4: Waakhoogte bij toepassen dam en berm bij taludhelling kade 1 : 4 .....	52
Tabel 11.5: Waakhoogte bij toepassing van dam, tussenoever en taludhelling 1 :3 .....	53
Tabel 11.6: Waakhoogte bij toepassing van dam, tussenoever en taludhelling 1 :4 .....	53
Tabel 11.7: Waakhoogte bij toepassing van dam, berm,tussenoever en taludhelling 1 :3 ....	53
Tabel 11.8: Waakhoogte bij toepassing van dam, berm, tussenoever en taludhelling 1 :4 ..	54
Tabel 11.9: Waakhoogte bij toepassing van een ondiepe vooroever .....	54
Tabel 11.10: Waakhoogte bij toepassing van een ondiepe vooroever en berm .....	54
Tabel 11.11: Waakhoogte bij toepassing van een flauwer talud .....	55
Tabel 11.12: Primaire en secundaire zetting bij verhoging kade met 0,25m .....	57
Tabel 11.13: Primaire en secundaire zetting bij golfbreker voor kade Elderskar .....	58
Tabel 11.14: Toename kadevolume bij kadeverhoging vanaf 0,5m NAP .....	58
Tabel 11.15: Volumeberekening vooroever .....	59
Tabel 11.16: Volumes breuksteen bij damvarianten .....	60
Tabel 11.17: Geschatte volumes breuksteen en grond bij verschillende varianten .....	60
Tabel 11.18: Globale kosten alternatieven per $m^1$ .....	62
Tabel 11.19: indicatiekosten overgebleven alternatieven per $m^1$ .....	62
Tabel 11.20: Toetsing overgebleven alternatieven .....	63
Tabel 12.1: Hoogteligging zandstrand onder normale condities .....	66
Tabel 12.2: Hoogteligging zandstrand onder stormcondities .....	67
Tabel 13.1: Golfhoogte bij verschillende windrichtingen .....	73
Tabel 13.2 Golfhoogte in haven bij verschillende windrichtingen.....	74
Tabel 13.3 Golfhoogten in de haven bij toepassing van golfbrekers .....	76
Tabel 13.4: Voor- en nadelen roldeur .....	78
Tabel 13.5: Voor- en nadelen puntdeur .....	78
Tabel 13.6: Voor- en nadelen segmentdeur .....	79
Tabel 13.7: Voor- en nadelen zakdeur .....	79
Tabel 13.8: Voor- en nadelen balgstuw .....	79
Tabel 13.9: Voor- en nadelen klepkering .....	80

Tabel 13.10: Voor- en nadelen schotbalken .....	80
Tabel 13.11: Berekening benodigde grond bij verhoging "bestaande kering" .....	81
Tabel 13.12: Berekening benodigde grond bij verhoging kering langs de jachthaven.....	81
Tabel 13.13 Specificaties golfbrekers.....	82
Tabel 13.14 Resultaten zettingsberekening.....	83
Tabel 13.15: Resultaten kostenberekening .....	83
Tabel 13.16: Indicatie kosten beweegbare kering.....	84
Tabel 13.17: Toetsing overgebleven alternatieven .....	84

## Lijst met Figuren

Figuur 2.1: Overzicht Fluessen nabij Elahuizen.....	3
Figuur 2.2: Overzicht Elahuizen nabij bungalowpark en jachthaven .....	4
Figuur 5.1: Situatie projectgebied .....	11
Figuur 6.1: Faalmechanismen van een dijk .....	14
Figuur 6.2: Definitiefiguur kruinhoogte volgens de TAW-richtlijnen.....	15
Figuur 6.3: kruinhoogte volgens Technische Normen Friese Kaden.....	15
Figuur 6.4: Windroos voor de provincie Friesland.....	17
Figuur 6.5: Berm voor een talud .....	19
Figuur 6.6: Hoek van golfinval .....	21
Figuur 6.7: Ligging (verticale) wand.....	24
Figuur 6.8: Principe vooroeververdediging .....	25
Figuur 6.9: Principe breukstenen dam .....	26
Figuur 6.10: Breukstenen dam .....	29
Figuur 6.11: Principe palenrijen.....	29
Figuur 6.12: Principe ondiepe vooroever .....	30
Figuur 6.13: Evenwichtsprofiel ondiepe vooroever .....	31
Figuur 7.1 Dimensies meer .....	36
Figuur 7.2 Helling van het talud (brekertypen).....	37
Figuur 7.3: Invloed van taludhelling op de waakhoogte .....	38
Figuur 11.1: Uitgangspunten berekening volume berm .....	58
Figuur 11.2: Uitgangspunten berekening volume ondiepe vooroever .....	59
Figuur 11.3: Uitgangspunten berekening volume dam.....	59
Figuur 12.1 S-vormig evenwichtsprofiel.....	65
Figuur 12.2: Evenwichtsprofiel zandstrand onder normale condities .....	66
Figuur 12.3: Evenwichtsprofiel zandstrand onder stormcondities .....	67
Figuur 12.4: Profiel zandstrand talud steiler dan evenwichtstalud .....	67
Figuur 12.5: Profiel zandstrand talud flauwer dan evenwichtstalud.....	67
Figuur 12.6: Profiel zandstrand talud flauwer dan evenwichtstalud.....	68
Figuur 12.7: Layout zandstrand met kribben .....	70
Figuur 12.8: Uitvoering palenrijen.....	70
Figuur 12.9: Layout zandstrand met palenrijen.....	71
Figuur 13.1: Verloop van de huidige kering rondom de jachthaven .....	72
Figuur 13.2: Schematisatie t.b.v. de berekening van de golfdoordringing in de jachthaven ..	73
Figuur 13.3: Maatgevende waterstand en golfhoogte in de jachthaven tpv punt P2 .....	74
Figuur 13.4 Havenmonding met golfbrekers.....	75
Figuur 13.5: Waterkering voor eerste havenbekken .....	77
Figuur 13.6: Waterkering achter eerste havenbekken .....	77
Figuur 13.7: Principe roldeur .....	78
Figuur 13.8: Principe puntdeur .....	78
Figuur 13.9: Principe segmentdeur.....	78
Figuur 13.10: Principe zakdeur.....	79
Figuur 13.11: Principe balgstuw .....	79
Figuur 13.12: Principe balgstuw .....	80
Figuur 13.13: Principe schotbalken .....	80
Figuur 13.14: Verdeling van waterkering .....	81
Figuur 13.15: Schematisatie golfbreker t.b.v. zettingsberekening.....	82
Figuur 13.16: Aanlegprofiel golfbrekers.....	83

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In het Integraal Waterbeheersplan Friese Waterschappen (Lit. [33]) is aangegeven dat ongeveer 50% van de kaden in Friesland niet aan de gestelde veiligheidseisen voldoet. Naar aanleiding van dit plan is door de gezamenlijke Friese Waterschappen (tegenwoordig gefuseerd tot Wetterskip Fryslân) het projectbureau Oevers en Kaden opgericht die het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) hebben uitgebracht.

In dit rapport wordt gerekend met een veiligheidsniveau van 1:100 voor het landelijke gebied en een 1:200 voor het stedelijke gebied. Vanwege de eenvormigheid zijn de berekende versterkingsmaatregelen langs de onbebouwde locaties relatief eenvoudig uit te voeren, er is hier voldoende ruimte voor het verhogen of verbreden van de dijk. De waterkeringen op locaties waar geen sprake is van een grote eenvormigheid moeten primair voldoen aan de gestelde veiligheidsnormen. Vanwege de functie als woonplek of haven en de daarbij behorende bebouwing is echter de ruimte voor het aanbrengen van een versterking beperkt. Door de complexiteit van de waterkering en de beperkte ruimte voor versterkingen is voor deze locaties een gedetailleerdere aanpak nodig dan tot nu toe voor de lange, eenvormige dijktrajecten is gevolgd.

Ook de kruinhoogtes van de kades rond de Fluessen zijn met behulp van het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) berekend. Het Friese dorp Elahuizen is gelegen aan de oostelijke oever van dit uitgestrekte meer. Het dorp is uitermate geschikt voor de recreatiesector. In Elahuizen vind je dan ook het bungalowpark 't Zwin gelegen aan de Elderskar en een jachthaven met zeilscholen. De geplande verhoging van de waterkering door het Wetterskip Fryslân betekent voor het bungalowpark en de jachthaven in Elahuizen een ingrijpende verandering in de bestaande situatie. Deze locatie kan dan ook als bijzonder worden aangemerkt en er dient een passende oplossing te worden gevonden.

## 1.2 Doelstelling

De projectgroep 'CF34' is in het kader van het Master Project van de Technische Universiteit Delft gevraagd om voor dit gebied diverse oplossingen te bedenken die aan de wensen van alle betrokken partijen voldoen. Een grote wens van de bewoners van het bungalowpark 't Zwin is met name een vrij uitzicht te behouden over de Fluessen en verder moet gestreefd worden naar behoud van de recreatiemogelijkheden op deze locatie. Het Wetterskip Fryslân is voornamelijk geïnteresseerd in een veilige oplossing die voldoet aan de gestelde normen. De projectgroep zal in dit verslag **geen** keuze maken uit de voorgestelde alternatieven en zich alleen richten op het aandragen van technische oplossingen. Voor de alternatieven is wel een inventarisatie gemaakt van de voor- en nadelen om tot een keuze te kunnen komen. Ook is er aandacht besteed aan mogelijke toetsingscriteria. De keuze uit de alternatieve oplossingen wordt overgelaten aan de belanghebbenden en politiek verantwoordelijken.

## 1.3 Structuurbeschrijving

De opbouw van het rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt een uitgebreide introductie gegeven van het projectgebied en de betrokkenen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 2.2.4 de probleemdefinitie gegeven. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de doelstellingen en beperkingen. Hierna wordt het verslag verdeeld in drie delen.

In **deel A** wordt een vooronderzoek verricht; hoofdstuk 5 geeft een overzicht van de huidige situatie in het projectgebied. Vervolgens wordt in hoofdstuk 6 gekeken naar de normen voor het bepalen van de kruinhoogte van een waterkering en naar eventuele

reductiemogelijkheden van deze kruinhoogte. In hoofdstuk 7 worden de gevonden normen vergeleken met die uit het rapport Technische Normen Friese Kaden, waarna in hoofdstuk 8 de waarden worden herberekend. Dit resulteert, samen met de beperkingen uit hoofdstuk 4, in een Programma van Eisen in hoofdstuk 9.

In **deel B** volgt de uiteindelijke uitwerking. In hoofdstuk 10 worden een aantal toetsingscriteria aangedragen, waaraan de uiteindelijke alternatieven getoetst worden. In hoofdstuk 11 worden een aantal alternatieven aangedragen voor de waterkering langs het bungalowpark 't Zwin. Twee mogelijkheden om het strandje naast het bungalowpark in te richten worden behandeld in hoofdstuk 12. En in hoofdstuk 13 worden de alternatieven voor de jachthaven uitgewerkt.

Als laatste wordt in **deel C** een evaluatie gemaakt (hoofdstuk 14) van het door ons uitgevoerde onderzoek. Hierin worden onder andere de onzekerheden in ons onderzoek behandeld.

## 2 Achtergrondinformatie

### 2.1 Water in Friesland

Friesland is een uniek stukje Nederland. Een groot gedeelte van deze provincie is gevormd door de zee. Door een hoge zeespiegel steeg hier na het begin van onze jaartelling de grondwaterstand. In de moerassen die daardoor ontstonden werd veen gevormd. Aan het begin van de middeleeuwen overstromde de zee dit veenpakket, waardoor delen veen werden weggeslagen. De meeste Friese meren zijn zo ontstaan, terwijl andere delen met een dikke laag klei werden overdekt. Later werden er overal dijken aangelegd, waardoor Friesland een polder werd. Tegenwoordig worden de waterstanden kunstmatig, m.b.v. gemalen, op het gewenste peil gehouden.

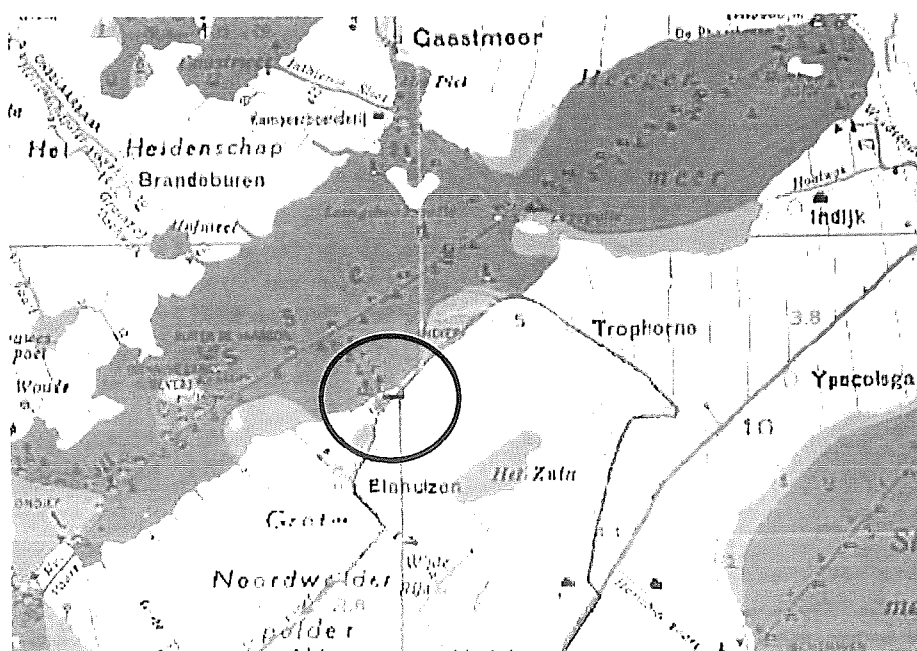
In Friesland liggen een groot aantal meren, boezems en kanalen. De watersporter kan uitzwermen over 130km<sup>2</sup>. De recreatieve vaarwegen hebben een totale lengte van 675km. De aantrekkelijkheid van het gebied wordt bepaald door het weidse landschap, dooraderd met meren en kanalen. Langs de oevers liggen 13.000ha. aan natuurgebieden. Dit natuurlijke karakter wordt aangevuld met vele karakteristieke dorpen en steden. De waterkeringen in Friesland staan onder beheer van het Wetterskip Fryslân. De keringen kunnen verdeeld worden in 2 groepen; namelijk primaire en niet-primaire waterkeringen. De primaire waterkeringen zijn die rond het IJsselmeer en de Waddenzee. De groep niet-primaire waterkeringen beslaat o.a. boezemkades, slaperdijken etc.

Sinds de hoogwaterstanden van 1993 en 1995 hebben de waterschappen veel tijd en geld besteed om de primaire dijken op Deltahoogte te krijgen. In 1996 werd de Wet op de Waterkering van kracht, die een verdere dijkverbetering voorschreef. De niet-primaire waterkeringen zijn de laatste jaren veel minder behandeld.

### 2.2 Projectgebied

#### 2.2.1 Elahuizen

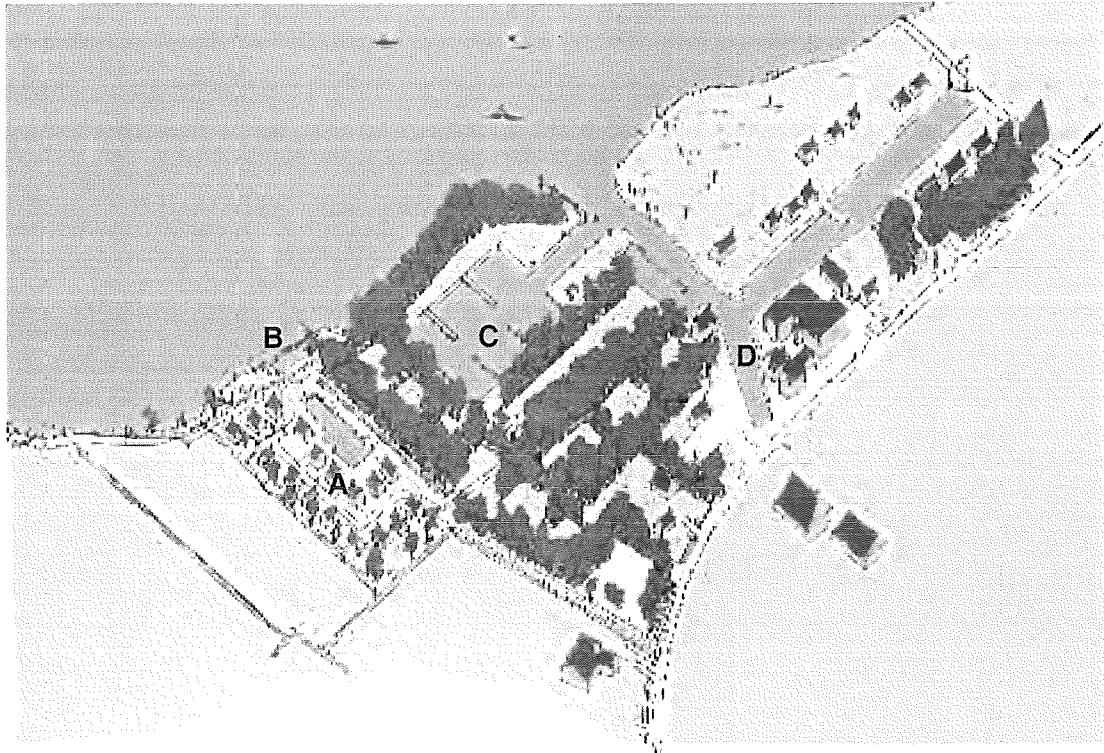
In Figuur 2.1 is te zien waar Elahuizen zich op de landkaart bevindt.



Figuur 2.1: Overzicht Fluessen nabij Elahuizen

Het Friese dorp Elahuizen is gelegen aan de oostelijke oever van het uitgestrekte meer de Fluessen. Het vlakke karakter van het land samen met het meer zorgen daar voor een uniek landschap. Dit landschap is uitermate geschikt voor de recreatiesector. In Elahuizen vind je dan ook Bungalowpark 't Zwin. Daarnaast bevindt zich een watersportcentrum met onder andere een plezierjachthaven en een aantal zeilscholen.

### 2.2.2 Bungalowpark 't Zwin en jachthaven Elahuizen

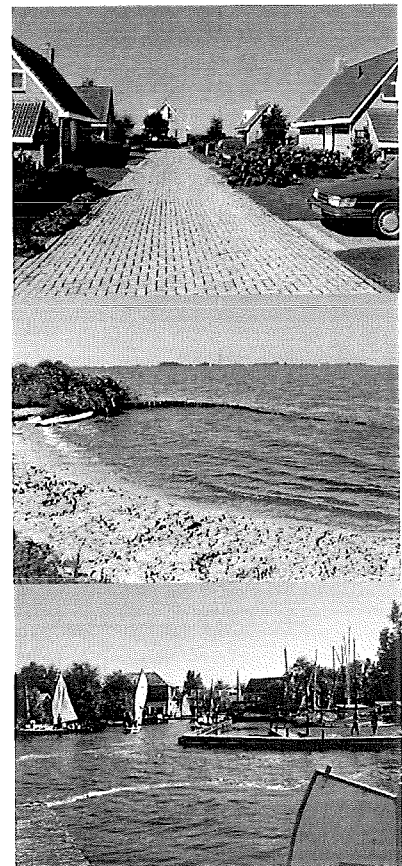


Figuur 2.2: Overzicht Elahuizen nabij bungalowpark en jachthaven

In Figuur 2.2 is het Bungalowpark 't Zwin (A) aan de Fluessen te zien. De 17 woningen zijn in 2 fasen gebouwd. De eerste 5 huizen zijn gebouwd in 1994 en de overige 12 huizen in 2000. Deze betrekkelijk nieuwe en luxe vakantiebungalows worden door een lage kade van ongeveer 0,5 meter beschermd tegen het water in de Fluessen. Voor deze kade ligt een rietveld met daar in een golfbreker van stortsteen en paaltjes.

Meer richting de jachthaven ligt een klein strandje (B) dat aan de waterkant wordt omgeven door paaltjes om enige stabiliteit van het zandstrandje te garanderen. Dit strandje wordt door o.a. de bewoners van het bungalowpark gebruikt om te zwemmen in de Fluessen.

De jachthaven kent meerdere gedeelten. Een gedeelte voor het langdurig afmeren van particuliere jachten (C) een gedeelte voor de zeilschool (D). De gehele haven is omgeven met een houten kadeconstructie met verschillende voorzieningen voor het afmeren van schepen. De monding van de haven is breed en aan één zijde is nog te zien aan een rij half vergane palen, dat hier een geleideconstructie stond. Alles wordt omgeven door bomen, grasvelden en bebouwing



die ook dicht op de kades staan. Het geheel straalt een rustig sfeertje uit en geeft het beeld van een idyllisch toeristisch gebied.

### **2.2.3 Betrokken bestuursorganen (primaire waterkering)**

Bij de aanleg van primaire waterkeringen zijn een aantal bestuursorganen betrokken. Deze zijn:

#### ***2.2.3.1 Het waterschap***

Waterschappen zijn verantwoordelijk voor aanleg, beheer en onderhoud van primaire waterkeringen die een dijkkringgebied omsluiten. Waterschappen worden bestuurd door een gekozen vertegenwoordiging van ingelanden: de belanghebbenden in het beschermde gebied. De waterschappen hebben de bevoegdheid de zogenaamde keur uit te vaardigen die nodig is om de waterkerende functie veilig te stellen. Het beheer en onderhoud wordt grotendeels gefinancierd door belastingheffing van de ingelanden. De aanlegkosten bij de lopende dijkversterkingsronde gaan de draagkracht van de meeste waterschappen echter te boven en wordt daarom grotendeels gesubsidieerd door het rijk. Sinds 1993 is de aanlegsubsidie voor de rivierdijkversterkingen overgeheveld naar het provinciefonds. De financiering van integraal waterkeringsbeheer levert nog discussie op, gezien de beperkte taakstelling van waterschappen in het functionele bestuur. Het is echter te verwachten dat een integrale versie op het beheer steeds meer gemeengoed wordt en dat de financiering zich daaraan aangepast. Het streven is gericht op het vormen van grote en daadkrachtige waterschappen. Dit heeft te maken met het feit dat aan de bestuurlijke en technische capaciteiten van een waterschap steeds hogere eisen worden gesteld, zeker in vergelijking met de situatie van vlak na de tweede wereldoorlog.

#### ***2.2.3.2 De provincie***

De provincies houden toezicht op de waterschappen. De Wet op de Waterkering (WoW) onderscheidt twee specifieke taken:

- De bewaking van de technische kwaliteit van het beheer;
- Het toezien op een goede afstemming tussen gemeentelijk en waterschapsbeleid.

Het laatste aspect vormt in ons staatsbestel een waarborg voor inpassing van het functionele waterschapsbestuur in het algemene bestuur. De taakstelling van de waterschappen wordt door de provincie vastgelegd in de waterschapsreglementen. Ook de plannen voor dijkversterking en de in de WoW voorgeschreven vijfjaarlijkse rapportage van de waterkeringsbeheerder over de waterstaatkundige toestand van de primaire waterkeringen moeten worden voorgelegd aan Gedeputeerde Staten. De toezichthoudende functie omvat ook de rijkswaterkeringen in de provincie. Bovendien speelt de provincie een belangrijke rol bij de organisatie van het waterschapsbestel, bijvoorbeeld in de genoemde concentratie van waterschappen. Verder behoort de normstelling van boezemkaden en tweede waterkeringen tot de taken van de provincie.

#### ***2.2.3.3 Het rijk (ministerie van Verkeer en Waterstaat)***

Het rijk heeft een aantal verantwoordelijkheden, waaronder wetgeving, het oppertoezicht op het waterschapsbestel, het beheer van primaire waterkeringen die verschillende dijkkringgebieden beschermen en de duinkust van de Waddeneilanden en het beheer van de grote wateren en rivieren. Met betrekking tot de zandige kust speelt het rijk een specifieke rol, die van groot belang is voor de waterkeringsbeheerders langs de kust. Het rijk is namelijk verantwoordelijk voor de handhaving van de ligging van de kustlijn, die een randvoorwaarde vormt voor de veiligheid van duinen en zeedijken. Het rivierbeheer moet er onder andere voor zorgen dat er ongewenste waterstanden in het rivierbed ontstaan en dat het van bovenstrooms komende water goed kan worden afgevoerd. Het oppertoezicht komt onder andere tot uiting in het vijfjaarlijkse verslag van Gedeputeerde Staten aan de minister van



Verkeer en Waterstaat over elk van de dijkkringgebieden in hun provincie, zoals is voorgeschreven in de WoW.

#### ***2.2.3.4 De gemeente***

Op het gebied van de ruimtelijke ordening stelt de gemeente bestemmingsplannen op waarin waterkeringen moeten zijn ingepast. Waar waterschappen, gelet op hun functionele bestuurszaken, zijn gericht op de beveiliging tegen overstromingen, daar richten de gemeenten zich op de andere functies van waterkeringen. Daarnaast draagt de gemeente verantwoordelijkheden bij een eventuele overstroming, zoals het opstellen van een rampenplan, het handhaven van de openbare orde en veiligheid en de zorg voor de volksgezondheid.

#### **2.2.4 Betrokken bestuursorganen (boezemkades)**

Voor de aanleg van boezemkades (secundaire waterkeringen) zijn in de huidige situatie geen bestuurlijke regels opgesteld. Per waterschap is dit dan ook anders geregeld. Op dit moment is de politiek bezig om een soortgelijke structuur als bij primaire keringen op te stellen. Vooruit lopend op dit plan heeft het Wetterskip Fryslân projectbureau Oevers en Kaden opgericht.

## **3      Probleemdefinitie**

### **3.1    Probleemanalyse**

Het project is hoofdzakelijk ontstaan uit onvrede over de geplande kadeverhoging in het plaatsje Elahuizen aan de Fluessen. De kadeverhoging zoals op dit moment is gepland heeft een uitzichtbederf tot gevolg voor het aangelegen bungalowpark 't Zwin. Bekend is dat dit probleem op meerdere plaatsen is opgetreden na de voorgenomen kadeverhoging. Er wordt daarom extra waarde toegekend aan de uitvoer van mogelijke alternatieven voor een kadeverhoging. De door Arcadis voorgestelde richtlijnen zijn eenvoudig toe te passen en geven een veilige rekenmethode, maar ze houden niet altijd voldoende rekening met de lokale omgevingsfactoren.

Daarnaast speelt de inpassing van een kade in het bestaande gebied een grote rol. Daarom is bij het project ook de naastgelegen jachthaven betrokken.

### **3.2    Probleemstelling**

Op welke manier kan de voorgenomen verhoging van de waterkering nabij Elahuizen aan de Fluessen worden toegepast, waarbij rekening wordt gehouden met de wensen van de Vereniging van Eigenaren Elderskar, de Jachthaven Elahuizen en de eisen gesteld door het Wetterskip Fryslân?

#### **Bijkomende subvraag**

Zijn er (reken-)technische mogelijkheden om de verhoging van de waterkering nabij Elahuizen, zoals berekend in het rapport Technische Normen Friese kaden te reduceren, met behoud van veiligheid, om vooral aan het uitzichtprobleem een oplossing te bieden?

## **4 Doelstelling en beperkingen**

### **4.1 Doelstelling**

De projectgroep 'CF34' is in het kader van het Master Project van de Technische Universiteit Delft gevraagd om voor dit gebied diverse oplossingen te bedenken die aan de wensen van alle betrokken partijen voldoen. Een grote wens van de bewoners van het bungalowpark 't Zwin is met name een vrij uitzicht te behouden over de Fluessen en verder moet gestreefd worden naar behoud van de recreatiemogelijkheden op deze locatie. Het Wetterskip Fryslân is voornamelijk geïnteresseerd in een veilige oplossing die voldoet aan de gestelde normen. De projectgroep zal in dit verslag **geen** keuze maken uit de voorgestelde alternatieven en zich alleen richten op het aandragen van technische oplossingen. Voor de alternatieven is wel een inventarisatie gemaakt van de voor- en nadelen om tot een keuze te kunnen komen. Ook is er aandacht besteed aan mogelijke toetsingscriteria. De keuze uit de alternatieve oplossingen wordt overgelaten aan de belanghebbenden en politiek verantwoordelijken.

### **4.2 Beperkingen**

#### **4.2.1 Randvoorwaarden**

##### *Bestuurlijk/juridische randvoorwaarden*

- BJR1 Indien de waterkering verlegd moet worden, dient het bestemmingsplan te worden gewijzigd.
- BJR2 Voor binnendijks gebied dient een veiligheidsniveau van 1:100 gehandhaafd te worden tegen overstromingen.

##### *Technische/constructieve randvoorwaarden*

- TCR1 Golfoverslag over de dijk moet beperkt blijven.
- TCR2 Rekening moet worden gehouden met een waterstand die eens in de 100 jaar voorkomt met bijbehorende windsnelheid en windrichting.
- TCR3 Doorvaartbreedte toegangseul mag niet te veel gereduceerd worden. 2 Skûtsjes moeten elkaar in de haven kunnen blijven passeren.
- TCR4 Diepte haven mag niet gereduceerd worden.
- TCR5 Alle belastingen op waterkering conform TAW-Leidraden.

##### *Economisch/maatschappelijke randvoorwaarden*

- EMR1 Recreatieve functie oever moet zoveel mogelijk gehandhaafd blijven.
- EMR2 Er moet gestreefd worden naar behoud van huidige bebouwing.
- EMR3 Er moet gestreefd worden naar een veilige ligplaats voor boten in de jachthaven.

##### *Uitvoeringstechnische randvoorwaarden*

- UR1 Rekening dient gehouden te worden met de aanwezige kabels en leidingen in het projectgebied.

##### *Natuurlijke randvoorwaarden*

- NR1 Rekening moet worden gehouden met de aanwezigheid van de noordse woelmuis.
- NR2 Zoveel mogelijk intact laten van huidige aanwezige natuur.

## 4.2.2 Uitgangspunten

### *Natuurlijke uitgangspunten*

- NU1 Er dient zo veel mogelijk gebruik gemaakt te worden van natuurvriendelijk materiaal.

### *Maatschappelijke uitgangspunten*

- MU1 Zo weinig mogelijk zichtbelemmering voor bewoners straat Elderskar.  
MU2 Kering moet esthetisch verantwoord zijn.

### *Technisch/constructieve uitgangspunten*

- TCU1 Bij berekening van kruinhoogte wordt gebruik gemaakt van de TAW-leidraden.  
TCU2 Golfreducerende middelen mogen de berging van de Fluessen niet substantieel verminderen.  
TCU3 Golfreducerende middelen mogen de vaarroutes richting de haven niet beïnvloeden.

### *Uitvoeringstechnische uitgangspunten*

- UU1 Jachthaven moet zijn functie als jachthaven zoveel mogelijk behouden tijdens uitvoering.

## 4.2.3 Aannames

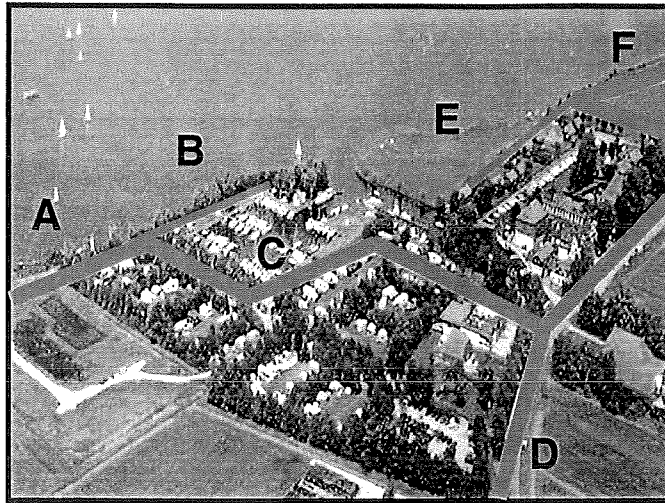
- Er wordt geen rekening gehouden met bodemverontreinigingen.
- De gemiddelde diepte van het meer is 2,5 meter, met uitzondering van de oevers.
- Windsnelheden en -richtingen conform het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]).
- Voor belastingen worden de bepalingen uit TAW Leidraad Toetsen op Veiligheid (Lit. [4]), welke voor primaire waterkeringen geldt, aangehouden.

# **DEEL A:**

# **VOORONDERZOEK**

## 5 Situatiebeschrijving

Eerst wordt hier een situatiebeschrijving gegeven van de huidige waterkering in het projectgebied.



*Figuur 5.1: Situatie projectgebied*

In Figuur 5.1 is het projectgebied te zien. Met groen is daarin de bestaande waterkering getekend. De waterkering is te verdelen in een zestal verschillende onderdelen. Deze zijn:

### A. Kade bij bungalowpark 't Zwin

De kade ligt in de achtertuin van de bewoners van het bungalowpark. Een kadeverhoging is hier niet zomaar acceptabel. Onderdeel van deze kade is een klein zandstrandje dat behouden moet blijven.

### B. Bescherming haven

In de haven ligt het maaiveld op ca. +0,2m NAP. Op deze strook is een aantal standplaatsen voor caravans. Deze staan hier beschut tussen bomen en struiken. Aan de zijde van de Fluessen is er een stortstenen bestorting, aan de havenzijde is er een houten beschoeiing aangelegd.

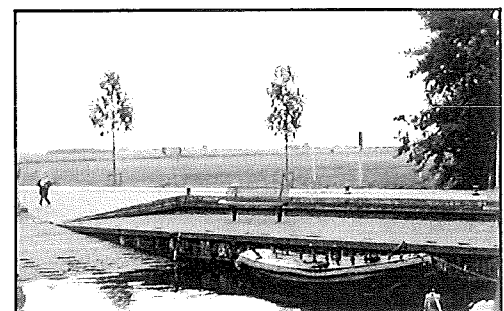
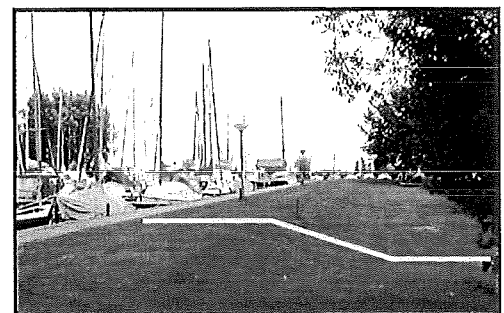
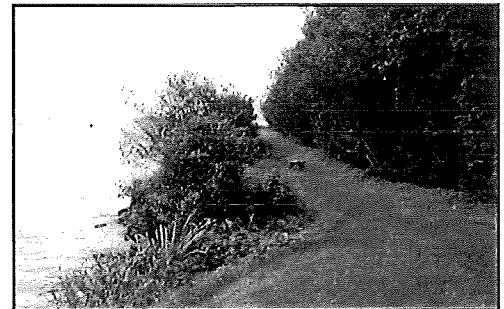
### C. Dijk tussen de haven en de camping

Rondom de haven zijn de kaden opgehoogd tot iets meer dan 0,4m NAP. Op de kade ligt een ca. 1,5m breed wandelpad.

Naast dit pad ligt een talud dat eindigt op het maaiveld van -0,5m NAP, waar caravans staan.

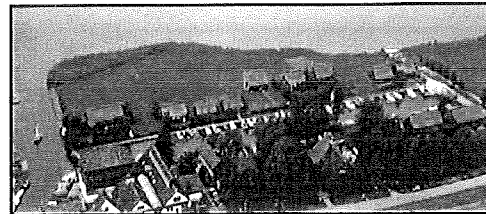
### D. De Mardijk

Vanaf de camping sluit de kering aan op de Mardijk. Dit is tevens een doorgaande weg.



**E. Huizen aan de Marsicht**

De negen huizen die aan de Marsicht staan hebben een vrij uitzicht op de Fluessen. De huizen staan op een verhoging. De vloerpeilen liggen op 0,75m NAP of hoger. Tussen de bebouwing en de Fluessen ligt een grasland op een hoogte van ongeveer -0,25m NAP.



**F. Aansluiting op kering Mardijk**

Aan de noordzijde van ons projectgebied sluit de waterkering aan op een dijk die langs de Fluessen verder gaat. De huidige hoogte hiervan is ongeveer 0,5m NAP.

## **6 Onderzoek Technische normen**

### **6.1 Inleiding**

In het jaar 2002 heeft het ingenieursbureau Arcadis, in opdracht van het projectbureau Oevers en Kaden (gezamenlijke Friese Waterschappen), nieuwe technische normen ontwikkeld voor de beoordeling van de kaden in Friesland. Dit was naar aanleiding van de constatering van de gezamenlijke Waterschappen Friesland dat ongeveer 50% van de Friese kaden niet aan de gestelde veiligheidsnormen voldeed. De berekeningen en de achtergronden voor de beoordeling van de Friese kaden zijn vermeld in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit.[ 1])

In het kader van het opstellen van deze technische normen is het niet de bedoeling geweest om individuele kaden door te rekenen. De berekeningen zijn daarom op een vrij hoog abstractieniveau uitgevoerd, waarbij voor verschillende factoren een indeling in klassen is gemaakt. Deze klassen zijn:

- Breedte;
- Oriëntatie;
- Scheepvaart;
- Diepte.

Voor andere factoren zijn reële, constante waarden aangenomen. De kaden zijn ingedeeld op basis van klassen, zodat aan ieder kadevlak een principeprofiel kan worden toegekend. De berekeningen in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit.[ 1]) zijn voor een deel gebaseerd op TAW publicaties. Er is hierbij een praktische invulling noodzakelijk geweest omdat het hierbij gaat om globale berekeningen welke voor een groot aantal kaden veilig moeten zijn.

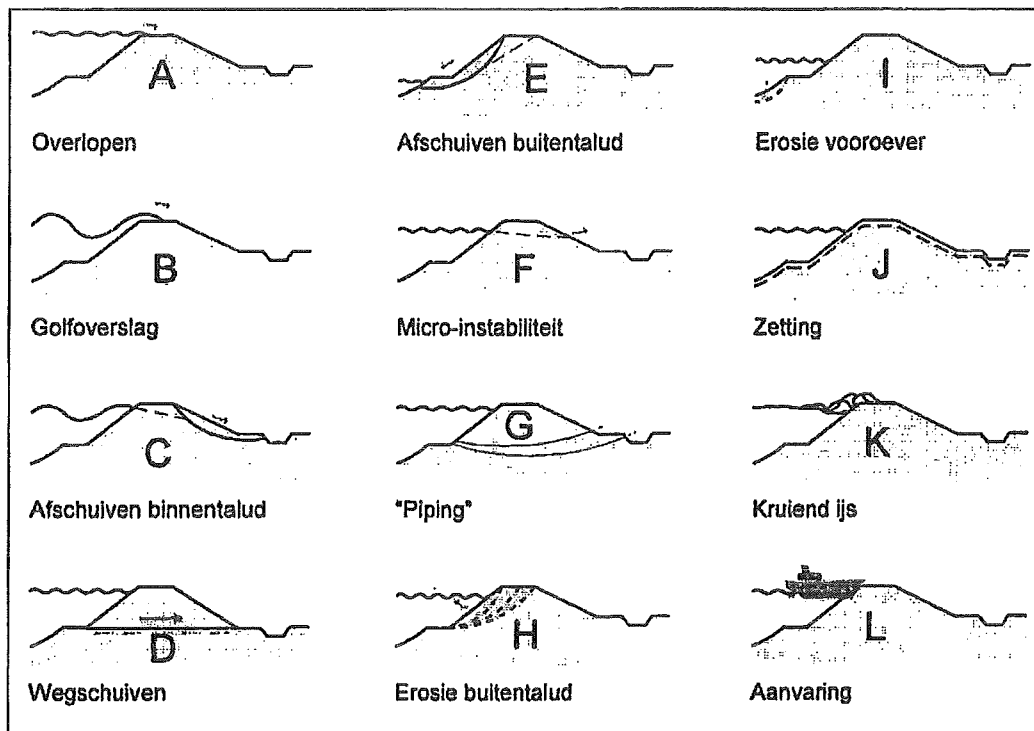
Door de indeling van de kaden in klassen kan de berekende kruinhoogte, met behulp van het rapport Technische Normen Friese Kaden, voor het stuk kade bij het bungalowpark hoger zijn echt noodzakelijk is. Om de wensen van de bewoners van het bungalowpark tegemoet te komen wordt eerst het stuk kade in de omgeving Elahuizen herberekend met de oorspronkelijke formules uit de TAW publicaties, waarop het rapport Technische Normen Friese Kaden is gebaseerd. De verschillen tussen de beide berekeningen zullen steeds toegelicht worden.

### **6.2 Sterkte van een kade**

Het waterkerende vermogen van een kade, ofwel de sterkte, wordt bepaald door de hoogte van de kruin en door de stabiliteit en de waterdichtheid van het kadelichaam en de fundering.

In Figuur 6.1 worden de faalmechanismen van een dijk weergegeven (Lit. [3]).





Figuur 6.1: Faalmechanismen van een dijk

Bij te weinig hoogte kan door overloop en golfoverslag te veel water de polder instromen of kunnen de kruin en het binnentalud worden aangetast, wat mogelijk kan leiden tot een doorbraak. Bij voldoende hoogte kan de stabiliteit van een kade worden aangetast door een binnenwaartse of buitenwaartse afschuiving, of na erosie van de bekleding. Te grote deformatie leidt tot kruinverlaging en mogelijk tot een doorbraak.

De hoogte van de kruin moet om twee redenen voldoende zijn. Deze twee redenen zijn:

1. Een te groot waterbezwaar door overkomend water moet worden voorkomen;
2. De hoeveelheid overlopend of overslaand water moet worden beperkt om onacceptabele erosie of lokaal oppervlakkig afschuiven van het binnentalud door infiltratie te voorkomen.

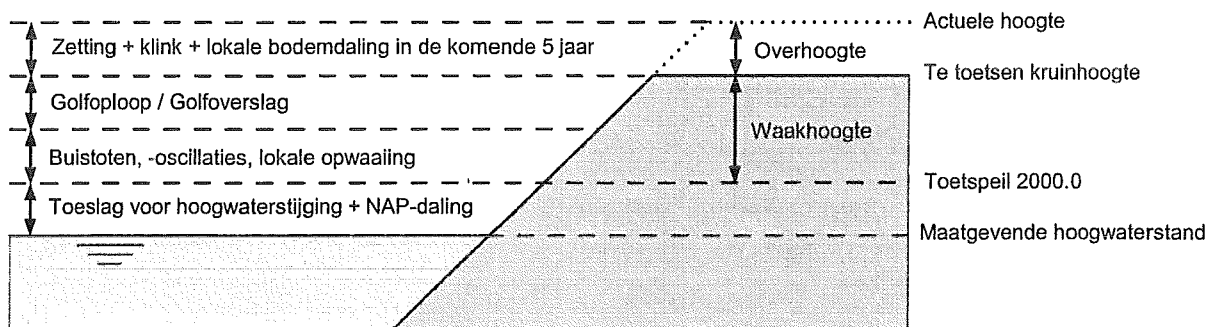
Bij het ontwerpen en toetsen van een kade zal de tweede eis vrijwel in alle gevallen maatgevend zijn. Of een kade aan de bovengenoemde twee eisen kan voldoen hangt af van vier sterktekenmerken, deze zijn:

- De laagste absolute kruinhoogte  $h_k$  van de buitenkruinlijn geschat over de komende vijf jaar;
- De mate waarin begaanbaarheid/bereikbaarheid/berijdbaarheid van de kruin en eventuele bermen op het binnentalud vereist is in verband met het mogelijk noodzakelijk ingrijpen onder extreme omstandigheden. Bepalend zijn hierbij het overslagdebiet en de mate van verweking van de kruin;
- De overlast die overslag kan veroorzaken, inclusief de benodigde berging- en afvoermogelijkheden. Dit kenmerk speelt slechts mee in de beoordeling voor zover de "veiligheid" in het geding is;
- De weerstand tegen erosie en lokaal afschuiven van grond op de kruin en het binnentalud door overslaand water. Bij onvoldoende weerstand zal dit leiden tot kruinhoogteverlies, mogelijk gevolgd door bresvorming.

De kruinhoogte is volgens de Leidraad Zee- en Meerdijken (Lit.[6]) opgebouwd uit de volgende bijdragen:

- Het referentiepeil met een overschrijdingskans dat overeenkomt met de wettelijke norm;
- De hoogwater- of meerpeilstijging over de ontwerpperiode;
- De lokaal verwachte bodemdaling over de ontwerpperiode;
- De toeslag voor bui-oscillaties, buistoten en lokale opwaaiing;
- De verwachte kruindaling door klink van het kadelichaam en zetting van de ondergrond over de ontwerpperiode;
- De golfoploophoogte of een golfoverslaghoogte.

Er kan worden gesteld dat alleen de laatste twee bijdragen beïnvloed worden. Zie voor een overzicht Figuur 6.2.



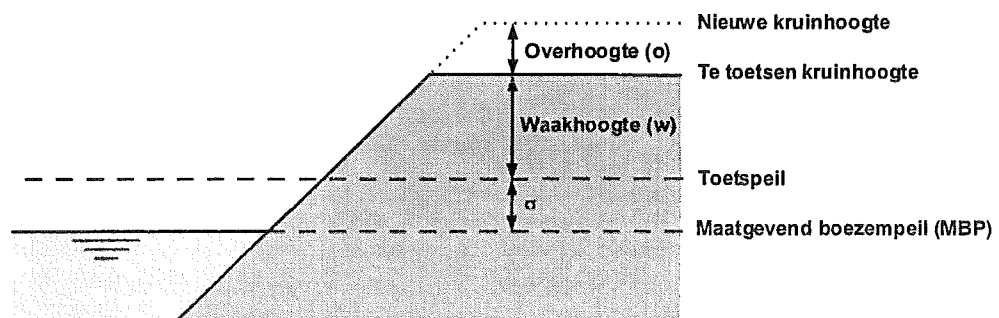
Figuur 6.2: Definitiefiguur kruinhoogte volgens de TAW-richtlijnen

In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) wordt de kruinhoogte van een kade op een overeenkomstige, iets vereenvoudigde wijze gedefinieerd, zie ook Figuur 6.3.

$$h_{kruin} = MBP + \sigma + w + o$$

Waarbij:

- $MBP$  = het maatgevende boezempeil
- $\sigma$  = een marge welke onzekerheden in het MBP compenseert
- $w$  = de waakhoogte, welke nodig is in verband met golfoploop of golfoverslag
- $o$  = een overhoogte, bijvoorbeeld in verband met verwachte zettingen



Figuur 6.3: Kruinhoogte volgens Technische Normen Friese Kaden

Deze komt in grote lijnen overeen met de gebruikte kruinhoogte in de TAW-richtlijnen. De marge voor onzekerheden in het maatgevend boezempeil zit in de TAW-Leidraden verwerkt in de gestelde minimale waakhoogte van 0,5m. De verschillende bijdragen die gebruikt zijn in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) worden in dit hoofdstuk apart toegelicht en indien nodig aangepast.

### 6.3 Maatgevend boezempeil

Door het Wetterskip Fryslân zijn over de gehele provincie Friesland de maatgevende boezempeilen op diverse plaatsen bepaald. Het Wetterskip heeft hiertoe op diverse plaatsen verspreid over Friesland meetpunten opgesteld, waar de waterstand gedurende 29 jaar, tussen 1970 en 1999, is gemeten. Deze waterstanden zijn in een diagram (Lit. [2]) gezet en men heeft vervolgens grafisch geïnterpoleerd om het boezempeil met een 1:100 overschrijdingskans te verkrijgen. Een overzicht van de maatgevende boezempeilen in de provincie Friesland is weergegeven in Bijlage B.

### 6.4 Marge voor onzekerheden

Gebaseerd op betrouwbaarheidsintervallen die gerelateerd zijn aan de statistieken van waterstanden in Friesland zijn door het Wetterskip Fryslân onzekerheidsmarges voor waterstanden bepaald. Hierbij is een onderscheid gemaakt voor gebieden waar het MBP hoger dan wel lager dan het NAP ligt op basis van een veiligheidsnorm van 1/100 per jaar.

- MBP op basis van de 1/100 norm < NAP: onzekerheidsmarge  $\sigma = 0,10\text{m}$
- MBP op basis van de 1/100 norm > NAP: onzekerheidsmarge  $\sigma = 0,20\text{m}$

Het MBP in de Fluessen ligt op NAP – 0,20m en is dus lager dan NAP. Volgens het bovenstaande is de onzekerheidsmarge in dit geval dus  $\sigma = 0,10\text{m}$ .

### 6.5 Waakhoogte

De waakhoogte van een kade is de hoogte van een kade boven het MBP, afgezien van de overhoogte (door zettingen en klink) en eventuele onzekerheden. De waakhoogte is er om golfoploop op te vangen en dient zo groot te zijn dat aan een bepaald criterium voor de golfoverslag voldaan kan worden. Ook moeten in de waakhoogte waterstandsverhogingen door bui-oscillaties, buistoten en lokale opwaaiing worden meegenomen.

De te accepteren golfoverslag voor een kade hangt af van de erosiebestendigheid van het bekledingsmateriaal van de kruin en van het binnentalud. In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) wordt voor de meren een golfoverslagcriterium van 0,1 of 1 l/s per strekkende meter kade gehanteerd. Een golfoverslagcriterium van 0,1 l/s per strekkende meter kade komt vaak overeen met een oploophoogte die wordt overschreden door 2% van de aankomende golven.

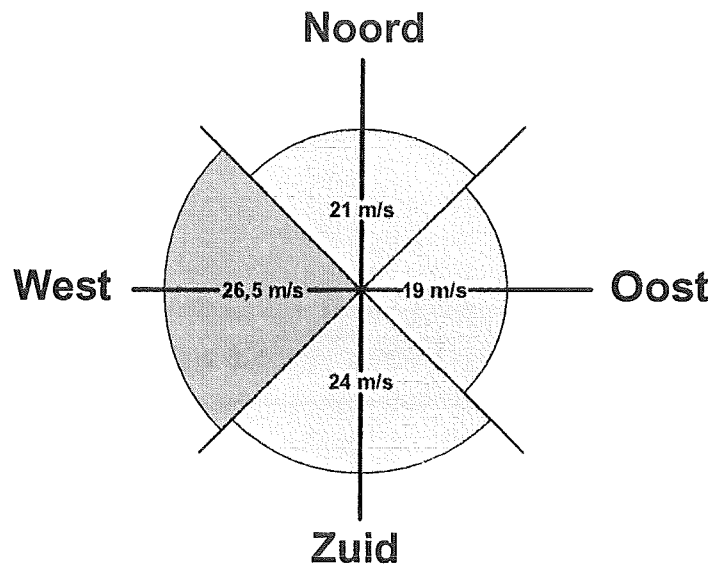
De golven waarmee de Friese kaden mee belast worden zijn windgolven of scheepvaartgolven. Voor deze golven wordt de waakhoogte in het rapport berekend.

#### 6.5.1 Windgolven

Voor de berekening van de waakhoogte die nodig is voor windgolven worden de golfgroei en de golfoverslag berekend.

##### 6.5.1.1 Windsnelheid

In het rapport Technische Normen Friese Kaden Programma van Eisen (Lit. [2]) worden voor de vier hoofdrichtingen de maatgevende windsnelheden gegeven, gebaseerd op KNMI-metingen. In dit rapport zullen wij deze windsnelheden ook gebruiken. Door de maatgevende windsnelheid en de maatgevende waterstand tegelijk te gebruiken, wordt een volledige correlatie tussen deze extremen verondersteld. In werkelijkheid zal deze correlatie minder zijn, maar niet geheel afwezig.



Figuur 6.4: Windroos voor de provincie Friesland

Voor de kade in dit project moet volgens de methodiek van het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) een kade oriëntatie Noord-West worden aangehouden. Dit komt overeen met een Noordelijke windsnelheid  $u = 21$  m/s tussen de windrichtingen noordwest en noordoost en een westelijke windsnelheid  $u = 26,5$  m/s tussen de windrichtingen zuidwest en noordwest (zie Figuur 6.4).

### 6.5.1.2 Golfgroei

De golfgroei wordt in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) berekend met de methode Bretschneider. Hoewel er meerdere methoden zijn voor het voorspellen van de golfperiode en golfhoogte aan de hand van windgegevens, wordt deze methode als enige beschreven in de Leidraad voor het ontwerpen van rivierdijken (Lit. [5]). Een onderzoek van Holthuisen (Lit [20]) toont aan dat formules van Bretschneider een goede schatting van de golfparameters geven (zie Bijlage A). Ook in het voor ons interessante gebied (dimensieloze strijklengte 30 tot 50).

De belangrijkste parameter in de formules van Bretschneider is de windsnelheid,  $u$ . De significante golfhoogte,  $H_s$  en de significante golfperiode,  $T_s$ , kunnen met deze methode worden berekend.

$$H_s = \frac{u^2}{g} 0,283 \tanh(0,530 \bar{d}^{0,75}) \tanh \left[ \frac{0,0125 \bar{F}^{0,42}}{\tanh(0,530 \bar{d}^{0,75})} \right]$$

$$T_s = \frac{u}{g} 2,4\pi \tanh(0,833 \bar{d}^{0,375}) \tanh \left[ \frac{0,077 \bar{F}^{0,25}}{\tanh(0,833 \bar{d}^{0,375})} \right]$$

waarin:

$H_s$  : significante golfhoogte [m]  
 $T_s$  : significante golfperiode [s]

$\tilde{F} = \frac{Fg}{u^2}$	:	dimensieloos gemaakte strijk lengte	[-]
$\tilde{d} = \frac{dg}{u^2}$	:	dimensieloos gemaakte waterdiepte	[-]
$F$	:	strijklengte	[m]
$u$	:	windsnelheid op een hoogte van 10m	[m/s]
$d$	:	waterdiepte	[m]

Met behulp van de, met de bovenstaande formules berekende, significante golfhoogte en significante golfperiode kunnen de golfloop en golfoverslag voor een kade worden berekend.

Voor de relatie tussen de significante golfperiode en de piekperiode geldt voor windgolven met normale spectra:

$$T_s = 0,94T_p \text{ (Goda 1974, Lit. [21])}$$

Om de waakhoogte van een kade te verlagen kunnen eventueel golfreducerende maatregelen worden getroffen. Dit wordt verderop in dit rapport behandeld. Vooral nog wordt gerekend zonder golfreducerende maatregelen.

### 6.5.2 Golfloop

De golfloophoogte op een talud geeft aan tot welke hoogte, verticaal gemeten vanaf de stilwaterlijn, de golven op een talud oplopen. Een maat hiervoor is  $z_{2\%}$ . Dit wil zeggen dat 2% van de inkomende golven een golfloop heeft die groter is dan deze waarde. Let op dat het aantal overschrijdingen niet gerelateerd is aan het aantal oplopen, maar aan het aantal inkomende golven.

De relatieve golfloop wordt weergegeven door  $\frac{z_{2\%}}{H_s}$ .

De algemene formule die kan worden toegepast voor de relatieve golfloop op dijken luidt (Lit. [9]):

$$\frac{z_{2\%}}{H_s} = 1,75\gamma_b\gamma_f\gamma_\beta\xi_0$$

met een maximum van:

$$\frac{z_{2\%}}{H_s} = \gamma_f\gamma_\beta \left( 4,3 - \frac{1,6}{\sqrt{\xi_0}} \right)$$

Deze formules zijn geldig in het gebied  $0,5 < \gamma_b\xi_0 < 8$  à  $10$

Hierin is:

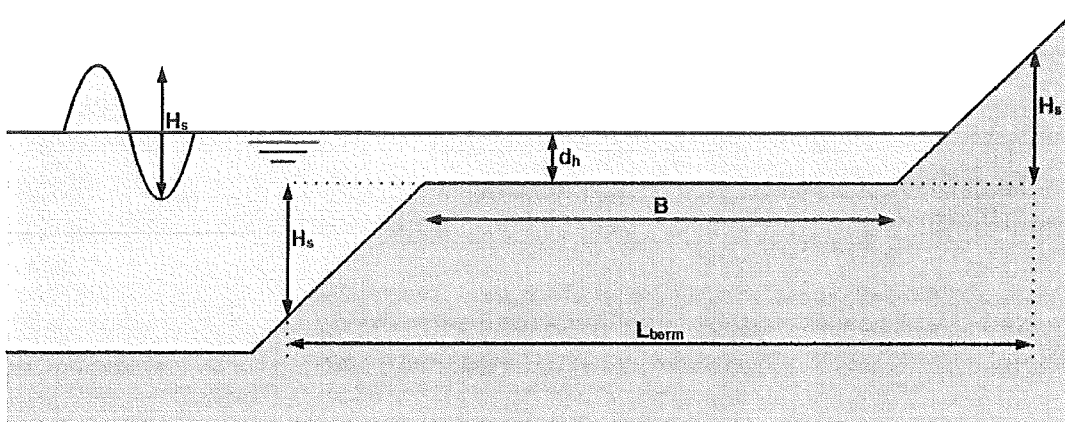
$z_{2\%}$	=	golfloophoogte met overschrijdingskans 2%	[m]
$H_s$	=	significante golfhoogte bij de teen van de dijk	[m]
$\xi_0$	=	brekerparameter = $\frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}$	[-]
$s_0$	=	golfsteilheid = $\frac{2\pi H_s}{gT_{m-1,0}^2}$	[-]

$T_{m-1,0}$	=	spectrale golfperiode $\approx \frac{T_s}{1,1}$	[s]
$tana$	=	gemiddelde taludhelling	[-]
$\gamma_b$	=	invloedsfactor voor invloed van een berm	
$\gamma_f$	=	invloedsfactor voor invloed van een ruwheid	
$\gamma_\beta$	=	invloedsfactor voor invloed van een hoek van golfaanval	

Vervolgens worden eerst de diverse invloedsfactoren toegelicht.

### 6.5.2.1 Invloedsfactor voor invloed van berm ( $\gamma_b$ )

Om de golfoploop op een talud terug te dringen kan ervoor gekozen worden om een berm aan te leggen voor het talud. De helling van de berm moet hierbij liggen tussen horizontaal en een helling van 1:15. De breedte,  $B$ , van de berm mag niet groter zijn dan een kwart van de golflengte.



Figuur 6.5: Berm voor een talud

In het geval van een schuine berm wordt dit geschematiseerd tot een horizontale berm door de breedte van de berm aan te passen, de breedte wordt dan kleiner. De bermdiepte,  $d_h$ , blijft gelijk aan de diepte in het midden van de berm. De invloedsfactor,  $\gamma_b$ , voor een berm hangt af van twee factoren. Een factor voor de breedte van de berm,  $r_b$  en een factor voor de ligging van het midden van de berm ten opzichte van de stilwaterlijn,  $r_{dh}$ .

Er geldt:  $\gamma_b = 1 - r_b(1 - r_{dh})$  waarbij  $0,6 \leq \gamma_b \leq 1,0$

De invloed van de bermbreedte,  $r_b$ , wordt weergegeven door de verandering in de taludhelling in beschouwing te nemen;

$$r_b = 1 - \frac{2H_s / L_{berm}}{2H_s / (L_{berm} - B)} = \frac{B}{L_{berm}}$$

Als de berm op het stilwaterniveau ligt is  $r_{dh}$  gelijk aan 0.

$$r_{dh} = 0,5 - 0,5 \cos\left(\pi \frac{d_h}{x}\right)$$

waarbij:

$x = z_{2\%}$  als de berm boven MBP ligt ( $z_{2\%}$  berekend met  $\gamma_b = 1$ )  
 $x = 2H_s$  als de berm onder MBP ligt

Als  $d_h \geq 2H_s$  of  $d_h \leq Z_{2\%}$  ligt de berm buiten het invloedsgebied van de golfloop. Voor  $r_{dh}$  wordt dan de waarde 1 aangehouden. Er wordt dan dus geen rekening gehouden met een berm. Wanneer bovengenoemde formules in een formule worden samengevat, wordt de volgende formule voor de invloed van een berm:

$$\gamma_b = 1 - \frac{B}{L_{berm}} \left[ 0,5 + 0,5 \cos \left( \pi \frac{d_h}{x} \right) \right] \text{ voor } 0,6 \leq \gamma_b \leq 1,0$$

Uit bovenstaande formule is af te leiden dat de invloed van de berm maximaal is wanneer  $d_h = 0m$ , dus als de hoogte van de berm op het MBP ligt.

In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) wordt geen rekening gehouden met de aanwezigheid van een berm en wordt de invloedsfactor  $\gamma_b$ , dus gelijk gesteld aan 1,0. In eerste instantie zullen wij dus ook geen rekening houden met de aanwezigheid van een berm. In een later stadium kan eventueel een berm toegepast worden om de golfloop te reduceren.

#### 6.5.2.2 Invloedsfactor voor invloed van de ruwheid van het talud ( $\gamma_f$ )

Onder taludbekleding wordt verstaan het gehele pakket van bovenlaag, filter en (klei-) onderlaag. De bekleding kan op diverse wijzen functioneren:

- Als noodzakelijke bescherming van het onderliggende grondlichaam en/of reductie van de golfloop;
- Esthetisch/natuurlijk;
- Ten behoeve van het beperken van onderhoud;
- Het leveren van een bijdrage aan de waterdichtheid van de kering.

Verschillende soorten taludbekledingen kunnen door hun ruwheid de golfloop beïnvloeden. In Tabel 6.1 zijn voor verschillende soorten bekledingsmaterialen de invloedsfactoren voor de ruwheid,  $\gamma_f$ , weergegeven.

Bekledingsmateriaal	Invloedsfactor ruwheid, $\gamma_f$
Beton	1,0
Asfalt	1,0
Dichte betonblokken	1,0
Gras	1,0 bij $H_s > 0,75m$
Vilvoortse steen	0,85
Basalt	0,90
Haringman	0,90
Fixtone, open steenasfalt	0,90
Amorflex	0,90
Kleine blokjes over $1/25$ van het oppervlak	0,85
Kleine blokjes over $1/9$ van het oppervlak	0,80
$1/4$ van steenzetting 10 cm omhoog	0,90
Ribbels (optimale afmetingen)	0,75
Breuksteen, twee lagen dik	0,55
Breuksteen, enkele laag dik	0,70

Tabel 6.1: Invloedsfactoren ruwheid voor taludbekledingen

De in de tabel vermelde invloedsfactoren gelden in principe voor een significante golfhoogte groter dan 0,75m. Bij lagere golven kan de hydraulische ruwheid iets oplopen en dus de invloedfactor afnemen. Voor grasbekledingen is de invloed van een lagere golfhoogte

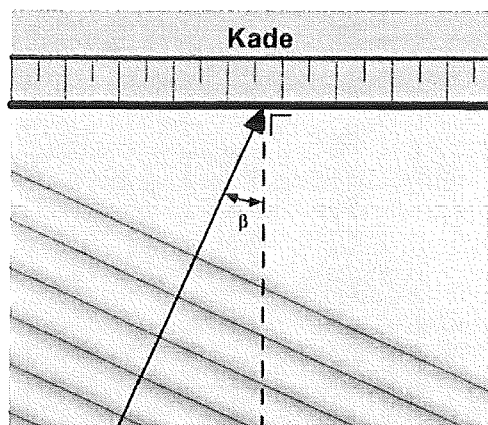
bekend. Volgens het Technisch Rapport Erosiebestendigheid van Grasland als Dijkbekleding (Lit. [8]) geldt voor een grastalud bij een golfhoogte kleiner dan 0,75m:

$$\gamma_{i,gras} = 1,15H_s^{0,5}$$

In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) wordt de invloedsfactor  $\gamma_f$  gelijk gesteld aan 1,0. Dit betekent dat er geen rekening wordt gehouden met eventuele ruwheid van gras bij golven tot 0,75m. Omdat verwacht wordt dat de golfhoogte in een meer als de Fluessen kleiner is dan 0,75m vinden wij het toch belangrijk om de invloed van ruwheid door gras in rekening te brengen om zo de kruinhoogte zo laag mogelijk te houden. In een later stadium kunnen eventueel ook nog andere, ruwere, bekledingsmaterialen worden gebruikt.

### 6.5.2.3 Invloedsfactor voor invloed van een hoek van golfaanval ( $\gamma_\beta$ )

De hoek van golfaanval  $\beta$  wordt gedefinieerd als de hoek die de voortplantingsrichting van de golven maakt met de normaal van de lengte-as van de kade, zie Figuur 6.6. Als er sprake is van loodrechte golfaanval geldt dus dat  $\beta = 0^\circ$ . De hoek van golfaanval is de hoek na eventuele bijdraaiing van de golven over het voorland door refractie. De invloedsfactor voor de hoek van golfaanval wordt gegeven door  $\gamma_\beta$ . Door Van de Meer en De Waal (Lit. [9]) is hiernaar onderzoek gedaan. Zij hebben de invloedfactor  $\gamma_\beta$  uitgezet tegen de hoek van golfaanval bij kortkammige golven, waaronder wind- of stormgolven.



Figuur 6.6: Hoek van golfinval

Voor de invloedsfactor voor de hoek van golfaanval geldt voor kortkammige golven, waaronder wind- en stormgolven, voor 2%-golfoploop:

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0022 |\beta| \quad (0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ)$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0022 * 80 \quad (|\beta| > 80^\circ)$$

Er is voor gekozen dat als de hoek van golfaanval groter is dan  $80^\circ$  de invloedsfactor niet meer verandert. In plaats daarvan wordt de significante golfhoogte en de spectrale golfperiode vermenigvuldigd met een factor. Hiervoor geldt:

als  $80^\circ \leq |\beta| \leq 110^\circ$ :

–  $H_s$  wordt vermenigvuldigd met  $\frac{110 - |\beta|}{30}$

–  $T_{m-1,0}$  wordt vermenigvuldigd met  $\sqrt{\frac{110 - |\beta|}{30}}$



Als  $|\beta| > 110^\circ$  wordt de waarde voor  $H_s$  gelijk aan 0, omdat de golven dan van de kade af bewegen.

### 6.5.3 Golfverslag

Er is sprake van golfverslag indien de kruinhoogte van de kade lager is dan het golfplooppniveau van de hoogste golven. Dit is tot een bepaald debiet acceptabel wanneer het binnentalud en de kruin van de kade voldoende zijn beschermd tegen optredende erosie en wanneer het overgeslagen water achter de kade goed kan worden afgevoerd. Voor erosie van het binnentalud zijn de volgende gemiddelde debieten maatgevend:

- 0,1 l/s per strekkende meter voor zandige grond met een slechte grasmat;
- 1,0 l/s per strekkende meter voor kleiige grond met een redelijk goede grasmat;
- 10 l/s per strekkende meter bij een kleibekleding en een grasmat volgens de eisen voor het buitentalud of bij een bekledingsconstructie.

De golfverslag kan in twee formules worden beschreven die op elkaar aansluiten. Eén formule voor brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 \leq 2$ ), waarbij de golfverslag toeneemt bij toenemende brekerparameter  $\xi_0$ , en één formule voor het maximum dat wordt bereikt bij niet-brekende golven ( $\gamma_b \xi_0 \geq 2$ )

In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) is gebruik gemaakt van de golfverslagformules uit het Technisch Rapport Golfploop en Golfverslag bij Dijken (Lit. [9]). De volledige formules luiden:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \xi_0 \exp \left[ -4,3 \frac{h_{waak}}{H_s} \frac{1}{\xi_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v} \right]$$

met als maximum:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0,2 \exp \left[ -2,3 \frac{h_{waak}}{H_s} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta} \right]$$

Hierin is:

$q$	=	gemiddeld golfverslagdebiet	[m <sup>3</sup> /s per m]
$g$	=	versnelling van de zwaartekracht	[m/s <sup>2</sup> ]
$H_s$	=	significante golfhoogte bij de teen van de dijk	[m]
$\xi_0$	=	brekerparameter = $\frac{\tan \alpha}{\sqrt{s_0}}$	[-]
$s_0$	=	golfsteilheid = $\frac{2\pi H_s}{gT_{m-1,0}^2}$	[-]
$T_{m-1,0}$	=	spectrale golfperiode $\approx \frac{T_p}{1,1}$	[s]
$\tan \alpha$	=	taludhelling	[-]
$h_{waak}$	=	waakhoogte t.b.v. golfverslag	[m]
$\gamma$	=	invloedsfactoren voor invloed van een berm, ruwheid, hoek van golfaanval en een verticale wand op het talud	

Als de golfgegevens, de helling van het talud en het toelaatbare overslagdebiet bekend zijn kunnen de bovenstaande formules omgezet worden naar formules voor de waakhogte,  $h_{\text{waak}}$ , voor de omwerking zie Bijlage D.

De formules voor de waakhogte luiden:

$$h_{\text{waak}} = \frac{H_s \xi_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v}{-4,3} \ln \left[ \frac{q \sqrt{\tan \alpha}}{0,067 \gamma_b \xi_0 \sqrt{g H_s^3}} \right]$$

Met als maximum:

$$h_{\text{waak}} = \frac{\gamma_f \gamma_\beta H_s}{-2,3} \ln \left[ \frac{q}{0,2 \sqrt{g H_s^3}} \right]$$

Voor de spectrale golfperiode ( $T_{m-1,0} = m_{-1}/m_0$ ) geldt dat bij een enkeltoppig spectrum gebruik mag worden gemaakt van de volgende relatie tot de piekperiode:

$$T_p \approx 1,1 \cdot T_{m-1,0}$$

Vervolgens moet er net als bij golfoploop worden gekeken naar de  $\gamma$ -factoren. Deze zijn:

- $\gamma_b$  = invloedfactor voor een berm
- $\gamma_f$  = invloedfactor voor de ruwheid
- $\gamma_\beta$  = invloedfactor voor de invalshoek van de golven
- $\gamma_v$  = invloedfactor voor een (verticale) wand op een talud

Voor de invloedfactoren  $\gamma_b$  en  $\gamma_f$  geldt hetzelfde als bij de invloedfactoren bij golfoploop.

### 6.5.3.1 Invloedfactor voor de invalshoek van de golven ( $\gamma_\beta$ )

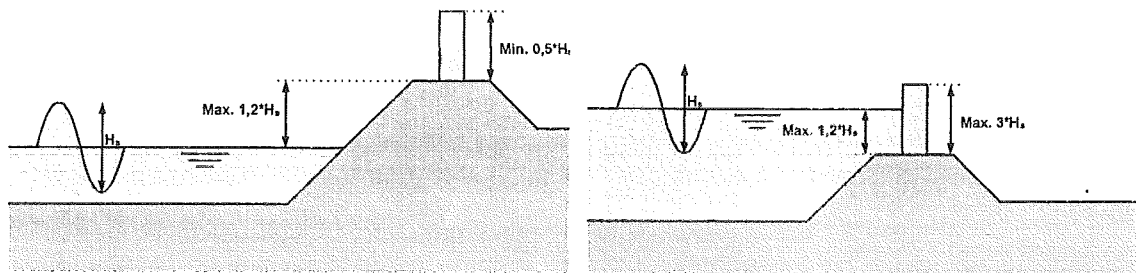
De invloedfactor voor de hoek van golfinval  $\gamma_\beta$  is in het geval van golfoverslag afwijkend van die bij golfoploop. Er geldt voor golfoverslag bij kortkammige golven:

- $\gamma_\beta = 1 - 0,0033 |\beta|$  als  $0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ$
- $\gamma_\beta = 1 - 0,0033 \cdot 80$  als  $|\beta| > 80^\circ$

### 6.5.3.2 Invloedfactor voor invloed van een (verticale) wand op de kade ( $\gamma_v$ )

Nog een mogelijkheid om de golfoploop en golfoverslag te reduceren is het plaatsen van een (verticale) wand op het talud. In het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag (Lit. [9]) wordt een methode beschreven waarmee de reductiefactor voor golfoploop en golfoverslag door een (verticale) wand op het talud te plaatsen. De gebruikte methode mag gebruikt worden als aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- Het gemiddelde talud vanaf  $1,5H_s$  beneden MBP tot de voet van de wand moet een helling hebben tussen 1:2,5 en 1:3,5.
- De breedte van alle bermen samen moet kleiner zijn dan  $3H_s$ .
- De voet van de wand moet liggen tussen  $1,2H_s$  beneden en  $1,2H_s$  boven MBP.
- In het geval van een hoge voet (voet boven MBP) is de minimale hoogte van de wand  $0,5H_s$ .
- In het geval van een lage voet (voet beneden MBP) is de maximale hoogte van de wand  $3H_s$ .



Figuur 6.7: Ligging (verticale) wand

Wanneer een wand op de kade wordt toegepast heeft dit invloed op de golfoverslag en golfoploop. De golfoploop zal hierdoor minder worden, omdat een groter gedeelte van de golven wordt gereflecteerd. De golfoverslag zal in tegenstelling tot de golfoploop echter groter worden bij toepassing van een verticale wand. Als er een wand wordt toegepast moet de waarde van de gemiddelde taludhelling worden aangepast, wat leidt tot een andere brekerparameter. Voor steile of verticale wanden geldt dan een gemiddelde taludhelling van 1:1.

Naast de taludhelling moet er ook nog een invloedsfactor voor de invloed van (verticale) wanden op de waakhoogte worden toegepast. In het geval van een verticale wand geldt:  $\gamma_v = 0,65$ . Bij een andere helling van de wand geldt:

$$\gamma_v = 1,35 - 0,0078\alpha_{wand}$$

In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) wordt de invloedsfactor  $\gamma_v$  gelijk gesteld aan 1,0. Er wordt dus geen rekening gehouden met een (verticale) wand op de kade. In eerste instantie zullen wij in dit project dan ook geen rekening houden met de invloed van een (verticale) wand op de kade.

#### 6.5.4 Scheepvaartgolven

Volgens de TAW-richtlijnen is de belasting door schepen sterk locatiebepaald. Afwijkingen van belang op het gemiddelde jaarlijkse beeld zijn niet te verwachten. Stroomsnelheden veroorzaakt door schepen zullen meestal kleiner zijn dan 2m/s en de opgewekte golven zijn in het algemeen kleiner dan 0,5m met een enkele uitschieter naar 1m, met een periode van 2 tot 5s. De waakhoogte die nodig is voor scheepsgolven kan worden berekend met de golfoploop en golfoverslagformules.

De waakhoogte die nodig is voor scheepvaartgolven wordt in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) voor verschillende scheepstypen berekend. Geconcludeerd wordt dat deze waakhoogte altijd kleiner is dan de waakhoogte die nodig is voor windgolven. Dit betekent dat de invloed van scheepsgolven geen rol speelt bij het ontwerp van de kade. Dit is in overeenstemming met wat er in de Leidraad Toetsen op Veiligheid (Lit. [4]) wordt gesteld over scheepvaartgolven.

#### 6.5.5 Bui-oscillaties, Buistoten en lokale opwaaiing

Volgens de Leidraad Zee- en Meerdijken (Lit. [6]) wordt voor slingeren als gevolg van bui-oscillaties, buistoten en lokale opwaaiing een toeslag van 0,1m toegepast. In het rapport Technische Normen voor Friese Kaden (Lit. [1]) wordt geen rekening gehouden met deze slingeren. In de berekening van de kruinhoogte in dit projectverslag wordt alleen rekening gehouden met lokale opwaaiing. Buistoten en bui-oscillaties hoeven niet in de berekening worden meegenomen. Als toeslag voor lokale opwaaiing is bij dit project 0,1m aangehouden.

### 6.5.6 Totale waakhoogte

De totale waakhoogte voor de kade is de som van de waakhoogte ten behoeve van golfploop en golfoverslag en de waterstandsverhoging door bui-oscillaties, buistoten en lokale opwaaiing.

Volgens het Programma van Eisen voor Friese kaden (Lit. [2]) moet een minimale waakhoogte aangehouden worden van 0,15m. In gevallen waarin de berekende waakhoogte ten gevolge van scheeps- of windgolven dus kleiner is dan 0,15m, wordt dus een waakhoogte van 0,15m toegepast.

## 6.6 Overhoogte

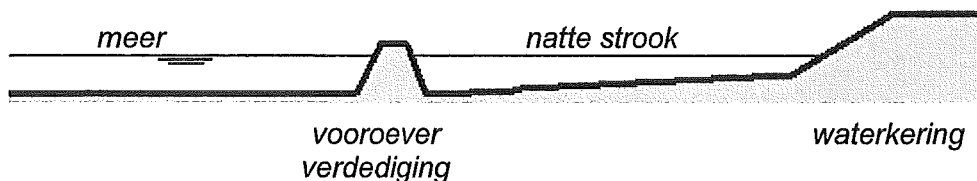
De overhoogte heeft zoals gezegd betrekking op een verwachte kruindaling door klink van het kadelichaam en/of door zetting van de ondergrond over de ontwerpperiode. Als de kade rond de Fluessen wordt verhoogd, zal dit een toename van de korrelspanningen veroorzaken. In het geval van samendrukbare grond zal dit leiden tot een extra samendrukking.

In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) wordt geen overhoogte berekend, omdat het rapport in eerste instantie is bedoeld om bestaande kaden te toetsen. Wel geeft het rapport een berekeningsmethode weer waarmee de overhoogte bepaald kan worden. Als blijkt dat een kade verhoogd moet worden, dan moet volgens het rapport rekening gehouden worden met zetting en klink.

## 6.7 Technische reductiemogelijkheden kruinhoogte

In dit hoofdstuk worden constructieve mogelijkheden onderzocht die leiden tot een lagere benodigde kruinhoogte van de waterkering om voornamelijk het uitzichtprobleem een oplossing te bieden. De mogelijkheden worden op twee vlakken onderzocht, namelijk:

- Verlagen van de hydraulische belasting met behulp van een vooroeververdediging;
- Beperking overhoogte.



Figuur 6.8: Principe vooroeververdediging

### 6.7.1 Verlagen hydraulische belasting m.b.v. een vooroever verdediging

Kenmerkend voor een waterkering aan een meer is dat de belasting geconcentreerd plaatsvindt doordat in het meer een constant streefpeil wordt gehandhaafd. De belangrijkste belasting wordt daarbij bijna altijd gevormd door de windgolven. Bij een waterkering met een vooroeververdediging bestaat de oever uit een constructie met daarachter een ondiepe, natte strook waarna het natte talud overgaat in het bovenwatertalud van de waterkering.

Een vooroeververdediging heeft als taak de overmatige golf- en retourstroombelasting te reduceren tot een acceptabel of gewenst niveau voor de waterkering achter de natte strook. Bovendien werkt een vooroeververdediging als een zandvang, waardoor wordt voorkomen dat de daarachter gelegen waterkering door verstelling van het onderwatertalud wordt

aangetast. De hierboven beschreven taak van de vooroeververdediging betekent dat de vooroeververdediging niet per definitie boven water hoeft te liggen. Als een kruinhoogte op of onder het streefpeil leidt tot de gewenste reductie van de belasting kan daarmee ook worden volstaan. Het resultaat is een natuurlijkere en aantrekkelijkere oever, met een kleinere, niet zichtbare constructie die daardoor minder ruimte in beslag neemt. Bovendien leidt dit tot minder materiaalgebruik en wellicht lagere kosten.

Indien de vooroeververdediging zich boven het streefpeil van het meer bevindt, is de wateruitwisseling tussen het meer en de natte strook achter de vooroeververdediging een belangrijk aspect. Daarom is het verstandig om verlagingen in de constructie aan te brengen. In het geval van peilwisselingen (door bijvoorbeeld opwaaiing) wordt het water in de natte strook ververst. Ter plaatse van de openingen moet op de een of andere manier worden gezorgd voor eenzelfde golftransmissie als bij de doorgaande verdediging.

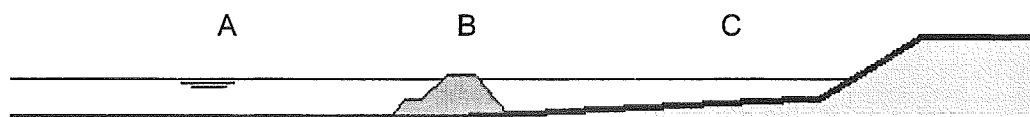
Belangrijke aspecten bij het ontwerp zijn het constructietype of –materiaal, de hoogteligging van de kruin t.o.v. de waterspiegel en de openingen in de constructie ten behoeve van wateruitwisseling tussen natte strook en het meer.

Er zijn in totaal een drietal basisvarianten, die hieronder behandeld worden.

### 6.7.1.1 Type 1: Dammen

Er zijn meerdere typen dammen mogelijk. De constructievarianten zijn:

- Breuksteen en betonnen elementen (zoals kubussen, tetrapods, e.d.);
- Gladde dichte dam (asfalt);
- Gezette dichte steen;
- Blokkenmatten;



- Schanskorven.

Figuur 6.9: Principe breukstenen dam

Relevante aspecten van een vooroeververdediging door middel van dammen zijn vermeld in Tabel 6.2. Deze aspecten hebben betrekking op de gebieden die met de letters A, B en C zijn aangegeven in Figuur 6.9.

A	B	C
-peilvariaties	-zwaarte elementen	-breedte vooroever
-golven	-doorlatendheid	-diepte vooroever
-waterdiepte	-hoogte van de kruin	-soort vegetatie
-stroming	-ondergrens bestorting	-breedte vegetatie
-grondparameters	-teenverdediging	-oeverlijn verdedigen
	-permanent of tijdelijk	-grondgesteldheid
	-grondgesteldheid	

Tabel 6.2: Relevante aspecten vooroeververdediging d.m.v. dammen

### Breuksteen vooroeververdediging:

De mogelijkheden zijn hier een dam bestaande uit homogene stenen of een dam opgebouwd uit een kern van fijn materiaal, afgedekt met een toplaag van breuksteen. Beide varianten

worden geplaatst op een kraagstuk, dat aan de onderkant is voorzien van een geotextiel. Aan de meerzijde loopt de teen van de constructie ver door. Zo wordt erosie aan de teen verhinderd of ervoor gezorgd dat toch optredende erosie de constructie niet in gevaar brengt. De dam bestaande uit homogene stenen heeft taludhellingen van 1:1,5 of flauwer. De variant met kern en toplaag heeft taluds van 1:3 of flauwer. De benodigde steendiameters om een stabiele constructie te krijgen kunnen berekend worden.

De algemene eisen van een breuksteen toepassing zijn:

- De toplaag moet bestand zijn tegen de golf- en stroomaanval;
- De verdediging moet, om eventuele opwaartse waterdruk te vermijden, waterdoorlatend zijn;
- De opbouw van de constructie moet zodanig zijn dat, als gevolg van uittredend grondwater en stroom- en golfbelasting op de toplaag, geen gronddeeltjes van de ondergrond door de verdediging heen spoelen.

De voordelen die breuksteen geeft zijn:

- Betrekkelijk eenvoudige aanleg en de wijze van onderhoud;
- Het vermogen zettingen te volgen in de ondergrond;
- De lange levensduur;
- Relatief lage kosten;
- De goede mogelijkheid voor hergebruik;
- De hoge dichtheid van het materiaal die de constructie een goede weerstand tegen de belasting geeft.

Een breuksteenconstructie kent meestal een kenmerkende verticale opbouw. De bovenste laag, de toplaag, bestaat uit een laag breuksteen, die bestand is tegen de erop werkende stroom- en golfbelastingen. Onder de toplaag bevindt zich een filter dat ervoor moet zorgen dat geen gronddeeltjes van de ondergrond door de verdediging heen uitspoelen. Het filter wordt meestal rechtstreeks, op het vlak afgewerkte beloop van de ondergrond, aangebracht. Het filter kan bestaan uit een laag fijne stenen of grind maar ook een zanddichte geotextiel.

### **Kern met schanskorfmatras of blokkenmat als toplaag:**

Dit type vertoont sterke overeenkomsten met de tweede variant bij de breuksteen vooroeververdedigingen. In plaats van uit losse breuksteen bestaat de toplaag nu uit een of meer schanskorfmatrassen of blokkenmatten. Omdat de toplaag samenhang vertoont door de aanwezigheid van gaas of kabels kan de minimale taludhelling wat kleiner zijn dan bij de vergelijkbare breuksteen variant, 1:2,5. De teenconstructie aan de meerzijde wordt gevormd door een verder doorlopende matras of mat, aan de onderkant voorzien van een geotextiel. De dikte van de matras of mat wordt via rekenregels verkregen.

### **Dam opgebouwd uit schanskorven:**

Een enkele schanskorf of een stapeling van (diverse) schanskorven kan eveneens een geschikte vooroeververdediging opleveren. Erosie aan de teen van de constructie wordt verhinderd door de schanskorven op bijvoorbeeld een schanskorfmatras met een geotextiel eronder te plaatsen. Een kraagstuk met geotextiel, geballast met breuksteen, voldoet ook. Een schanskorfstapeling moet getoetst worden op het risico van kantelen onder de maatgevende golfomstandigheden. Een dergelijke toetsing zal bij dit type vrijstaande vooroeververdediging altijd uitgevoerd moeten worden.

De korf bestaat uit thermisch verzinkt, geplastificeerd of kunststof gaas. Schanskorven zijn leverbaar in de volgende standaard maten:

- Lengte 2, 3 of 4m met om de meter een tussenschot;
- Breedte 1 of 2m;
- Hoogte 0,5 of 1m.

De meest gangbare afmetingen voor schanskorfmattressen zijn:

- Lengte 3 tot 6m;
- Breedte 2 of 3m;
- Hoogte 0,15 tot 0,30m, maar minimaal 1,8  $D_{n50}$ .

Schanskorven kunnen ook als worst (tube) worden geleverd met een ronde doorsnede. De korf wordt in gevouwen toestand aangevoerd en op het werk in elkaar gezet met behulp van bijgeleverd binddraad. Vervolgens wordt de korf in het werk geplaatst, gevuld met breuksteen en afgesloten. Plaatsing van voorgevulde korven is ook mogelijk. Daardoor zijn schanskorven ook voor onderwater doeleinden inzetbaar.

De duurzaamheid van een schanskorf wordt voornamelijk bepaald door het gebruikte gaasmateriaal voor de korven in relatie tot het milieu waarin de korf wordt toegepast. In zure watersystemen ( $pH < 6$ ) kan de zinklaag van de korf worden aangetast; daarom is in afgesloten wateren met een venige dan wel zandige bodem de toepassing van verzinkte korven niet aan te bevelen. Ook bij toepassing van schanskorven in een zout milieu moet er op worden gelet dat een juiste keuze wordt gemaakt met betrekking tot het toegepaste materiaal voor de korf. Op vrij toegankelijke plaatsen moet rekening worden gehouden met vernieling van de korven. Afhankelijk van het milieu en van de kans op schade kunnen schanskorven tot enkele tientallen jaren meegaan.

Een groot voordeel van schanskorven is het feit dat er met het gebruik van lichte steensorteringen toch een hoge stabiliteit te bereiken is. De steengrootte van de breuksteen in de korf is meestal in de orde van de helft van de steengrootte die zou zijn gebruikt als de breuksteen losgeplaatst zou zijn. Schanskorven zijn goed waterdoorlatend en veelal is een filter of geotextiel nodig om erosie van de ondergrond te voorkomen. Schanskorven nemen weinig ruimte in beslag. Schanskorfmattressen als onderdeel van een taludverdediging kunnen doorgroeit raken waardoor zij op den duur niet meer opvallen.

Een bredere kruin, een ruwer talud en een opener talud geven een lagere doorgelaten golfhoogte. Bij gelijk blijvende doorgelaten golfhoogte kan de kruinhoogte dus verlaagd worden als de breedte of de ruwheid toeneemt. De benodigde zwaarte kan goed berekend worden. Bijzondere aandacht moet worden besteed aan de hoogte van de kruin van de vooroeververdediging ten opzichte van het streefpeil. Bepalende factoren zijn het streefpeil, opwaaiing, de inkomende golfhoogte en de waterdiepte ter plaatse van de vooroeververdediging. Het uitgangspunt bij de kruinhoogtebepaling blijft altijd de gewenste golfhoogte achter de dam.

#### 6.7.1.2 Berekening golfreductie door dam

De invloed van een dam op de golfhoogte is beschreven in CUR 201 (Lit. [16]). De verhouding tussen de doorgelaten en de inkomende golf,  $K_t$ , wordt als volgt beschreven:

$$K_t = a - \frac{0,4h_d}{H_i}$$

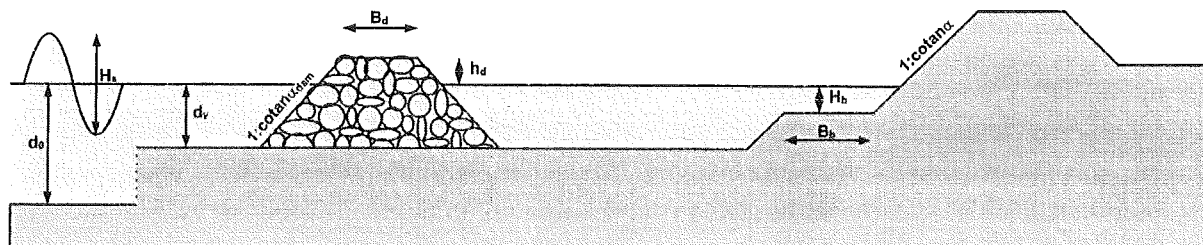
met een maximum  $K_t = 0,80$  en een minimum van  $K_t = 0,075$

De factor  $a$  hierin is:

$$a = \left( \frac{B_d}{H_i} \right)^{-0,31} (1 - e^{-0,5\xi}) A_{dam}$$

waarin:

$B_d$	=	de breedte van de kruin van de dam	[m]
$\xi$	=	de brekerparameter van de dam	[-]
$\alpha$	=	de taludhelling van de dam	[°]
$T_p$	=	de piekperiode van de inkomende golven	[s]
$A_{dam}$	=	een factor die het type van de dam weergeeft	[-]



Figuur 6.10: Breukstenen dam

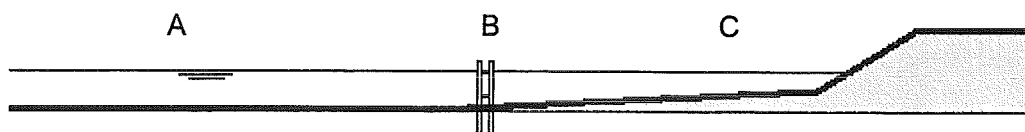
Damtype	$A_{dam}$
Breuksteen en betonnen elementen	0,64
Gladde dichte dam (asfalt)	0,80
Gezette dichte steen	0,80
Blokkenmatten	0,75
Schanskorven	0,70

Tabel 6.3: Waarden voor  $A_{dam}$  voor verschillende damtypen

Over de afstand tussen de dam en de oever is niet veel bekend. De tussenoever of natte strook (gebied tussen dam en kade) mag als ondiepte pas worden meegerekend als de lengte ervan groter is als  $2 \cdot L_0$ . Bij kanalen is de afstand veelal veel kleiner. De minimale breedte van de plasberm leggen wij op 4,0m. Voor de creatie van verschillende ecosystemen kunnen groter breedtes worden gekozen (Lit. [17]).

### 6.7.1.3 Type 2: Palenrijen, al dan niet opgevuld

Een palenrij voor de waterkering heeft tevens als doel een deel van de golfenergie te dissiperen voordat de waterkering wordt bereikt. Het betreft hier een eenvoudige lichte verdedigingsconstructie die effectiever wordt wanneer de palen een grotere diameter krijgen of wanneer de palen dichter op elkaar worden geplaatst.



Figuur 6.11: Principe palenrijen

Relevante aspecten van vooroeververdediging door middel van palenrijen worden weergegeven in Tabel 6.4. Deze aspecten hebben betrekking op de gebieden die met de letters A, B en C zijn aangegeven in Figuur 6.11.



A	B	C
-peilvariaties	-inheidiepte	-breedte vooroever
-golven	-paaldiameter	-diepte vooroever
-waterdiepte	-onderlinge afstand	-soort vegetatie
-stroming	-vulling tussen palen	-breedte vegetatie
-grondparameters	-teen verdediging	-oeverlijn verdedigen
	-grondgesteldheid	-grondgesteldheid

Tabel 6.4: Relevante aspecten vooroeververdediging d.m.v. palenrijen

Mogelijke variaties voor palenrijen zijn: enkele palenrij, enkele palenrij met golfschot, dubbele palenrij met rijshoutvulling of (minder natuurvriendelijk) een vulling van licht puin, grind of kleine breuksteen met daaromheen gaas. Een palenrij kan eventueel voorkomen dat surfers en recreatievaartuigen in de oeverbegroeiing varen en aanleggen.

Voor de benodigde lengte van de palen kan de verhouding worden aangehouden, waarbij tweederde van de paal in de grond steekt en eenderde boven de grond zit. Op een waterdiepte van 1,0 meter en de lengte boven water van 0,30m is de benodigde paallengte dus 3,90m. Door de hart-op-hart afstand van de palen te verkleinen kan meer golfreductie worden verkregen. Wordt op die manier onvoldoende golfdemping verkregen dan kan een extra palenrij worden geplaatst. De afstand tussen de twee rijen palen bedraagt ongeveer 0,20 tot 0,30m.

Blijkt een dubbele palenrij nog niet voor voldoende golfdemping te zorgen dan kan de ruimte tussen de twee palenrijen opgevuld worden met vulmateriaal zoals wilgentenen, dennentakken, maar ook dikkere stammetjes hout, of korven met steenachtig materiaal (schoon puin, slakken, breuksteen of grind). Er kan dan met minder palen per strekkende meter worden volstaan. De vrijgekomen palen kunnen elders worden hergebruikt. Er geldt hoe meer gesloten de constructie wordt, des te groter is de kans op erosie aan de bodem, daar waar de palen de grond in gaan wegens toegenomen golfreflectie. Het aanbrengen van een brede sortering, kleinere stenen als bescherming en filterlaag (tout venant, bijvoorbeeld) kan dan uitkomst bieden.

#### 6.7.1.4 Type 3: Ondiepe vooroever

Dit laatste type valt eigenlijk niet onder de definitie van een vooroeververdediging maar wordt toch in dit rijtje opgenomen omdat het een oplossing betreft die ook wordt toegepast in de strook voor de waterkering. Er is nu geen sprake van een duidelijke constructie in de vooroever die geheel los staat van de waterkering, maar eerder van een constructie in de gehele vooroever waarbinnen ook de natte strook valt. Door het toepassen van een ondiepe vooroever in de vorm van een flauw voortalud kan worden bereikt dat de golven breken voordat de bovenzijde van de waterkering wordt bereikt. Dit in combinatie met bodemwrijving raken de golven een groot deel van hun energie kwijt. Dit voortalud kan met de volgende materialen worden gerealiseerd:

- Zand;
- Grind;
- Beton (niet gebruikelijk, wel mogelijk).

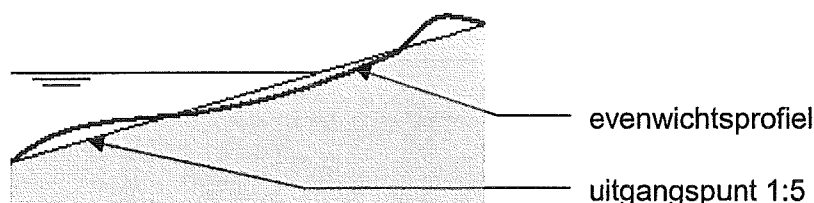


Figuur 6.12: Principe ondiepe vooroever

Bij deze oplossing kan het constante streefpeil van het meer een probleem vormen. De golven concentreren zich steeds op hetzelfde punt, waardoor het gevaar van afkalving ontstaat. Met dit aspect moet rekening worden gehouden bij het ontwerp door de te verwachten stroomsnelheden en de materiaaleigenschappen in een stabiliteitsberekening te betrekken. In het meer is geen sprake van een langtransport van materiaal langs de oever. Wel zorgt de onderstroom en retourstroom van de golven voor een herverdeling van het materiaal in dwarsrichting wanneer het materiaal te licht wordt gekozen of wanneer het verkeert wordt aangebracht.

Voor een speciale toepassing zoals een windsurfstrand wordt vaak de voorkeur gegeven aan het gebruik van grind. De redenen daarvoor kunnen zijn de aanblik, of de vorm van de afzonderlijke stenen. Grind is meestal lichter van kleur en kent diverse kleurschakeringen. Bovendien is grind rond van vorm, in tegenstelling tot gebroken steen, waardoor het aantrekkelijker is om met blote voeten te belopen. Ondanks het verschil in vorm tussen grind (rond) en breuksteen (hoekig) wordt voor beide materialen een zelfde wijze van dimensioneren van (dynamisch stabiele) grindstranden toegepast. Grind wordt bij voorkeur op flauwe taluds toegepast. Zand heeft een fijnere samenstelling dan grind en daarom zal zand eerder in beweging komen. Bij het aanleggen van een klein zandstrand kan het stuiven een probleem vormen.

Er is sprake van twee soorten stabiliteit, namelijk statische en dynamische stabiliteit. Onder maatgevende belastingen zullen bij statisch stabiele toplagen de individuele stenen mogelijk een beetje bewegen, maar het dwarsprofiel verandert niet. Een statisch stabiele toplaag bestaat uit een dunne laag zware stenen op een relatief steile (1:2-1:4) helling. Gesproken wordt hier over de relatieve dikte van de breuksteenlaag omdat die dikte meestal wordt uitgedrukt in de diameter van de toegepaste stenen. De minimale laagdikte van een toplaag bij een statische stabiele constructie met  $1,5D_{n50}$  zijn. Bij de sorteringen 5-40kg en 10-60kg komt dat neer op respectievelijk 0,29m en 0,36m indien een dichtheid van de steen van  $\rho_s = 2500\text{kg/m}^3$  wordt toegepast.



Figuur 6.13: Evenwichtsprofiel ondiepe vooroever

Bij dynamisch stabiele verdedigingen verplaatst het materiaal zich wel, er blijft echter in het dwarsprofiel wel evenveel materiaal aanwezig. Het evenwichtsprofiel krijgt een S-vorm. Een dynamisch stabiele oever heeft een betrekkelijk flauwe (1:5-1:15) helling met daarop een relatief dikke laag kleine stenen of grind. Deze laag is dik om de grootst verwachte vormverandering op te kunnen vangen. Bij dynamisch stabiele constructies is de laagdikte afhankelijk van de grootte van de verwachte vervorming om de evenwichtssituatie te bereiken. Hoe dichter het aangelegde profiel van de evenwichtssituatie benadert, hoe kleiner de benodigde laagdikte bij aanleg kan zijn. De evenwichtshelling van een dynamisch stabiele oever is afhankelijk van de optredende golfhoogte en van de steendiameter.

Voor de maximale golfhoogte, met betrekking tot een maximale golfsteilheid, is de volgende relatie tot de diepte afgeleid (Battjes Lit. [30]):

$$H_{golf} < 0,57 d$$

Waarin:

$d$  = waterdiepte [m]  
 $H_{\text{golf}}$  = golfhoogte [m]

Voor de breedte van een ondiepe vooroever moet minimaal  $2L_0$  worden aangehouden. Dit komt in dit project overeen met een breedte van 28,3m. Als de breedte kleiner wordt aangenomen moet de reductie op de golfhoogte door breking worden verwaarloosd.

### 6.7.1.5 Vooroeververdediging in combinatie met een rietkraag

De bovenstaande typen vooroeververdediging kunnen worden gecombineerd tot een natuurvriendelijke oever door bijvoorbeeld het toepassen van een rietkraag zoals in de huidige situatie. De rietkraag levert ook een aanzienlijke bijdrage in de golfdemping. Ondiepe met water- en oeverplanten begroeide oeverzones zijn tevens van groot belang voor het ecologisch goed functioneren van meren. Planten en struiken die op de oever groeien, kunnen deze in belangrijke mate beschermen. Dit gebeurt via de wortels dat als het ware de grond wapent en via de bovengrondse delen, die de aanval door golven en stroming op de oever en de bodem reduceren. Van riet en mattenbies, wilgen en gras is tamelijk veel bekend over hun beschermende eigenschappen.

De stengels van het riet zullen de belasting op de bodem, dat wil zeggen de uitgeoefende schuifspanning, reduceren. De winst tengevolge van de vegetatie gaat dus dubbelop: een belastingreductie en een grotere sterkte. Wat betreft de golfdemping zijn recente onderzoeksresultaten voorhanden. Laboratoriumproeven en prototypeonderzoek door het RIZA, WL en Rijkswaterstaat hebben geresulteerd in de navolgende relatie voor de golfdemping. Een aandachtspunt bij het toepassen van een rietkraag is dat het eventueel de bergende werking van het meer kan benadelen. Ook is een rietkraag onderhoudsgevoelig en moet onderzocht worden of door toepassing van deze oplossing het uitzicht niet ontnomen wordt.

Als lokaal de recreatiedruk (sportvissen, zwemmen, plankzeilen, afmeren etc.) groot is, kan er als gevolg van het intensieve of oneigenlijke gebruik onbedoeld schade optreden. Om die schade, die zich vrijwel altijd zal beperken tot de taludverdediging rond de waterlijn en daarboven te voorkomen kunnen voorzieningen worden getroffen om de recreatie te verplaatsen naar locaties waar deze goed opgevangen kunnen worden (functiescheiding). Zo kan er een strandje voor zwemmers of voor plankzeilers, afmeergelegenheid voor de recreatievaart en steigers voor de sportvisserij gerealiseerd worden. Die voorzieningen moeten er voor zorgen dat bij normaal recreatief gebruik geen schade wordt aangebracht aan de breuksteenconstructies.

In het rapport Golfdemping door riet (Lit. [19]) wordt een methode beschreven om de golfdemping van riet te berekenen. De relatieve golfhoogte wordt hier voorspeld als functie van de biomassa en stijfheid van het riet en de breedte van de rietkraag. Belangrijke factoren in deze formule zijn het aantal levende stengels per  $m^2$  en de seizoensinvloed.

De gebruikte formule voor demping van golven door een rietkraag luidt:

$$\frac{H_t}{H_i} = 1 - p \left[ 1 - \exp(-0,001 N_s^{0,80} B_{\text{eff}}) \right]$$

met:  $B_{\text{eff}} = B / \cos\beta$

Waarin:

$H_t$  = golfhoogte in de rietkraag [m]  
 $H_i$  = inkomende golfhoogte buiten de vegetatiezone [m]

$N_s$	=	aantal levende stengels per $m^2$	[aantal/ $m^2$ ]
$p$	=	seizoensafhankelijke reductiefactor golfdemping	[-]
$B$	=	breedte rietkraag	[m]
$B_{eff}$	=	effectieve breedte van de rietkraag	[m]
$\beta$	=	hoek van golfival	[°]

Voor de factor  $p$  gelden de volgende waarden afhankelijk van het seizoen:

januari t/m maart	:	$p = 0,2$
april t/m juni	:	$p = 0,8$
juli t/m september	:	$p = 1,0$
oktober t/m december	:	$p = 0,6$

### 6.7.2 Reduceren overhoogte

Om de kruinhoogte van een kade te reduceren kan naast de waakhogte natuurlijk ook de overhoogte worden gereduceerd. Om de overhoogte van een kadelichaam te beperken kan ervoor worden gekozen om extra voorzieningen te treffen.

In de uitvoerfase zou gekozen kunnen worden voor een bouwmethode waar rekening wordt gehouden met de zetting bij een eventuele verhoging van de waterkering. Er moet hierbij gedacht worden aan een versnelde zetting waardoor de overhoogte gereduceerd kan worden in de berekening van de aanleghoogte. Consolidatie van de samendrukbare grondlagen is een langzaam lopend proces, dat gepaard gaat met zettingen van het terrein en met tijdelijke verlaging van de ondergrond. Afhankelijk van de dikte van het pakket samendrukbare lagen kan het op natuurlijke wijze consolideren jaren in beslag nemen. Er zijn kunstmatige hulpmiddelen om dit proces te versnellen.

Deze versnelde zetting in de bouwphase kan uitgevoerd worden met verschillende methoden:

- Aanbrengen van een voorbelasting;
- Toepassen van een verticale drainage in combinatie met een voorbelasting;
- Grondverbetering toepassen;
- Injecteren.

Daarnaast zijn er nog mogelijkheden in het technisch ontwerp die zetting en klink kunnen reduceren. Deze zijn:

- Damwand in de waterkering;
- Gebruik van zettingsarm ophoogmateriaal

Deze methoden worden vervolgens besproken.

#### 6.7.2.1 Aanbrengen voorbelasting

Een zetting van de ondergrond verloopt direct na belasten het snelst. Daarna verloopt de verdere zetting logaritmisch met de tijd steeds langzamer. Door het toepassen van een voorbelasting (groter dan de latere permanente belasting) kan het grootste deel van de zetting dus al bereikt worden en behoeft slechts een klein deel van de totale zetting in rekening te worden gebracht voor de overhoogte. De voorkeur gaat uit naar een ophoogmateriaal met een hoog soortelijk gewicht waardoor met minder materiaal hetzelfde resultaat kan worden behaald. Meestal zal worden gekozen voor een ophoogmateriaal dat op dat moment (goedkoop) voor handen is, zoals klei of zand dat is vrijgekomen bij andere projecten in de omgeving. Veen is te licht en komt niet in aanmerking.

#### 6.7.2.2 Verticale drainage

Een verticale drainage zorgt ervoor dat de verticale doorlatendheid van de ondergrond enorm wordt vergroot. Het overspannen grondwater kan zo over relatieve korte afstand via

de grond horizontaal naar de verticale drains stromen en vervolgens naar buiten kan treden. Eventueel kan in combinatie met een pomp de zetting sneller verlopen.

### ***6.7.2.3 Grondverbetering***

De samendrukbare laag (het veenpakket) kan worden afgegraven en worden vervangen door bijvoorbeeld een zandpakket. Deze toepassing is het meest aantrekkelijk wanneer de samendrukbare laag zich niet te diep bevindt.

### ***6.7.2.4 Injecteren***

Bij deze methode kan door middel van injecteren in de bodem de grond draagkrachtiger gemaakt worden. Veel gebruikte methoden zijn gel-injecties en grout-injecties.

### ***6.7.2.5 Damwand in waterkering***

Door een tweetal damwanden in de waterkering aan te brengen kan met relatief weinig ophoogmateriaal de verhoging worden gerealiseerd. Daarnaast leveren de damwanden 'kleef' waardoor een deel van het gewicht door de damwanden wordt opgenomen. Dit reduceert de gewichtsbelasting op het onderliggende veenpakket waardoor met een geringe zetting gerekend kan worden voor de aan te brengen overhoogte. Daarnaast zal ook de klink minder zijn dan met een normale verhoging door middel van alleen grond.

### ***6.7.2.6 Gebruik van zettingsarm ophoogmateriaal***

Er kan ook gekozen worden voor een ophoogmateriaal met een laag soortelijk gewicht zoals veen. Het gevaar bij deze keuze is de stabiliteit van de kruin van de waterkering. Wanneer de ophoging te licht wordt gekozen kan de top afschuiven als gevolg van de hydraulische belastingen. Een stabiliteitsberekening is dus te allen tijde noodzakelijk.

Daarnaast kan ook gekozen worden voor een verticale verdediging wanneer er een ruimtegebrek is voor de uitvoer van een verzwaring van de waterkering. In andere situaties is deze oplossing minder aantrekkelijk omdat het hier een bijzondere constructie betreft die naast het eerder genoemde voordeel weinig andere voordelen biedt en kostbaarder is om te realiseren.

## 7 Vergelijk berekeningsmethoden

Een van de subvragen in ons project was om de gebruikte berekeningsmethode in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) te toetsen en daarna het vinden van eventuele rekentechnische mogelijkheden om de kruinhoogte te verlagen.

Als eerste zal worden gekeken of de berekende kruinhoogte volgens het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) klopt met door ons gevonden waarden. Hiertoe is een Excel spreadsheet (Bijlage F) ontwikkeld waarmee de waakhoogte en de kruinhoogte kan worden berekend. De berekeningen worden stapsgewijs vergeleken.

### 7.1 Verfijnen rekenmethode

De rekenmethode die gebruikt is in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) is gelijk aan de methode die gebruikt wordt in de toen, in 2002, vigerende TAW-publicaties. In mei 2002 is door de TAW een nieuwe richtlijn uitgebracht met betrekking tot golfoploop en golfoverslag. In het voorgaande hoofdstuk is deze nieuwe methode besproken. Slechts enkele factoren in deze nieuwe richtlijn verschillen met de methode die gebruikt is in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]), maar dit leidt niet tot significante verschillen.

Wat wel tot grote verschillen leidt is de aanname in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) dat  $T_p \approx T_s$ . Volgens Goda (Lit. [21]) geldt voor normale spectra echter dat  $T_s = 0,94T_p$ . Bij ons onderzoek is gebleken dat dit een aanzienlijke verhoging van de benodigde kruinhoogte tot gevolg heeft in vergelijking tot de gebruikte aanname in het rapport.

Voor het schatten van de golfhoogte en golfperiode zijn tal van formules ontwikkeld die allen gebaseerd zijn op waarnemingen. In de publicatie Methoden voor Golfvoorspelling (Lit.[20]) is hiernaar onderzoek gedaan. Uit deze publicatie komt naar voren dat voor de in dit project geldende strijklengte de door ons gebruikte methode van Bretschneider een redelijke benadering is voor de significante golfhoogte en de golfperiode. Wij zullen dan ook deze methode gebruiken voor de berekening van de golfparameters.

### 7.2 Invoerparameters

Een manier om de berekende kruinhoogte te verlagen is het aanpassen van enkele invoerparameters. Het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) gebruikt voor een aantal invoerparameters een indeling in klassen, waardoor de berekening erg grof wordt. Door dit te verfijnen kan er dus een nauwkeurigere kruinhoogte worden berekend. Verder stelt het rapport alle invloedsfactoren ( $\gamma$ ) die de golfoploop en golfoverslag beïnvloeden gelijk aan 1,0, zodat hierdoor geen reductie van de golfoploop optreedt. Door deze factoren op de situatie aan te passen kan de waakhoogte mogelijk worden gereduceerd.

Voor de duidelijkheid is de formule waarmee de kruinhoogte wordt berekend hieronder nogmaals weergegeven:

$$h_{kruin} = MBP + \sigma + w + o$$

Waarbij:

$MBP$  = het maatgevende boezempeil

$\sigma$  = een marge welke onzekerheden in het MBP compenseert

$w$  = waakhoogte (golfoploop, -overslag en bui-oscillaties, buistoten en lokale opwaaiing)

$o$  = een overhoogte, bijvoorbeeld in verband met verwachte zettingen en/of klink

Vervolgens worden de in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) gebruikte invoerparameters geanalyseerd en eventueel aangepast.

### 7.2.1 Maatgevend boezempeil

Zoals vermeld in hoofdstuk 6.3 is het maatgevend boezempeil bepaald door een interpolatie van meetgegevens over een periode van 29 jaar. De manier waarop dit interpoleren is gedaan is goed, maar wij hebben wel geconstateerd dat het meetpunt dat de maatgevende boezempeil meet voor de Fluessen zich bevindt in een zijtak van de Fluessen. De gemeten waterstand in deze zijtak kan veel lager zijn dan de werkelijke waterstand op de Fluessen. Dit komt omdat de waterstand in een kom, door wrijving langzamer en ook minder reageert op schommelingen in het buitenwater (kombergingsbenadering).

Ondanks dit zullen wij in dit project de door het Wetterskip berekende maatgevende boezempeil gebruiken, omdat het herberekenen van de maatgevende boezempeil buiten de doelstellingen van dit project valt. Het te gebruiken maatgevende boezempeil is dus  $-0,20\text{m}$  NAP.

### 7.2.2 Marge voor onzekerheden in het MBP

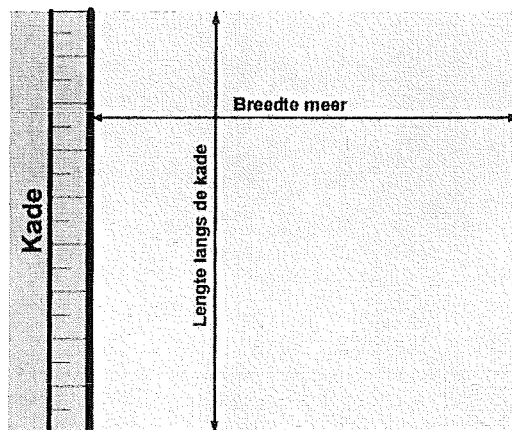
Volgens het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) moet voor deze marge een waarde van  $\sigma = 0,10\text{m}$  worden aangehouden. Deze waarden houden wij ook aan in onze berekeningen. Zie ook hoofdstuk 6.4.

### 7.2.3 Waakhoogte

Bij de berekening van de waakhoogte wordt eerst de golfgroei berekend. Belangrijke invoerparameters in de gebruikte formules van Bretschneider zijn de diepte van het meer ( $d$ ), de strijklengte ( $F$ ) en de windsnelheid ( $u$ ). In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) is voor deze parameters een indeling in klassen gebruikt. Door deze parameters nauwkeuriger te bepalen voor de kade die in dit project moet worden berekend kan mogelijk de kruinhoogte worden gereduceerd.

#### 7.2.3.1 Strijklengte

Het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) neemt voor de effectieve strijklengte een waarde aan van 0,9 maal de breedte van het meer, dit voor meren tot 5km. De factor 0,9 is het resultaat van de berekening van de effectieve strijklengte met de aanname dat het een vierkant meer betreft.



Figuur 7.1 Dimensies meer

Opmerkelijk is het dat voor een meer tot 7km breed het rapport een strijklengte aanneemt van 0,66 maal de breedte van het meer. Dit komt omdat er in het berekeningsprogramma

voor de effectieve strijklengte een maximum is gesteld aan de lengte langs de kade. Dit maximum zit op 5 km. Voor een meer tot 7km rekent het programma dus met een breedte van 7km en een lengte langs de kade van 5km. Vandaar dat er dan een lagere vermenigvuldigingsfactor ontstaat.

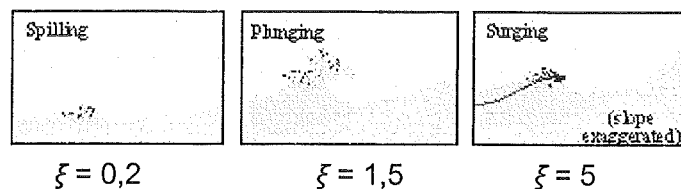
De schrijver van het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]), dhr. Niemeijer van Arcadis Apeldoorn, adviseert om in het geval van grote meren altijd de effectieve strijklengte in de situatie zelf uit te rekenen (Bijlage E). Dit hebben wij in hoofdstuk 8 dan ook gedaan.

### 7.2.3.2 Invloedsfactoren

De invloed van bermconstructies, ruwheid, de hoek van golfaanval of een (verticale) wand wordt verrekend in invloedsfactoren. In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) wordt alleen de invloed van de hoek van golfaanval meegenomen. Door invulling van alle invloedsfactoren kan de berekende waakhoogte lager worden. Tevens komen de berekende waarden dicht bij de werkelijk optredende golfoploop en golfoverslag.

### 7.2.3.3 Taludhelling

De helling van het talud heeft samen met de golfhoogte en de golflengte invloed op de vorm van breken van de inkomende golven, dit wordt uitgedrukt als het Irribarren-getal ( $\xi$ ). De vorm van breken speelt een belangrijke rol voor het gedrag van golven op een helling.



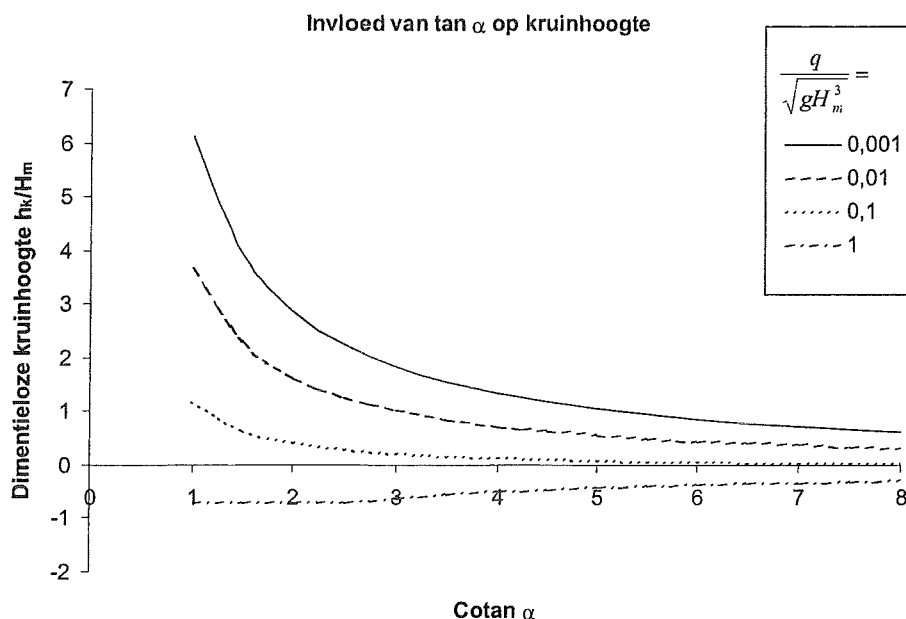
Figuur 7.2 Helling van het talud (brekertypen)

Reflectie, breekdiepte, golfoploop maar ook de stabiliteit van het bekledingsmateriaal op de helling is van het Irribarren-getal afhankelijk. Verticale wanden reflecteren inkomende golven volledig. Reflectie is gedefinieerd als de verhouding ( $K_R$ ) van de gereflecteerde golfhoogte tot de inkomende golfhoogte. In het algemeen geldt dat de reflectiecoëfficiënt evenredig is met het kwadraat van het Irribarren getal.

Energie die niet wordt gereflecteerd of wordt opgenomen, zal op de helling worden geabsorbeerd door de bekleding. Een laag Irribarren-getal betekent een kleine reflectie, dus een flauwe helling geeft meer absorptie wat een grotere belasting geeft op de bekleding. Daarnaast is wel de energie absorptie per  $m^2$  lager en het uiteindelijke resultaat is daarom gunstiger. Een ander aspect is dat bij een steilere helling er "plunging" golven ontstaan die het effect hebben om een sterk geconcentreerde golfklap te geven recht op de bekleding. Dit type brekende golven kan dan ook voor de meeste schade zorgen aan een bekleding.

Voor een steiler talud zullen de golven pas breken op een kleinere diepte. Golven hebben tijd nodig om te breken waardoor ze kunnen blijven bestaan tot die kleinere diepte. De golfoploop bereikt een maximum rond  $\xi = 2,5 - 3$ , dat is in het overgangsgebied tussen brekende en niet-brekende golven.





Figuur 7.3: Invloed van taludhelling op de waakhogte

In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) wordt voor alle kaden een taludhelling van 1:3 aangehouden. Door het verflauwen van de taludhelling kan de golfoploop worden gereduceerd afhankelijk van het overslagdebiet (zie Figuur 7.3).

#### 7.2.3.4 Overslagdebiet

Een andere mogelijkheid om de kruinhoogte te reduceren is het vergroten van het toelaatbare overslagdebiet. Het toelaatbare overslagdebiet hangt in grote mate af van de gebruikte taludbekleding. De huidige taludbekleding is gras. In de toekomstige situatie moet voorkomen worden dat het landschapsbeeld zo weinig mogelijk wijzigt. Daarom zal bij voorkeur gras toegepast worden als taludbekleding. Het toelaatbare overslagdebiet bij het toepassen van een grasbekleding is dan 0,1 of 1,0 l/s/m<sup>1</sup>, omdat er niet vanuit wordt gegaan dat de grasbekleding rond het Fluessen perfect onderhouden wordt. Bij een overschrijdingskans van 1:100 kan voor deze kade een overslagdebiet van 1,0 l/s/m<sup>1</sup> worden toegepast. Er dienen wel voldoende maatregelen genomen te worden om dit debiet af te kunnen voeren. Hierbij kan gedacht worden aan het afvoeren van het overslagdebiet naar de nabijgelegen vijver. De uitwerking van deze afvoermaatregelen behoren niet tot de doelstellingen van dit project.

#### 7.2.3.5 Reductie golfhoogte

Tenslotte is er de mogelijkheid om de inkomende significante golfhoogte te verlagen, waardoor golfoploop en golfoverslag gereduceerd kunnen worden. Hiervoor zijn diverse maatregelen mogelijk. Deze werden behandeld in hoofdstuk 6.7.

## 8 Herberekening Friese Kaden

Om de benodigde waakhoogte en/of kruinhoogte te berekenen is door de projectgroep CF34 een spreadsheet ontwikkeld. Alle punten die in het hoofdstuk 6 zijn genoemd zijn hierin meegenomen.

### 8.1 Waakhoogte met oorspronkelijke invoerparameters

Als eerste zijn hiermee de in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) berekende waakhoogtes herberekend voor de windrichting Noord en West, met de invoerparameters die in dat rapport zijn gebruikt. De resultaten van deze berekeningen voor de windrichting Noord zijn in de tabellen 2 tot en met 5 weergegeven.

oriëntatie	Noord u = 21m/s			
waterdiepte [m]	overslag [l/s/m]			
	0,1		1,00	
	Friese norm	Spreadsheet	Friese norm	Spreadsheet
2,5	1,06	1,13	0,73	0,78
2	1,00	1,07	0,68	0,74
1,5	0,92	0,98	0,62	0,67
1	0,78	0,83	0,52	0,56

Tabel 8.1: Waakhoogte in [m] voor meren tot 1 km breed

oriëntatie	Noord u = 21m/s			
waterdiepte [m]	overslag [l/s/m]			
	0,1		1,00	
	Friese norm	Spreadsheet	Friese norm	Spreadsheet
2,5	1,59	1,70	1,12	1,20
2	1,45	1,55	1,02	1,09
1,5	1,26	1,35	0,87	0,94
1	0,99	1,06	0,67	0,72

Tabel 8.2: Waakhoogte in [m] voor meren tot 3 km breed

oriëntatie	Noord u = 21m/s			
waterdiepte [m]	overslag [l/s/m]			
	0,1		1,00	
	Friese norm	Spreadsheet	Friese norm	Spreadsheet
2,5	1,83	1,97	1,30	1,41
2	1,64	1,76	1,16	1,25
1,5	1,39	1,50	0,97	1,05
1	1,07	1,15	0,73	0,79

Tabel 8.3: Waakhoogte in [m] voor meren tot 5 km breed

oriëntatie	Noord u = 21m/s			
waterdiepte [m]	overslag [l/s/m]			
	0,1		1,00	
	Friese norm	Spreadsheet	Friese norm	Spreadsheet
2,5	1,85	2,14	1,32	1,53
2	1,64	1,89	1,17	1,34
1,5	1,40	1,58	0,98	1,11
1	1,07	1,19	0,73	0,82

Tabel 8.4: Waakhoogte in [m] voor meren tot 7 km breed

De resultaten die wij hebben berekend met het spreadsheet zijn steeds groter dan de berekende waakhoogtes die berekend zijn in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]). De verschillen hierin zijn te verklaren door de in onze ogen foute aanname in het rapport dat  $T_p \approx T_s$ . Ook zit er volgens ons een fout in de berekening voor de effectieve strijklengte voor een meer tot 7km, waar een reductiefactor op de strijklengte gebruikt wordt van 0,66.

De resultaten van de berekeningen met het spreadsheet zijn gecontroleerd en goed bevonden met behulp van het programma PC-Overslag van de TAW.

## 8.2 Kruinhoogte

In eerste instantie wordt bij de berekening van de kruinhoogte geen rekening gehouden met overhoogte die nodig is om effecten als zettingen en klink te compenseren. Dit wordt gedaan omdat het in eerste instantie gaat om het toetsen van een bestaande kruinhoogte van een kade, waar zettingen en klink al zijn opgetreden. De kruinhoogte is met deze aanname dus gelijk aan:

$$h_{kruin} = MBP + \sigma + w$$

Hierbij is:  $MBP = -0,20\text{m} + \text{NAP}$

$\sigma = 0,10\text{m}$

$w = \text{waakhoogte door golven} + \text{waakhoogte t.b.v opwaaiing, bui-oscillaties, buistoten} = \text{waakhoogte door golven} + 0,10\text{m}$

dus:

$$h_{kruin} = -0,20 + 0,10 + 0,10 + h_{w,golf} + \text{NAP} = h_{w,golf} + \text{NAP}$$

## 8.3 Eerste aanpassingen

Vervolgens worden een aantal invoerparameters aangepast om de berekening wat meer op de werkelijke situatie in Elahuizen toe te spitsen. Op deze manier wordt getracht een lagere kruinhoogte te verkrijgen.

### 8.3.1 Strijklengte

Allereerst wordt de strijklengte aangepast. In dit project wordt uitgegaan van een meer tot 3km breed volgens de tabellen van het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]). Om de kruinhoogte nauwkeuriger te kunnen berekenen in dit project, wordt de effectieve strijklengte op de kade in Elahuizen met behulp van Saville's methode uit het CUR rapport 169 (Lit. [13]) berekend. De berekeningen hiervan zijn gedaan in Bijlage C. In Bijlage C wordt de strijklengte berekend voor 4 situaties. Deze zijn:

- Wind uit Noordelijke richting loodrecht op de kade ( $F = 2271\text{m}$ ,  $\beta = 0^\circ$ );

- Wind uit Noordelijke richting met een maximale strijklengte ( $F = 2804\text{m}$ ,  $\beta = 38^\circ$ );
- Wind uit Westelijke richting met een maximale strijklengte ( $F = 2367\text{m}$ ,  $\beta = -27^\circ$ );
- Wind uit Westelijke richting onder zo klein mogelijke hoek op de kade ( $F = 2288\text{m}$ ,  $\beta = -7^\circ$ ).

Voor deze verschillende effectieve strijklengten kan vervolgens de waakhoogte worden bepaald.

### 8.3.2 Waterdiepte

Een andere factor die veel invloed heeft op de golfgroei en de golfoploop en golfoverslag is de diepte van het water. De maximaal optredende waterdiepte in de Fluessen is 2,5m.

### 8.3.3 Taludhelling

Volgens het standaard dwarsprofiel van de bestaande kade in Elahuizen is de taludhelling van het buitentalud gemiddeld ongeveer 1:4. Dit levert ook een aanzienlijke vermindering op van de waakhoogte die berekend is in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]).

### 8.3.4 Invloedsfactoren

Voor als nog worden er geen constructies aangebracht en dus worden de factoren voor de invloed van een berm  $\gamma_b$  en voor de invloed van een (verticale) wand  $\gamma_v$  nog even gelijk gehouden aan 1,0. Wel wordt nu rekening gehouden met de invloed van de ruwheid van het grastalud en met de invloed van golven onder een hoek.

## 8.4 Berekening waakhoogte met eerste aanpassingen

Vervolgens wordt de waakhoogte berekend met de bovengenoemde aanpassingen. De diepte wordt op 2,5m aangenomen. De strijklengte is afhankelijk van de oriëntatie. Voor de oriëntatie kunnen de 4 gebieden worden onderscheiden waarvoor eerder de effectieve strijklengte is bepaald. Berekeningen van de waakhoogte zijn gemaakt voor taludhellingen van 1:3 en 1:4 bij het meest eenvoudige profiel.

Waakhoogte	Noord	Noord	West	West
Overslagdebiet [l/s/m]	$u = 21\text{m/s}$	$u = 21\text{m/s}$	$u = 26,5\text{m/s}$	$u = 26,5\text{m/s}$
	$\beta = 0^\circ$	$\beta = 38^\circ$	$\beta = -27^\circ$	$\beta = -7^\circ$
	$F = 2271\text{m}$	$F = 2804\text{m}$	$F = 2367\text{m}$	$F = 2288\text{m}$
0,1	1,44	1,38	1,85	1,96
1	1,02	0,98	1,32	1,40

Tabel 8.5: Waakhoogte in [m] met eerste aanpassingen bij taludhelling 1:3

Waakhoogte	Noord	Noord	West	West
Overslagdebiet [l/s/m]	$u = 21\text{m/s}$	$u = 21\text{m/s}$	$u = 26,5\text{m/s}$	$u = 26,5\text{m/s}$
	$\beta = 0^\circ$	$\beta = 38^\circ$	$\beta = -27^\circ$	$\beta = -7^\circ$
	$F = 2271\text{m}$	$F = 2804\text{m}$	$F = 2367\text{m}$	$F = 2288\text{m}$
0,1	1,06	1,02	1,36	1,44
1	0,74	0,71	0,97	1,02

Tabel 8.6: Waakhoogte in [m] met eerste aanpassingen bij taludhelling 1:4

Te zien is dat de westenwind maatgevend is en dat zonder andere aanpassingen een waakhoogte van 1,40m nodig is bij een taludhelling van 1:3 en een waakhoogte van 1,02m bij een taludhelling van 1:4. Vervolgens wordt bekeken wat het effect is van de diverse mogelijkheden om de kruinhoogte te reduceren.

#### 8.4.1 Waakhoogte bij toepassing breukstenen dam

Vervolgens worden naast alle in hoofdstuk 7 genoemde aanpassingen ook een breukstenen dam in het spreadsheet ingevoerd. Er volgt dan dat de waakhoogte aanzienlijk minder wordt. De berekeningsmethode die beschreven is in hoofdstuk 6.7.1.2 is hierbij gebruikt. In Tabel 8.7 en Tabel 8.8 is de invloed hiervan weergegeven voor een taludhelling van de kade van 1:3 en 1:4. De afmetingen van de dam zijn hierbij variabel gemaakt.

Als invoerparameters is hiervoor aangenomen:

Taludhelling dam	: $\tan \alpha = 1:2,5$
Damtype	: $A_{\text{dam}} = 0,64$ (breuksteen)
Windsnelheid (west)	: $u = 26,5\text{m/s}$
Hoek van golfaanval	: $\beta = -7^\circ$
Strijklengte	: $F = 2288\text{m}$
Overslagdebiet	: $q = 1\text{ l/s/m}$

Waakhoogte					
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Breedte kruin $B_d$ [m]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
-0,3	1,20	1,16	1,09	1,04	0,98
-0,2	1,20	1,10	1,02	0,93	0,87
-0,1	1,20	1,04	0,90	0,81	0,75
0	1,13	0,93	0,79	0,71	0,64
0,1	1,07	0,82	0,68	0,60	0,54
0,2	1,00	0,71	0,58	0,50	0,44

Tabel 8.7: Waakhoogte in [m] bij toepassing van een dam bij taludhelling 1:3

Waakhoogte					
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Breedte kruin $B_d$ [m]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
-0,3	0,89	0,85	0,79	0,76	0,73
-0,2	0,89	0,80	0,75	0,71	0,68
-0,1	0,87	0,76	0,70	0,66	0,64
0	0,83	0,71	0,65	0,61	0,59
0,1	0,78	0,67	0,60	0,56	0,53
0,2	0,74	0,62	0,55	0,50	0,44

Tabel 8.8: Waakhoogte in [m] bij toepassing van een dam bij taludhelling 1:4

### 8.4.2 Waakhoogte met toepassing van palenrijen

De reductiefactor voor de golfhoogte door een palenrij is berekend in Tabel 8.10.

Reductiefactor golfhoogte $K_r$				
Paaldiameter [m]	H.o.h. afstand [m]			
	0,15	0,20	0,25	0,30
0,10	0,75	0,87	0,92	0,94
0,14	0,36	0,71	0,83	0,88
0,20	0,00	0,00	0,60	0,75

Tabel 8.9: Reductiefactor op golfhoogte door toepassing palenrijen

Het plaatsen van palenrijen is een duur en arbeidsintensief proces, globale kosten voor het plaatsen van een palenrij worden geschat op 250 euro per strekkende meter palenrij. Aangezien in dit project gezocht moet worden naar een goedkope en duurzame oplossing zal daarom geen palenrij worden toegepast.

### 8.4.3 Waakhoogte met toepassing van een berm

Vervolgens wordt in plaats van een breukstenen dam een berm in het model ingevoerd. Dit heeft veel effect op de waakhoogte. In Tabel 8.10 en Tabel 8.11 is voor verschillende invoerparameters van de berm steeds de waakhoogte weergegeven voor taludhelling 1:3 en 1:4.

Als invoerparameters zijn hiervoor aangenomen:

Windsnelheid (west)	: $u = 26,5\text{m/s}$
Hoek van golfaanval	: $\beta = -7^\circ$
Strijklengte	: $F = 2288\text{m}$
Overslagdebiet	: $q = 1\text{ l/s/m}$

Waakhoogte					
Hoogte berm boven MBP $H_b$ [m]	Breedte berm $B_b$ [m]				
	1,5	2	2,5	3	3,5
-0,2	1,03	0,94	0,86	0,80	0,78
-0,1	1,01	0,92	0,84	0,78	0,78
0	1,01	0,91	0,84	0,78	0,78
0,1	1,01	0,92	0,84	0,78	0,78
0,2	1,02	0,93	0,85	0,79	0,78

Tabel 8.10: Waakhoogte in [m] bij toepassing van een berm bij taludhelling 1:3

Waakhoogte					
Hoogte berm boven MBP $H_b$ [m]	Breedte berm $B_b$ [m]				
	1,5	2	2,5	3	3,5
-0,2	0,81	0,75	0,70	0,66	0,62
-0,1	0,80	0,74	0,69	0,64	0,60
0	0,79	0,74	0,68	0,64	0,60
0,1	0,80	0,74	0,69	0,64	0,60
0,2	0,81	0,75	0,70	0,66	0,62

Tabel 8.11: Waakhoogte in [m] bij toepassing van een berm bij taludhelling 1:4

Duidelijk is dat een berm op MBP met een breedte van 3,5m een maximale reductie geeft. Met deze berm zal dus ook in het vervolg verder gerekend worden.

#### 8.4.4 Berekeningen met invloed rietkraag

Zoals in hoofdstuk 6.7.1.5 is beschreven kan de golfhoogte en hiermee ook de waakhoogte worden gereduceerd door een rietkraag toe te passen.

Wanneer als maatgevende seizoen het seizoen januari t/m maart genomen wordt, omdat dan de factor  $p$  het laagst is, kan de reductiefactor voor de invloed van een rietkraag bepaald worden voor de verschillende breedtes van de rietkraag en voor verschillende waarden voor  $N_s$ . Een overzicht is te zien in Tabel 8.12.

Reductiefactor voor invloed rietkraag				
$N_s$	Breedte rietkraag [m]			
	5	10	15	20
50	0,98	0,96	0,94	0,93
100	0,96	0,93	0,91	0,89
200	0,94	0,90	0,87	0,85
400	0,91	0,86	0,83	0,82

Tabel 8.12: Reductiefactor voor de invloed van een rietkraag

Rekening houdend met het feit dat door het recreatieve gebruik van de oever het aantal stengels per  $m^2$  ook beperkt blijft tot 50 stengels per  $m^2$ , kan gesteld worden dat de invloed van een rietkraag op de golfhoogte klein is. Ook is het zo dat volgens CUR 201 (Lit. [16]) een rietkraag mag worden toegepast bij golfhoogtes kleiner dan 0,4m. De golfhoogte in de Fluessen ligt volgens onze berekeningen rond de 0,7m bij de gegeven windgegevens en afmetingen van het meer. Ook bij het toepassen van een dam in het voorland blijft de golfhoogte groter dan 0,4m. Daarom is het niet nodig om verder te rekenen met een golfreductie door een rietkraag. Een rietkraag mag wel evengoed worden toegepast, maar rekentechnisch levert de rietkraag geen reductie van de golfhoogte op.

### 8.4.5 Berekeningen met invloed ondiepe vooroever

Vervolgens wordt de waakhoogte berekend in het geval dat er een ondiepe vooroever wordt toegepast reduceert de waakhoogte tot de in Tabel 8.13 vermelde waarden.

Diepte vooroever $d_v$ [m]	Waakhoogte [m] talud 1 : 3	Waakhoogte [m] talud 1 : 4
1,3	1,42	1,04
1	1,2	0,87
0,75	0,94	0,72
0,63	0,55	0,54
0,5	1,42	1,04

Tabel 8.13: Waakhoogte bij toepassing van een ondiepe vooroever

Met deze gegevens worden in hoofdstuk 11 diverse varianten toegelicht.

## 8.5 Stabiliteit

De stabiliteit van een kadelichaam wordt gekarakteriseerd door:

- De weerstand tegen het optreden van piping of heave;
- De weerstand van het dijklichaam tegen afschuiven (macrostabiliteit), zowel buitenwaarts (zettingsvloei, afschuiving voorland, afschuiving buitentalud) als binnenwaarts (afschuiving binnentalud);
- De weerstand van het dijklichaam tegen uitspoelen van grond of afdrukken van de toplaag van het binnentalud ten gevolge van kwel uit het binnentalud (microstabiliteit);
- Het gedrag van de bekleding;
- Het gedrag van niet-waterkerende objecten op of in de dijk.

Omdat de te verwachten kruinhoogte van de kade en het maximale waterstandsverschil erg laag is en omdat de taludhelling erg flauw is, is het in het kader van dit vooronderzoek voorlopig niet noodzakelijk om aan dergelijke zaken te rekenen. In dit verslag verder ook geen stabiliteitsberekeningen uitvoeren.



## **9    Programma van eisen**

De in hoofdstuk 4 opgestelde beperkingen worden in dit gedeelte omgezet in concreet programma van eisen.

### Natuurlijke eisen

- De aanwezige rietkragen worden indien mogelijk intact gelaten en de eventueel te kappen bomen worden na uitvoering vervangen door nieuwe aanplant.
- Gebruik wordt gemaakt van natuurvriendelijk materiaal

### Technische/constructieve eisen

- Alle belastingen / golfhoogtes conform TAW Leidraad Toetsen op Veiligheid (Lit. [4]).
- Eisen met betrekking tot haven:
  - Vaardiepte in de haven moet minimaal 2 meter zijn.
  - Vaarbreedte in haven moet minimaal 15 meter zijn.
  - Kadehoogte maximaal 0,75 m NAP.
  - Maatregelen moeten getroffen worden om boten in de jachthaven tegen golven te beschermen.
- Eisen met betrekking tot kade langs Fluessen:
  - Kadehoogte maximaal 0,75 m NAP.
  - Maximale taludhelling is 1:3.
  - Maximale overslagcriterium is 1,0 l/s/m'.
  - Overhoogte door zetting moet meegerekend worden bovenop maximale kadehoogte.
  - Zetting en klink moeten worden bepaald voor een periode van 30 jaar.
  - Maatgevend boezempeil, MBP = -0,2m NAP (overschrijdingskans 1:100).
  - Minimale kruinbreedte is 1,5 meter.
  - Uitbreiding van kering moet richting de Fluessen geschieden.
- Eisen gesteld aan behoud strandje:
  - Maatregelen treffen om evenwichtsprofiel van het strandje te waarborgen.

### Economische/maatschappelijke eisen

- Levensduur van de kering is 50 jaar.
- Intact laten van recreatie strand.
- Intact laten woningen in projectgebied.

### Uitvoertechnische eisen

- Uitvoering niet tijdens zeilhoogseizoen.
- Uitvoering van het project mag niet geschieden tussen mei en oktober. Dit vanwege de aanwezigheid van de noordse woelmuis
- Ondergrondse infrastructuur mag niet verstoord worden

## **DEEL B**

## **ONTWERPTRAJECT**

## **10 Toetsingscriteria**

### **10.1 Inleiding**

In dit hoofdstuk wordt er een beschrijving gegeven van de effecten die de verschillende alternatieven hebben op een aantal criteria. Op deze effecten kunnen de alternatieven in een multi-criteria-analyse (MCA) worden vergeleken. In hoofdstuk 11 wordt dit uitgewerkt voor de waterkering bij het bungalowpark en in hoofdstuk 13 voor de waterkering in de jachthaven.

### **10.2 Criteria**

De alternatieven worden onderzocht op de volgende toetsingscriteria:

#### *Landschap*

- behoud natuur
- Visuele hinder
  - Uitzicht
  - Landschappelijk karakter

#### *Sociale aspecten*

- Multifunctioneel
  - Recreatie
  - Natuur
- Maatschappelijke weerstand
- Voordeel voor zeilers

#### *Technische aspecten*

- Technische uitvoering
- Bouwhinder
  - Bouwtijd
  - Stremming

#### *Economische aspecten*

- Aanleg kosten
- Onderhoud
  - Onderhoudskosten
  - Mate van onderhoud
- Duurzaamheid

### **10.3 Beschrijving criteria**

Hieronder worden de criteria beschreven. Ze worden hier nog niet gekwantificeerd.

#### **Landschap**

De Fluessen is onderdeel van het uitgestrekte waterstelsel van Friesland. Het heeft een belangrijke functie in de waterhuishouding. Dit stelsel is tevens een leefgebied voor een grote diversiteit aan flora en fauna. Het is daarom belangrijk dat de huidige aanwezige natuur niet verstoord wordt door de verschillende alternatieven. Groot pluspunt zou bij dit criteria zijn als de oplossingen natuur toevoegen aan het stelsel. Gedacht kan hier worden aan extra rietvelden, bomen, etc.

### **Visuele hinder**

Dit criteria geeft weer in hoeverre het uitzicht voor de bewoners verstoord wordt. Dit wordt bepaald aan de hand van de voor de bewoners maximaal acceptabele waakhoogte van 0,75m +NAP. Tevens wordt hier gekeken of de oplossing goed in het landschap past. Het landelijke karakter van het dorp Elahuizen mag niet verstoord worden.

### **Multifunctionaliteit**

In hoeverre zijn de alternatieven ook geschikt voor meerdere doeleinden. Is er bijvoorbeeld nog recreatie mogelijk of is het een natuurlijke oplossing, waarbij de kering tevens dienstdoet als leefgebied voor flora en fauna.

### **Voordeel voor zeilers**

In hoeverre dragen de alternatieven er aan bij dat de jachthaven aantrekkelijker wordt voor zeilers. Hierbij kan gedacht worden aan minder golfindringing in de haven, waardoor zeilers makkelijker kunnen aanmeren en optuigen.

### **Maatschappelijke weerstand**

Hierin wordt een inschatting gemaakt wat de betrokken particuliere partijen van de alternatieven vinden. Alternatieven kunnen zich op dit effect onderscheiden omdat er zo'n breed mogelijk maatschappelijk draagvlak moet worden gecreëerd.

### **Technische uitvoering**

Hierbij wordt gekeken naar de complexiteit van het ontwerp. Oplossingen die bijvoorbeeld alleen uit grondwerk bestaan scoren hier hoger dan oplossingen die technisch moeilijker uit te voeren zijn (zoals damwanden, beton/houtconstructies).

### **Bouwhinder**

Bij dit criterium wordt een weging gegeven aan de hoeveelheid overlast tijdens de aanleg. Gedacht moet worden aan stremming van de havendoorgang en de bereikbaarheid van de bouwlocatie. Ook de bouwtijd is een belangrijke factor.

### **Kosten**

Hierbij worden de aanlegkosten bedoeld. De onderhoudskosten worden bij een ander criterium meegenomen. Voor elk alternatief wordt een indicatie gegeven van aanlegkosten.

### **Onderhoud**

Hiermee wordt bedoeld de mate van onderhoud dat elke oplossing tijdens de exploitatie vergt. Verder wordt hierbij een relatieve indicatie gemaakt voor de kosten die hiermee gemoeid zijn.

### **Duurzaamheid**

Met de duurzaamheid wordt een maat gevonden om de uitbreidbaarheid van elke oplossing te beschrijven. De levensduur van de oplossingen is op 50 jaar gesteld. In deze periode kunnen echter dusdanige veranderingen in inzicht, klimaat etc. optreden dat de kering aangepast, opgehoogd of verplaatst zou moeten worden. Niet elke oplossing is hiervoor geschikt en zal hiervoor dan minder goed scoren.

## 11 Uitwerking waterkering bungalowpark 't Zwin

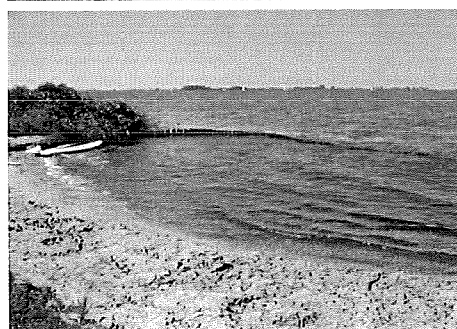
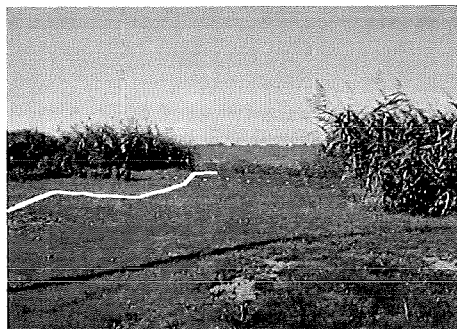
### 11.1 Huidige kade Elahuizen

De huidige kering ter hoogte van het bungalowpark bestaat uit een waterkering van klei met een hoogte van ongeveer 0,50m +NAP. Hiervoor zit een kort voorland van ongeveer 5m, die weer beschermd wordt door een vooroeverbescherming van stortsteen.

Verder is er op sommige punten een rietkraag aanwezig met een breedte van ongeveer 10m.

Tussen het bungalowpark en de camping ligt een strandje achter de waterkering. Hier is geen vooroeververdediging van stortsteen aanwezig. Het strandje wordt tegen wegspoelen beschermd door een enkele palenrij op 10m uit de kant. Het strandje wordt in dit verslag apart behandeld in hoofdstuk 12.

In het huidige dwarsprofiel van de kade in Elahuizen is te zien dat er in het water een dam is gecreëerd die met de kruin tot net boven het maatgevende boezempeil reikt. Door een breukstenen dam toe te passen in het voorland kan de golfhoogte worden gereduceerd. Achter de dam wordt een rustigere zone gecreëerd waar de golfhoogte minder is dan voor de dam.



De huidige kade langs het bungalowpark bevat zoals gezegd een breukstenen dam en een ondiepe vooroever. De ondiepe vooroever mogen wij echter niet in rekening brengen voor golfreductie omdat deze te kort is hiervoor. De minimale breedte hiervan is namelijk  $2L_0$  en is ongeveer 28,3m in dit geval.

De breukstenen dam in de huidige situatie in Elahuizen heeft een kruinbreedte  $B_d$  van ongeveer 0,2m en ligt op ongeveer 0,2m beneden het MBP. De benodigde kruinhoogte is dan 1,12m +NAP, zie ook hoofdstuk 8.4.1. Dit voldoet niet aan de eisen die door de bewoners gesteld worden aan de kruinhoogte. Daarom wordt in de navolgende paragrafen gewerkt met een aantal varianten die de kruinhoogte kunnen beperken.

## 11.2 Varianten

In dit hoofdstuk worden voor een aantal varianten de waakhoogtes berekend en in tabellen weergegeven.

### 11.2.1 Variant 1: Kade met een dam

Wanneer wordt gekozen voor een kade met alleen een dam zijn de in Tabel 11.1 en Tabel 11.2 berekende resultaten geldig. Deze zijn gelijk aan de al eerder berekende resultaten in hoofdstuk 8.4.1.

Waakhoogte [m]					
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Breedte kruin $B_d$ [m]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
-0,3	1,20	1,16	1,09	1,04	0,98
-0,2	1,20	1,10	1,02	0,93	0,87
-0,1	1,20	1,04	0,90	0,81	0,75
0	1,13	0,93	0,79	0,71	0,64
0,1	1,07	0,82	0,68	0,60	0,54
0,2	1,00	0,71	0,58	0,50	0,44

Tabel 11.1: Waakhoogte bij toepassing van een dam en taludhelling 1 : 3

Waakhoogte [m]					
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Breedte kruin $B_d$ [m]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
-0,3	0,89	0,85	0,79	0,76	0,73
-0,2	0,89	0,80	0,75	0,71	0,68
-0,1	0,87	0,76	0,70	0,66	0,64
0	0,83	0,71	0,65	0,61	0,59
0,1	0,78	0,67	0,60	0,56	0,53
0,2	0,74	0,62	0,55	0,50	0,44

Tabel 11.2: Waakhoogte bij toepassing van een dam bij taludhelling 1 : 4

### 11.2.2 Variant 2: Kade met een berm en dam

Als er gekozen wordt voor een kade met alleen een berm ervoor blijkt uit het vooronderzoek dat de minimale waakhoogte gelijk wordt aan 1,10m. Om de waakhoogte verder te verlagen is het dus noodzakelijk om extra golfreducerende maatregelen te nemen, of om de ruwheid van het talud te verhogen. Omdat op het talud uit esthetische oogpunten gras behouden moet worden, zal er dus voor gekozen moeten worden om golfreducerende maatregelen te nemen. Als eerste mogelijkheid wordt gekozen voor het toepassen van een breukstenen dam.

In het rekenmodel wordt vervolgens een breukstenen dam en een berm ingevoerd. Hierbij wordt bij een berm op MBP een bermbreedte van 3,5 m ingevoerd, om de maximale reductie

op de waakhoogte door de berm te verkrijgen. De taludhelling van de dam is 1:2,5. De resultaten staan vermeld in Tabel 11.3 en Tabel 11.4.

Waakhoogte [m]					
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Kruinbreedte dam $B_d$ [m]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1
-0,3	0,66	0,63	0,59	0,56	0,54
-0,2	0,66	0,60	0,57	0,53	0,51
-0,1	0,65	0,57	0,52	0,49	0,47
0	0,62	0,53	0,49	0,46	0,43
0,1	0,58	0,49	0,45	0,42	0,39
0,2	0,55	0,46	0,41	0,38	0,35

Tabel 11.3: Waakhoogte bij toepassen dam en berm bij taludhelling kade 1 : 3

Waakhoogte [m]					
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Kruinbreedte dam $B_d$ [m]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1
-0,3	0,49	0,46	0,43	0,41	0,4
-0,2	0,49	0,44	0,41	0,38	0,37
-0,1	0,47	0,41	0,38	0,36	0,34
0	0,45	0,39	0,35	0,33	0,31
0,1	0,43	0,36	0,33	0,30	0,29
0,2	0,40	0,33	0,30	0,27	0,25

Tabel 11.4: Waakhoogte bij toepassen dam en berm bij taludhelling kade 1 : 4

Wanneer er een berm wordt toegepast betekent dat voor de afmetingen van de dam dat deze aanzienlijk kleiner zijn dan in variant 1.

### 11.2.3 Variant 3: Kade met een dam en een tussenoever

Als wordt gekozen voor een kade met een dam en een tussenoever zijn de in Tabel 11.5 en Tabel 11.6 berekende resultaten geldig. De golfhoogte reduceert eerst op de dam en vervolgens wordt de golfhoogte nogmaals gereduceerd op de tussenoever. In de tabellen is gerekend met een tussenoever met een diepte van 0,75m. Indien deze diepte wordt vergroot zal de invloed van de tussenoever steeds minder worden. Wanneer de diepte wordt verkleind zal de tussenoever meer reductie veroorzaken, maar zal deze tevens boven het waterpeil komen te liggen buiten het stormseizoen, wat niet wenselijk is.

Waakhoogte [m]				
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Breedte kruin $B_d$ [m]			
	0,4	0,6	0,8	1,0
-0,2	0,94	0,94	0,93	0,86
-0,1	0,94	0,90	0,81	0,75
0	0,93	0,79	0,71	0,64
0,1	0,82	0,68	0,60	0,54
0,2	0,71	0,58	0,50	0,44

Tabel 11.5: Waakhoogte bij toepassing van dam, tussenoever en taludhelling 1 :3

Waakhoogte [m]				
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Breedte kruin $B_d$ [m]			
	0,4	0,6	0,8	1,0
-0,2	0,72	0,72	0,71	0,68
-0,1	0,72	0,70	0,66	0,64
0	0,71	0,65	0,61	0,59
0,1	0,67	0,60	0,56	0,53
0,2	0,62	0,55	0,50	0,44

Tabel 11.6: Waakhoogte bij toepassing van dam, tussenoever en taludhelling 1 :4

#### 11.2.4 Variant 4: Kade met een dam, berm en een tussenoever

Als gekozen wordt voor een kade met een dam, berm en een tussenoever zijn de in Tabel 11.7 en Tabel 11.8 berekende resultaten geldig. De golfhoogte reduceert eerst op de dam en vervolgens wordt de golfhoogte nogmaals gereduceerd op de tussenoever. Tenslotte zal de berm zorgen voor een reductie van de golfoploop of golfoverslag. In de tabellen is gerekend met een tussenoever met een diepte van 0,75m en een berm op MBP met een breedte van 3,5m. Indien de diepte wordt vergroot zal de invloed van de tussenoever steeds minder worden. Wanneer de diepte wordt verkleind zal de tussenoever meer reductie veroorzaken, maar zal deze tevens boven het waterpeil komen te liggen buiten het stormseizoen, wat niet wenselijk is.

Waakhoogte [m]				
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Breedte kruin $B_d$ [m]			
	0,4	0,6	0,8	1,0
-0,2	0,53	0,53	0,53	0,51
-0,1	0,53	0,52	0,49	0,47
0	0,53	0,49	0,46	0,43
0,1	0,49	0,45	0,42	0,39
0,2	0,46	0,41	0,38	0,35

Tabel 11.7: Waakhoogte bij toepassing van dam, berm, tussenoever en taludhelling 1 :3



Waakhoogte [m]				
Hoogte kruin boven MBP $h_d$ [m]	Breedte kruin $B_d$ [m]			
	0,4	0,6	0,8	1,0
-0,2	0,39	0,39	0,38	0,37
-0,1	0,39	0,38	0,36	0,34
0	0,39	0,35	0,33	0,31
0,1	0,36	0,33	0,30	0,29
0,2	0,33	0,30	0,27	0,25

Tabel 11.8: Waakhoogte bij toepassing van dam, berm, tussenoever en taludhelling 1 : 4

In de tabellen is te zien dat de waakhoogte fors is afgenomen als gevolg van de tussenoever. In het gebied waar in Tabel 11.7 het getal 0,53 en Tabel 11.8 het getal 0,39 staat is de invloed van een dam vervallen. Eigenlijk is dit gelijk te stellen aan een ondiepe vooroever en een berm. Alleen de tussenoever en de berm zorgen nog voor reductie. In het gebied met andere waarden heeft de tussenoever geen invloed op de waakhoogte; omdat de golfhoogte voldoende is gereduceerd door de dam.

### 11.2.5 Variant 5: Kade met een ondiepe vooroever

Voor de waakhoogte in het geval van een ondiepe vooroever gelden de resultaten die berekend zijn in het vooronderzoek. Deze staan nogmaals vermeld in Tabel 11.9.

Diepte vooroever $d_v$ [m]	Waakhoogte [m] talud 1 : 3	Waakhoogte [m] talud 1 : 4
1,3	1,42	1,04
1	1,2	0,87
0,75	0,94	0,72
0,63	0,55	0,54
0,5	1,42	1,04

Tabel 11.9: Waakhoogte bij toepassing van een ondiepe vooroever

### 11.2.6 Variant 6: Kade met een ondiepe vooroever en berm

Wanneer naast een ondiepe vooroever ook een berm wordt toegepast reduceert de waakhoogte. In Tabel 11.10 staan de resultaten vermeld indien naast een ondiepe vooroever een berm op MBP wordt toegepast met een breedte van 3,5m. Ter vergelijking is ook de waakhoogte vermeld wanneer alleen een ondiepe vooroever wordt toegepast.

Waakhoogte [m]				
Diepte vooroever $d_v$ [m]	Taludhelling 1 : 3		Taludhelling 1 : 4	
	zonder berm	met berm	zonder berm	met berm
1,3	1,42	0,78	1,04	0,60
1	1,2	0,65	0,87	0,47
0,75	0,94	0,53	0,72	0,39
0,63	0,55	0,40	0,54	0,29
0,5	1,42	0,78	1,04	0,60

Tabel 11.10: Waakhoogte bij toepassing van een ondiepe vooroever en berm

### 11.2.7 Variant 7: Kade met een flauwer talud

Tenslotte wordt gekeken naar de mogelijkheden om de waakhogte te reduceren door een flauwer talud toe te passen. In Tabel 11.11 zijn de resultaten hiervoor weergegeven.

Taludhelling 1 : ...	Waakhogte [m]
3	1,42
4	1,04
5	0,81
6	0,67
7	0,56
8	0,49

Tabel 11.11: Waakhogte bij toepassing van een flauwer talud

### 11.2.8 Variant 8: Verplaatsen van de waterkering achter het bungalowpark

Door het verplaatsen van de waterkering ontstaat er een situatie waar het bungalowpark buitendijks komt te liggen. In dit geval zal het bungalowpark waarschijnlijk niet voldoen aan de gestelde 1:100 veiligheids criterium, maar de bestaande waterkering hoeft dan niet te worden aangepast. De moeilijkheid in deze oplossing is naast de technische realisatie ook de juridische problematiek. Deze problematiek wordt vervolgens beschreven.

In eerste instantie is de taak van het waterschap de waterstaatkundige verzorging van zijn beheersgebied. Het doel hiervan is de veiligheid te garanderen van de bewoners achter de waterkering naar het gestelde veiligheidsniveau. Wanneer men een gebied buitendijks maakt wordt het moeilijk om de verantwoordelijkheid van het waterschap te omschrijven. In het geval van binnendijkse gebieden is dit duidelijk: men moet voldoen aan het gestelde veiligheidsniveau, maar voor een buitendijks gebied is dit veiligheidsniveau lastig te controleren en te handhaven.

Men zou bij het maken van een buitendijks gebied kunnen denken aan een oplossing waarbij een lager veiligheidsniveau wordt vastgesteld. De voorkeur gaat uit naar het handhaven van het bestaande veiligheidsniveau. Een heikel punt ligt in het feit dat er een uitzondering gemaakt wordt voor een klein gebied wat echter bebouwd is en waar mensen leven. De gebruikers van dit gebied zouden dus vooraf moeten instemmen met een lager veiligheidsniveau dan geldt voor andere bebouwde gebieden. Wanneer ervan uitgaat wordt dat de bewoners van het bungalowpark hiermee instemmen en dit wordt vastgelegd op papier lijkt het probleem opgelost, alleen er is meer aan de hand. Wanneer tijdens een hoogwaterstand van het meer het bungalowpark inundeert, wat is dan de rol van het waterschap? Moet het waterschap nu maatregelen nemen om de inundatie te voorkomen, of doet men niets omdat de bewoners er tenslotte zelf voor hebben gekozen? Wanneer men besluit tot bijvoorbeeld het leggen van zandzakken geeft het waterschap in de ogen van de bewoners aan dat het zich verantwoordelijk voelt voor de situatie en dus ook voor de gevolgen. In het geval dat het waterschap niets doet zullen de bewoners stellen dat zij in de steek worden gelaten en het waterschap zijn primaire functie verzuimd, namelijk het beschermen van de belastingbetaler. In beide gevallen heeft het waterschap dus een probleem. Er moet dus veel aandacht besteedt worden aan het opstellen van een dergelijke overeenkomst.

Aan de andere kant moet ook worden afgevraagd of het waterschap de bewoners deze vrije keuze mag voorleggen. Zijn de bewoners van het bungalowpark in staat om voor zichzelf de risico's in te schatten, of moet het waterschap de bewoners tegen zichzelf beschermen? Na

een inundatie waar schade is opgelopen aan de bungalows zouden de bewoners kunnen opperen dat zij nooit hadden kunnen inschatten dat de gevolgen zo groot konden zijn.

Uit bovenstaande blijkt dat dit soort problemen onder de juridische tak vallen. Aangezien het hier geen uitzonderingsgeval betreft zal het waterschap in eerste instantie de voorkeur hebben om al dan niet tot een normale verhoging van de waterkering te komen. Wanneer het waterschap voor meerdere van dit soort situaties regelingen moet gaan treffen wordt de gehele verhoging van de dijken rond het Fluessen en in de rest van Friesland erg gecompliceerd. Daarbij komt tevens het tijdsbestek waarbinnen de verhogingen moeten plaatsvinden nog eens bij. De juridische activiteiten nemen doorgaans veel tijd in beslag (inspraak, goedkeuring ed.). Wanneer een normale versterking van de waterkering niet wenselijk blijkt en een tracéverlegging in aanmerking komt als een realistisch alternatief zal dus aandacht moeten worden besteedt aan de juridische aspecten die net zo belangrijk lijken als de technische oplossing.

Tevens moet er voor dit gebied een bestemmingsplanwijziging worden ingediend bij de gemeente.

Deze variant is een van de laatste mogelijkheden wanneer blijkt dat alle andere varianten niet haalbaar zijn. Deze variant is niet te vergelijken met de overige varianten, omdat het hier geen technische oplossing betreft. Daarom wordt een verdere uitwerking van deze variant ook niet gemaakt.

### 11.3 Alternatieven zonder kadeverhoging

Allereerst worden de in de vorige paragrafen vermelde varianten vergeleken waarbij geen verhoging nodig is van de bestaande kade. De bestaande kade wordt in dit geval geschematiseerd als een kade met een taludhelling van 1:4. De bestaande kruinhoogte is 0,5m boven NAP.

Mogelijke alternatieven om dit doel te verwezenlijken zijn:

1. Kade met dam waarbij  $B_d = 0,8\text{m}$  en  $h_d = 0,2\text{m}$
2. Kade met berm ( $B_b = 3,5\text{m}$ ) op MBP en dam waarbij  $B_d = 0,2\text{m}$  en  $h_d = -0,30\text{m}$
3. Kade met berm ( $B_b = 3,5\text{m}$ ) en ondiepe vooroever ( $d = 1\text{m}$ )
4. Kade met taludhelling 1:8.

De alternatieven waarbij een tussenoever werd gebruikt blijken geen extra reductie op te leveren van de waakhoogte. Deze zijn in het geval van geen kadeverhoging dus weggelaten.

### 11.4 Alternatieven met kadeverhoging

Vervolgens wordt gekeken wat het effect is van een kadeverhoging. De maximaal acceptabele kruinhoogte is 0,75m.

Mogelijke alternatieven met kadeverhoging zijn:

5. Kade (1:3) met dam waarbij  $B_d = 1,0\text{m}$  en  $h_d = -0,10\text{m}$
6. Kade (1:4) met dam waarbij  $B_d = 0,6\text{m}$  en  $h_d = -0,20\text{m}$
7. Kade (1:4) met dam waarbij  $B_d = 1,0\text{m}$  en  $h_d = -0,30\text{m}$
8. Kade (1:4) met berm ( $B_b = 3,5\text{m}$ ) op MBP
9. Kade (1:3) met berm ( $B_b = 3,5\text{m}$ ) op MBP en dam waarbij  $B_d = 0,2\text{m}$  en  $h_d = -0,30\text{m}$
10. Kade (1:4) met ondiepe vooroever ( $d = 0,75\text{m}$ )
11. Kade (1:3) met ondiepe vooroever ( $d = 1,0\text{m}$ ) en berm ( $B_b = 3,5\text{m}$ ) op MBP
12. Kade (1:4) met ondiepe vooroever ( $d = 1,3\text{m}$ ) en berm  $B_b = 3,5\text{m}$ ) op MBP
13. Kade met taludhelling 1:6.

## 11.5 Overhoogte

De overhoogte dient er zoals gezegd voor om de invloed van zettingen te compenseren. De zetting bestaat uit een primaire zakking en een secundaire zakking. De primaire zakking is het directe effect na het verhogen van de belasting en het afstromen van de opgebouwde waterspanningen. Terwijl de secundaire zakking (ook wel het seculair effect of kruip) de zetting van de bodemlagen na het begin van belasten is.

$$w_d = w_{1;d} + w_{2;d}$$

Waarin:

$w_d$	=	Totale zakking
$w_{1;d}$	=	Primaire zakking
$w_{2;d}$	=	Secundaire zakking

In Bijlage G zijn er berekeningen uitgevoerd voor de zetting bij een kadeverhoging met 0,25m en voor de dam. In de volgende paragrafen worden kort de eindresultaten weergegeven.

### 11.5.1 Kadeverhoging van 0,25m

Het resultaat van de grondgegevens is dat om een verhoging van 0,25m van de kade over te houden na 30 jaar een verhoging van 0,65 m moeten worden toegepast (zie Tabel 11.12).

Zetting [m]	
Kadeverhoging	0,65
Primaire zakking $w_{1;d}$	0,19
Secundaire zakking $w_{2;d}$ (m)	0,20
Totale zetting (m)	<b>0,39</b>
Kadehoogte na zetting	<b>0,26</b>

Tabel 11.12: Primaire en secundaire zetting bij verhoging kade met 0,25m

Voor de aanwezige veenlaag gunstigere waarden aangenomen dan uit de sondering kon worden afgeleid. Hierbij wordt rekening gehouden met een al aanwezige kade en daardoor een meer verdichte ondergrond.

Bij de alternatieven met kadeverhoging moet deze overhoogte van 0,39m dus in rekening worden gebracht bovenop de kadeverhoging van 0,25m.

### 11.5.2 Dam/Golfbreker voor kade Elderskar

Met het rekenspreadsheet uit Bijlage G is ook de zetting van een dam berekend. Bij alle alternatieven met een dam wordt voor de overhoogte een gemiddelde dam aangenomen, zodat niet iedere dam afzonderlijk berekend hoeft te worden. De dam waarmee de overhoogte heeft de volgende dimensies:

Hoogte onderwater: 1,5m (aannahme gemiddelde waterdiepte t.p.v. dam = 1,5m)  
 Hoogte boven water: 0,8m

Het resultaat van de uitgevoerde zettingberekening (zie Bijlage G) is, dat de dam/golfbreker met een extra overhoogte aangelegd moet worden aangelegd van 0,75m (zie Tabel 11.13).

Zetting [m]	
Overhoogte golfbreker	0,75
Primaire zakking $w_{1,d}$	0,49
Secondaire zakking $w_{2,d}$	0,24
Totale zetting	0,74
Overhoogte dam na zetting	0,01

Tabel 11.13: Primaire en secundaire zetting bij golfbreker voor kade Elderskar

De gevonden overhoogte voor de breukstenen dam wordt bij alle damvarianten ingevoerd.

## 11.6 Vergelijk alternatieven

Om de alternatieven te kunnen vergelijken zal eerst de benodigde volumes zand en breuksteen worden berekend die nodig zijn om de diverse varianten te realiseren. Door hier globaal de kosten van uit te rekenen kunnen vervolgens enkele alternatieven geselecteerd worden die verder worden uitgewerkt.

### 11.6.1 Volumetoename kadeverhoging

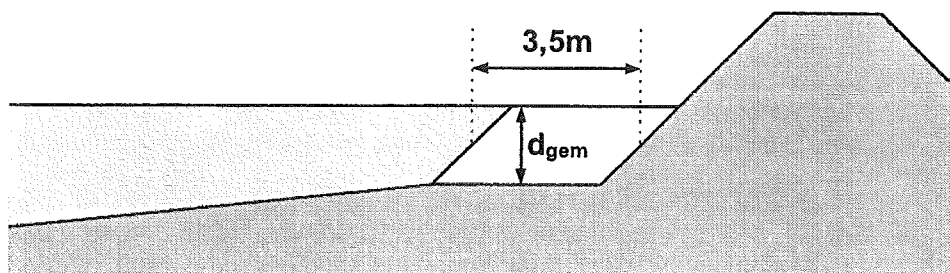
Allereerst zal de volumetoename berekend worden wanneer de bestaande kade met een kruinhoogte van 0,50m NAP zal worden verhoogd tot 0,75m NAP. Hierbij wordt rekening gehouden met een overhoogte van 0,39m, zodat de totale ophoging 0,65m wordt tot 1,15m NAP. In het geval van geen kadeverhoging, nieuwe kadehoogte is 0,5m NAP wordt de kade wel aangepast aan het nieuwe dwarsprofiel. De kruinbreedte wordt hierbij op 1,5m gebracht. De volumetoenames van de diverse kades zijn weergegeven in Tabel 11.14.

Nieuwe Kadehoogte [m NAP]	Toename kadevolume [m <sup>3</sup> /m <sup>1</sup> ]			
	Taludhelling 1 :.....			
	3	4	6	8
0,5	0,16	0,80	1,73	2,40
1,15	5,52	7,63	8,92	10,53

Tabel 11.14: Toename kadevolume bij kadeverhoging vanaf 0,5m boven NAP

### 11.6.2 Volume berm

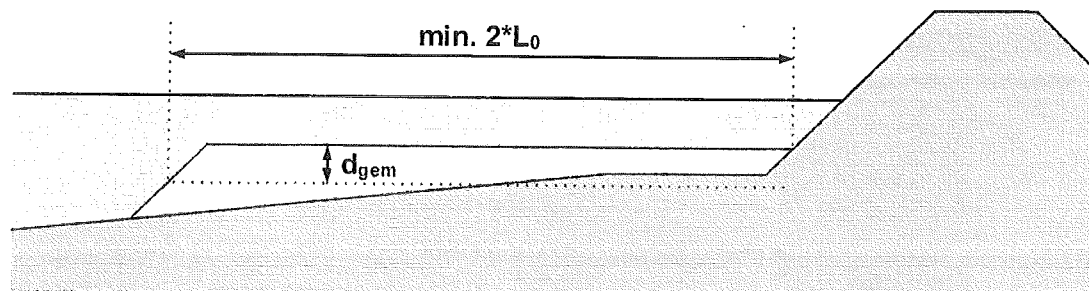
Het volume van een berm ( $B=3,5\text{m}$ ) wordt geschat op  $1,05 \text{ m}^3/\text{m}^1$ . Bij elk van de alternatieven waarin een berm is toegepast wordt dit volume gebruikt. Om het volume van de berm te bepalen is uitgegaan van de vorm die weergegeven is in Figuur 11.1. Hierbij is er vanuit gegaan dat de waterdiepte langs de oever in de huidige situatie ongeveer 0,30m is en dat er dus 0,30m moet worden opgehoogd om een berm op MBP te verkrijgen.



Figuur 11.1: Uitgangspunten berekening volume berm

### 11.6.3 Volume ondiepe vooroever

Het volume van een ondiepe vooroever of een tussenoever wordt globaal geschat door de vooroever te schematiseren volgens de Figuur 11.2. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de waterdiepte in de vooroever zonder dat een ondiepe vooroever wordt gerealiseerd gemiddeld ongeveer 1,5m is. De lengte van de vooroever moet gelijk zijn aan 2 maal de golflengte en is dus gelijk aan ongeveer 28,5m. Omdat ook enigszins het onderwatertalud gaat worden meegerekend, wordt het volume "rechthoekig" aangenomen met een lengte van 30m.



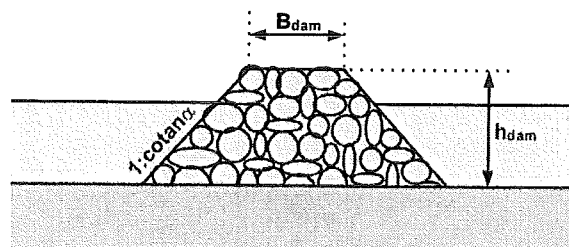
Figuur 11.2: Uitgangspunten berekening volume ondiepe vooroever

Diepte vooroever t.o.v. MBP [m]	Hoogte zandlichaam vooroever (=1,5·d) [m]	Lengte vooroever [m]	Volume vooroever [m <sup>3</sup> per m <sup>1</sup> ]
0,50	1	30	30
0,63	0,87	30	26,1
0,75	0,75	30	22,5
1,00	0,5	30	15
1,30	0,2	30	6

Tabel 11.15: Volumeberekening vooroever

### 11.6.4 Volume breukstenen dam

Om het volume breuksteen in een breukstenen dam te berekenen wordt de principeschets aangehouden van een breukstenen dam volgens Figuur 11.3. De waterdiepte ter plaatse van de dam wordt gemiddeld op 1,5m aangenomen. Voor de overhoogte wordt 0,75m gebruikt die berekend is in hoofdstuk 11.5.



Figuur 11.3: Uitgangspunten berekening volume dam

Het volume van de breukstenen dam wordt als volgt berekend:

$$V_{dam} = cotana (H_{dam})^2 + B_d * H_{dam}$$

Voor de verschillende afmetingen worden de volumes voor de dam.

$B_d$ [m]	$H_d$ boven MBP [m]	Volume dam [m <sup>3</sup> per m <sup>1</sup> ]
1,0	-0,1	14,78
1,0	-0,3	11,46
0,8	0,2	16,97
0,6	-0,2	11,74
0,2	-0,3	9,90

Tabel 11.16: Volumens breuksteen bij damvarianten

### 11.6.5 Totaalvolumes alternatieven

De hiervoor bepaalde volumetoenames worden in onderstaande tabel gesommeerd.

Alternatief	Waakhogte [m]	Grond [m <sup>2</sup> / m <sup>1</sup> ]				Breuksteen [m <sup>2</sup> / m <sup>1</sup> ]
		Kadeverhoging	Berm	Vooroever	Totaal	
1	0,50	0,80			0,80	16,97
2	0,39	0,80	1,05		1,85	9,90
3	0,47	0,80	1,05	15	16,85	
4	0,49	2,40			2,40	
5	0,75	5,52			5,52	14,78
6	0,75	7,63			7,63	11,74
7	0,73	7,63			7,63	11,46
8	0,74	7,63	1,05		8,68	
9	0,66	5,52	1,05		6,57	9,90
10	0,72	7,63		22,5	30,13	
11	0,65	5,52	1,05	15	21,57	
12	0,60	7,63	1,05	6	14,68	
13	0,67	8,92			8,92	

Tabel 11.17: Geschatte volumens breuksteen en grond bij verschillende varianten

Bij de alternatieven waar een vooroever verwerkt zit zal er rekening moeten gehouden met bescherming van de vooroever. Dit gaat gepaard met extra kosten, die bij alternatieven zonder vooroever niet gemaakt hoeven te worden. Alleen bij de alternatieven 9 en 10, waarbij sprake is van een tussenoever is hiervan geen sprake, omdat de golfhoogte boven de tussenoever al gereduceerd is door de dam.

Bij de alternatieven waarin een dam verwerkt zit zal er rekening gehouden moeten worden met extra kosten voor het aanbrengen van een bodembescherming (zinkstukken) rond en onder de dam.

## 11.7 Kostenvergelijking

De kosten voor de alternatieven worden globaal berekend met gegevens uit GWW-Kosten (Lit.[27]). Hierin worden onderscheiden kosten van het verhogen van de kade en kosten voor grondwerk onder water.

### 11.7.1 Kadeverhoging

Voor het verwerken van grond in een kade wordt gebruik gemaakt van de tabellen uit GWW-kosten (Lit.[27]). Hierin zijn de volgende posten te onderscheiden.

- Aankoop klei  $\pm 8,00$  euro per  $m^3$
- Klei ontgraven put  $\pm 0,56$  euro per  $m^3$
- Vervoeren:  $\pm 5,50$  euro per  $m^3$
- Klei verwerken:  $\pm 1,61$  euro per  $m^2$
- Verdichten:  $\pm 0,39$  euro per  $m^2$
- Storten bodemverdediging  $\pm 23,20$  euro per ton = 32 euro per  $m^1$  (strook van 2m)

De breedte van de opgehoogde kade zal ongeveer 7m worden. De bodemverdediging wordt toegepast over een breedte van 2m rond de zone waar de golven voornamelijk invallen. De andere posten zijn allemaal per  $m^3$  en zijn dus afhankelijk van het alternatief.

Gerekend wordt met:

- Kosten per  $m^3$ :  $\pm 14,06$  euro per  $m^3$
- Kosten per  $m^1$  kade:  $\pm 46$  euro per  $m^1$

### 11.7.2 Aanbrengen vooroever

Voor het aanbrengen van een vooroever (onverdedigd) worden de volgende kosten in rekening gebracht:

- Kosten grond per  $m^3$ :  $\pm 14,06$  euro per  $m^3$
- Kosten grond per  $m^1$ :  $\pm 14,00$  euro per  $m^1$

Aangenomen wordt hierbij dat de vooroever tegen erosie wordt beschermd door de aanwezige rietkraag.

### 11.7.3 Berm

Voor het aanbrengen van een berm worden de volgende kosten in rekening gebracht:

- Kosten grond per  $m^3$ :  $\pm 14,06$  euro per  $m^3$
- Kosten grond per  $m^1$ :  $\pm 14,00$  euro per  $m^1$
- Storten bodemverdediging  $\pm 23,20$  euro per ton = 32 euro per  $m^1$  (strook van 2m)

Totaal wordt dit:

- Kosten per  $m^1$  berm:  $\pm 46$  euro per  $m^1$  berm
- Kosten per  $m^3$  grond:  $\pm 14,06$  euro per  $m^3$

### 11.7.4 Dam

Voor het aanbrengen van een dam gelden de volgende posten:

- Aankoop breuksteen  $\pm 11,00$  euro per  $m^3$
- Breuksteen storten: 23,10 euro per ton = 9,63 euro per  $m^3$
- Samenstellen kraagstuk:  $\pm 11,60$  euro per  $m^2$  (zool van kunststofweefsel)
- Slepen kraagstuk ( $\pm 1000m$ )  $\pm 0,52$  per  $m^2$
- Afzinken kraagstuk:  $\pm 0,30$  euro per  $m^2$

De breedte waarover het zinkstuk moet worden aangebracht wordt aangenomen op 12,25m, dit is bij een kruinbreedte van 1m en een damhoogte van 2,25m.

Dit wordt dan:

- Kosten per  $m^3$ :  $\pm 20,63$  euro per  $m^3$
- Kosten per  $m^1$  dam:  $\pm 152,15$  euro per  $m^1$



### 11.7.5 Totaal globale kosten

Alternatief	Kadeverhoging	Berm	Vooroever	Dam	Totaal [euro/m <sup>1</sup> ]
1	57,25			502,24	559,49
2	57,25	60,76		356,39	474,40
3	57,25	60,76	224,90		342,91
4	79,74				79,74
5	123,61			457,06	580,67
6	153,28			394,35	547,63
7	153,28			388,57	541,85
8	153,28	60,76			214,04
9	123,61	60,76		356,39	540,76
10	153,28		330,35		483,63
11	123,61	60,76	224,90		409,27
12	153,28	60,76	98,36		312,40
13	171,42				171,42

Tabel 11.18: Globale kosten alternatieven per m<sup>1</sup>

De kosten voor de aanleg van de alternatieven blijken sterk te variëren. De grootste kostenpost is het aanbrengen van een vooroever of tussenoever en een dam. Alternatieven waarbij een dam en een tussenoever worden gebruikt zal vanwege de kosten niet verder worden uitgewerkt.

De alternatieven 5, 6 en 11 vervallen omdat er goedkopere alternatieven bestaan die gelijksoortig zijn.

In Tabel 11.19 zijn de 10 overgebleven alternatieven weergegeven, in volgorde van oplopende kosten.

Nr.	Omschrijving alternatief	Kosten [euro /m <sup>1</sup> ]
4	Kade met taludhelling 1:8	79,74
13	Kade met taludhelling 1:6	171,42
8	Kade (1:4) met berm ( $B_b = 3,5\text{m}$ ) op MBP	214,04
12	Kade (1:4) met ondiepe vooroever ( $d = 1,3\text{m}$ ) en berm $B_b = 3,5\text{m}$ op MBP	312,40
3	Kade (1:4) met berm ( $B_b = 3,5\text{m}$ ) en ondiepe vooroever ( $d = 1\text{m}$ )	342,91
2	Kade (1:4) met berm ( $B_b = 3,5\text{m}$ ) op MBP en dam ( $B_d = 0,2\text{m}$ en $h_d = -0,30\text{m}$ )	474,40
10	Kade (1:4) met ondiepe vooroever ( $d = 0,75\text{m}$ )	483,63
9	Kade (1:3) met berm ( $B_b = 3,5\text{m}$ ) op MBP en dam ( $B_d = 0,2\text{m}$ en $h_d = -0,30\text{m}$ )	540,76
7	Kade (1:4) met dam ( $B_d = 1,0\text{m}$ en $h_d = -0,30\text{m}$ )	541,85
1	Kade (1:4) met dam ( $B_d = 0,8\text{m}$ en $h_d = 0,2\text{m}$ )	559,49

Tabel 11.19: Indicatiekosten overgebleven alternatieven per m<sup>1</sup>

Deze alternatieven worden vervolgens nader onderzocht.

## 11.8 Nader onderzoek alternatieven

In dit gedeelte worden de overgebleven alternatieven beoordeeld aan de hand van de criteria die genoemd zijn in hoofdstuk 10. De resultaten staan vermeld in Tabel 11.20.

Toetsingscriteria		Alternatieven									
		4	13	8	12	3	2	10	9	7	1
Landschap	Behoud natuur	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Visuele hinder	+	-	-	-	+	+/-	-	-	-	+/-
Technisch	Uitvoering	+	+	+	+	+	+/-	+	+/-	+/-	+/-
	Bouwhinder	-	-	-	-	+/-	+/-	-	-	-	+
Economisch	Onderhoud	+	+	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
	Duurzaamheid	+	+	+	+/-	+/-	+	+/-	+	+	+
	Kosten [Euro/m]	80	171	214	312	343	474	484	541	542	560

Tabel 11.20: Toetsing overgebleven alternatieven

Met deze beoordeling kan het beste alternatief gekozen worden. Deze keuze laten wij over aan het Wetterskip Fryslân en de bewoners van het bungalowpark. Het valt wel op dat de alternatieven waarbij de taludhelling van 1:8 wordt toegepast veruit de goedkoopste alternatieven zijn. Nadelig hierbij is dat er erg veel grondwerk is aan de kade en dat er erg veel bouwhinder optreedt. Ook moet worden opgemerkt dat bij de alternatieven waarbij kadeverhoging noodzakelijk is er een grote overhoogte moet worden toegepast vanwege de te verwachte zettingen.

## **12 Uitwerking strandje aan bungalowpark**

Dit hoofdstuk handelt over het zandstrandje dat gelegen is in de waterkering langs het bungalowpark.

### **12.1 Uitgangspunten zandstrand**

Een voorwaarde die gesteld is door het Wetterskip en de bewoners van Elderskar is dat het zandstrandje behouden moet blijven. De voornaamste reden is dat het strandje in de huidige situatie een belangrijke recreatieve functie bekleedt voor de omgeving rond de jachthaven en het bungalowpark. Het strandje is openbaar toegankelijk en wordt voornamelijk gebruikt door jonge gezinnen met kinderen. Het strandje wordt door deze groep aantrekkelijk bevonden omdat het strandje geleidelijk dieper wordt (klein verdrinkingsgevaar voor kinderen) en omdat de ondergrond zandachtig is wat prettig wordt ervaren om op te liggen en te lopen. Ook biedt het strandje goede mogelijkheden om klein vaarmaterieel op te tuigen zoals kleine zeilbootjes en surfplanken.

Het strandje heeft in de huidige situatie een breedte van ongeveer 20m en is onderaan het met gras beklede talud van de waterkering gelegen. Het zandplateau loopt vanaf deze lijn onder een geleidelijke helling afwaarts en loopt onder het waterpeil verder door. Op ongeveer 15m uit de oever is in het verleden een rij perkoenpalen geplaatst om het strandje af te schermen. Ongeveer elk jaar wordt het strand opnieuw aangevuld met zand om de kwaliteit van het zand te verhogen en om de hoeveelheid weggespoeld zand te compenseren.

In de nieuwe situatie wordt de locatie en het uiterlijk van het bestaande zandstrand zoveel mogelijk gehandhaafd ofwel verbeterd. Voor het probleem van het wegspoelen van zand zal een duurzame oplossing worden aangedragen. De stabiliteit van het strand dient tijdens het stormseizoen gewaarborgd te blijven. Extreme situaties worden echter buiten beschouwing gelaten omdat het zandstrand geen waterkerende functie bekleedt en omdat schade aan het strand geen grote economische gevolgen kent. Aan een uitwerking worden verder de volgende aanvullende eisen gesteld: Het strandje dient zijn beschutte positie te behouden (liggend in een kom) omdat dit het verblijven aantrekkelijk maakt. Daarnaast dient er voldoende zitgelegenheid te zijn voor recreanten.

### **12.2 Dimensionering zandstrand**

Bij het wegspoelen van zand vormt onder andere het constante streefpeil van het meer een probleem. De golven concentreren zich steeds op dezelfde lijn, waardoor een vorm van afkalving ontstaat. Met dit aspect moet rekening worden gehouden bij het ontwerp door de te verwachte golfbelasting en materiaaleigenschappen in een stabiliteitsberekening te betrekken. In het meer is geen sprake van een langstransport van sediment langs de oever. Wel zorgt onderstroom en retourstroom van golven voor een herverdeling van het materiaal in dwarsrichting wanneer het materiaal te licht wordt gekozen of wanneer het verkeerd wordt aangebracht (onder een te steile helling).

#### **12.2.1 Golfbelasting en waterstanden**

Het strand dient onder normale jaarlijkse weersomstandigheden intact te blijven. Daarbij wordt gerekend met de volgende waterstanden en golven:

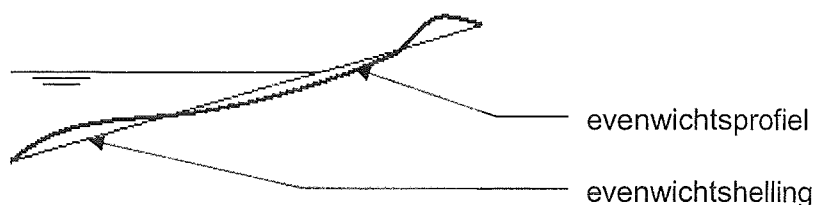
Normale omstandigheden:	- waterstand: -0,50m NAP
	- golfhoogte: $H_s = 0,40\text{m}$
Stormachtige omstandigheden:	- waterstand: -0,20m NAP
	- golfhoogte: $H_s = 0,73\text{m}$

### 12.2.2 Materiaalkeuze

Voor een speciale toepassing zoals een windsurfstrand wordt vaak de voorkeur gegeven aan het gebruik van grind. Grind is rond van vorm en kan met blote voeten worden belopen. Ondanks het verschil in vorm tussen grind (rond) en breuksteen (hoekig) wordt voor beide materialen een zelfde wijze van dimensioneren van (dynamisch stabiele) grindstranden toegepast. Grind wordt bij voorkeur op flauwe taluds toegepast.

Zand heeft een fijnere samenstelling dan grind en daarom komt zand ook eerder in beweging. Bij het aanleggen van een klein zandstrand kan ook het stuiven een probleem vormen. Door stuiven kan een deel van het zand verdwijnen en dit levert hinder op voor aanwonenden. Op dit moment is bekend dat er geen sprake is van stuiven. Wanneer het zandstrand niet verplaatst wordt zal met dit aspect verder geen rekening worden gehouden. Bovengenoemde problemen van wegspoelen en stuiven kunnen voor een deel gereduceerd worden door een grovere korreldiameter te kiezen. In vergelijking met grind blijft zand verreweg aantrekkelijker om toe te passen op een recreatiestrand. In overleg met de gebruikers is dit ook gebleken en in eerste instantie worden daarom de mogelijkheden tot een toepassing met zand bekeken.

Er is sprake van twee soorten stabiliteit, namelijk statische en dynamische stabiliteit. Bij dynamisch stabiele verdedigingen verplaatst het materiaal zich wel, maar er blijft echter in het beschouwde dwarsprofiel evenveel materiaal aanwezig: Er is sprake van een herverdeling in dwarsrichting. Het evenwichtsprofiel krijgt een S-vorm. Een dynamisch stabiele oever heeft een betrekkelijk flauwe ( $>1:5$ ) helling. De aan te brengen zandlaag moet dan ook dik genoeg zijn om de grootst verwachte vormverandering op te kunnen vangen. Bij dynamisch stabiele oevers is de laagdikte afhankelijk van de grootte van de verwachte vervorming om de evenwichtssituatie te bereiken. Hoe dichter het aangelegde profiel de evenwichtssituatie benadert, hoe kleiner de benodigde laagdikte bij aanleg kan zijn. De evenwichtshelling van een dynamisch stabiele oever is afhankelijk van de optredende golfhoogte en van het toegepaste materiaal.



Figuur 12.1 S-vormig evenwichtsprofiel

Golven die werken op een onverdedigde oever veroorzaken het bovengenoemde S-profiel. Dit is een natuurlijk evenwichtsprofiel dat geldt voor alle hellingen die bestaan uit los materiaal. Theoretisch leiden golven tot een parabolisch gevormd strand dat beschreven kan worden volgens de vergelijking:

$$z = px^{0,78} \text{ (Vellinga 1986, Lit. [22])}$$

Hierin is  $p$  een coëfficiënt, die afhankelijk is van de korrelgrootte voor parabolische strandprofielen. De vergelijking betreft een evenwichtsprofiel dat zich uiteindelijk in zal stellen en wordt niet als tijdsafhankelijk beschouwd. De erosiediepte onder het waterniveau is gelijk aan  $H_s$ . Uit de vergelijking kan tevens de erosielengte worden bepaald op. Deze is:

$$L_e = p^{-1,28} H_s^{1,28} \text{ (Vellinga 1986, Lit. [22])}$$

Boven de stilwaterlijn wordt aangenomen dat de helling gelijk is aan het natuurlijk talud van het toegepaste materiaal.

Wanneer er met de optredende golfbelasting en waterstanden het evenwichtsprofiel geschat wordt met de bovenstaande vergelijkingen, worden de resultaten als volgt:

### 12.3 Berekening onder normale condities

Gerekend is met zand  $D_{50} = 0,5 \text{ mm}$ . Hierbij hoort een  $p = 0,1 \text{ m}^{0,22}$ .

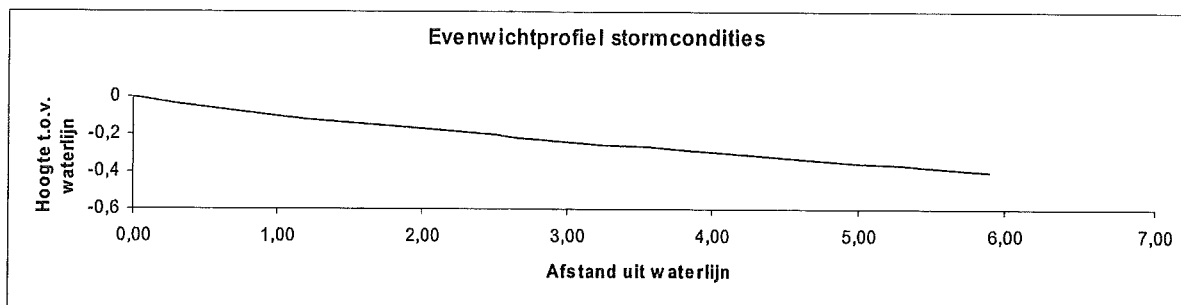
De helling van het zandplateau dat wordt gevonden bij dit evenwichtsprofiel is ongeveer: 1:15 ofwel  $\cot(\alpha) = 15$ .

Met behulp van Tabel 12.1 wordt vervolgens de hoogteligging in het evenwichtsprofiel onder normale condities berekend.

Afstand tot waterlijn [m]	Hoogteligging t.o.v. waterlijn [m]
0	0
0,6	-0,07
2,0	-0,18
4,1	-0,30
5,9 (erosielengte)	-0,40

Tabel 12.1: Hoogteligging zandstrand onder normale condities

Het evenwichtsprofiel onder normale condities is vervolgens getekend in Figuur 12.2.



Figuur 12.2: Evenwichtsprofiel zandstrand onder normale condities

### 12.4 Berekening onder stormcondities

Gerekend is met zand  $D_{50} = 0,5 \text{ mm}$ . Hierbij hoort een  $p = 0,1 \text{ m}^{0,22}$ .

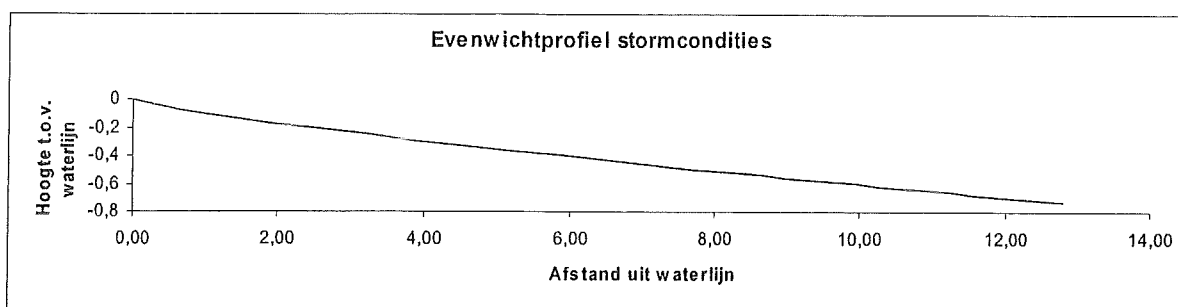
De helling van het zandplateau die wordt gevonden bij dit evenwichtsprofiel is ongeveer: 1:17 ofwel  $\cot(\alpha) = 17$ .

Met behulp van Tabel 12.2 wordt vervolgens de hoogteligging in het evenwichtsprofiel onder stormcondities berekend.

Afstand tot waterlijn [m]	Hoogteligging t.o.v. waterlijn [m]
0	0
0,6	-0,07
4,5	-0,32
9,0	-0,55
12,5 (erosielengte)	-0,73

Tabel 12.2: Hoogteligging zandstrand onder stormcondities

Het evenwichtsprofiel onder stormcondities is vervolgens getekend in Figuur 12.3.

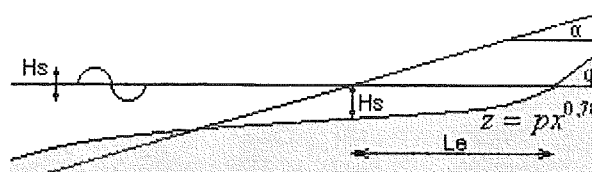


Figuur 12.3: Evenwichtsprofiel zandstrand onder stormcondities

Wanneer ons zandplateau onder een helling van 1:17 aangebracht wordt in de uitvoerfase zal geen erosie optreden onder de gestelde condities omdat het evenwichtsprofiel geheel is benaderd. Hieronder volgt een korte uitleg:

#### Talud steiler dan evenwichtstalud

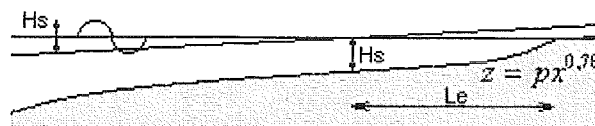
Wanneer een talud steiler wordt geplaatst dan de helling van het evenwichtprofiel is in Figuur 12.4 duidelijk te zien wat de te verwachten erosie situatie zal zijn. Aangegeven is ook de erosielengte.



Figuur 12.4: Profiel zandstrand talud steiler dan evenwichtstalud

#### Talud flauwer dan evenwichtstalud

Bij het toepassen van een flauwer talud dan het evenwichtsprofiel, zou bij gebruik van de in paragraaf 0 genoemde formule de situatie ontstaan zoals geschetst is in Figuur 12.5.



Figuur 12.5: Profiel zandstrand talud flauwer dan evenwichtstalud

Echter de situatie die zich wil instellen bestaat eigenlijk al bij het gekozen flauwe talud. Dat is duidelijk gemaakt in Figuur 12.6 waar het flauwe talud en het evenwichtsprofiel samen zijn gevoegd. Het is duidelijk dat wanneer wordt gekozen voor een helling gelijk of kleiner dan het evenwichtsprofiel er al een stabiele situatie is ontstaan.



Figuur 12.6: Profiel zandstrand talud flauwer dan evenwichtstalud

## 12.5 Stabiliteit bij langtransport

De invallende golven zullen bij het naderen van het zandstrand in hoogte toenemen omdat de golf de bodem als het ware begint te voelen. Hierbij neemt de steilheid van de golf toe totdat deze uiteindelijk niet meer in stand is te houden en vervolgens zal breken. Onregelmatige golven breken als geldt  $\gamma = H_s / h_b \approx 0,56$ .

Er zal bepaald worden op welke diepte de golven zullen breken onder stormcondities bij het strandje:

Na enige iteratie volgt voor de diepte:	$h = 1,25\text{m}$
De shoaling-coëfficiënt is dan:	$K_s = 0,9548$
De golfhoogte op diepte 1,25m is dan:	$H_{1,25\text{m}} = 0,9548 * 0,736\text{m} = 0,70\text{m}$
Verhouding golfhoogte/diepte is:	$\gamma = 0,70 / 1,25 = 0,56$ (oke)

De inkomende golven beginnen dus te breken op een diepte van 1,25m. In het gebied voor deze dieptelijn kan geen golfaangedreven langtransport van zand plaatsvinden omdat daar geen golfenergie gedissipeerd wordt door het breken van golven. Achter de genoemde dieptelijn kan wel een golfaangedreven langtransport ontstaan wanneer de golven onder een bepaalde hoek op de normaal van de oever het strandje binnenvallen.

Allereerst is er een inschatting gemaakt van de stabiliteit van de korrels op het zandstrand, uit Lit. [22]. De kritische wrijvingsnelheid  $u_{*c}$  wordt bepaald voor zand ( $\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$ ) met een korrel diameter  $d = 0,5\text{mm}$ . De  $u_{*c}$  bevindt zich op beide assen van de Shields-curve dus na enige iteratie volgt (volgens Lit [22]):

$$R_{e*} = \frac{u_{*c} d}{\nu} = \frac{0,036 * 5 * 10^{-4}}{1,33 * 10^{-6}} = 13,53 \rightarrow \psi_c = 0,03$$

$$\psi_c = \frac{u_{*c}^2}{\Delta g d} \rightarrow u_{*c} = \sqrt{\Delta g d \psi_c} = \sqrt{1,65 * 9,81 * 5 * 10^{-4} * 0,03} = 0,016$$

$$R_{e*} = \frac{0,016 * 5 * 10^{-4}}{1,33 * 10^{-6}} = 6,02 \rightarrow \psi_c = 0,03$$

$$u_{*c} = \sqrt{1,65 * 9,81 * 5 * 10^{-4} * 0,03} = 0,016$$

Vervolgens geldt voor een diepte van 1,25m (brekerdiepte) de volgende Chézy-coëfficiënt:

$$C = 18 \log\left(\frac{12h}{k_r}\right) = 18 \log\left(\frac{12 * 1,25}{0,001}\right) = 75,17 \text{ m}^{1/2}/\text{s} \quad (\text{Chezy})$$

De kritische snelheid waarbij de zanddeeltjes beginnen te bewegen luidt:

$$u_c = \frac{u_{*c}}{\sqrt{g/C}} = \frac{0,016}{\sqrt{9,81/75,17}} = 0,38 \text{ m/s op een diepte van } 1,25 \text{ m.}$$

Vervolgens worden de maximaal te verwachten stroomsnelheden bepaald (zie Bijlage I) ten gevolge van de orbitaalbeweging van de golven gezamenlijk met de langsstroom die de korrels kunnen doen bewegen op verschillende dieptes uit de oever.

Op een diepte van 1,25m; dat is op een afstand van 22m uit de waterlijn, wordt een maximaal optredende stroomsnelheid van 2,80m/s gevonden. Deze waarde is veel groter dan de kritische stroomsnelheid (0,38m/s) en beweging van korrels zal zeker plaatsvinden. De korrels worden meegevoerd in de richting van de langsstroom welke afhankelijk is van de hoek van inval van de golven. Een berekening van de hoeveelheid sedimenttransport die plaats zou vinden geeft veel te hoge waarden in de orde van 1m<sup>3</sup>/uur onder normale condities wat voor het zandstrandje niet realistisch lijkt (zie Bijlage I). Een verklaring hiervoor kan gevonden in het feit dat de beschikbare transportformules empirisch zijn bepaald voor zandstranden langs de kust waar een zeer brede brandingszone aanwezig is en waar deze waarden wel gemakkelijk op kunnen treden omdat daar een doorlopend zandtransport langs de kust optreedt (zowel ingaand als uitgaand). Echter zal toch een duurzame oplossing gevonden moeten worden en met ervaring van andere zandstranden aan de Fluessen wordt besloten om toch rekening te houden met het wegspoelen van zand en er dient daarom een passende bescherming ontworpen te worden.

Een oplossing kan zijn om een grotere korrel toe te passen die een grotere stabiliteit heeft. Na het herhalen van bovenstaande berekening wordt gevonden dat voor korrels met een diameter van 30mm geen beweging meer plaatsvindt, alleen deze diameter is niet meer geschikt voor het strandje vanwege de gebruiksvriendelijkheid.

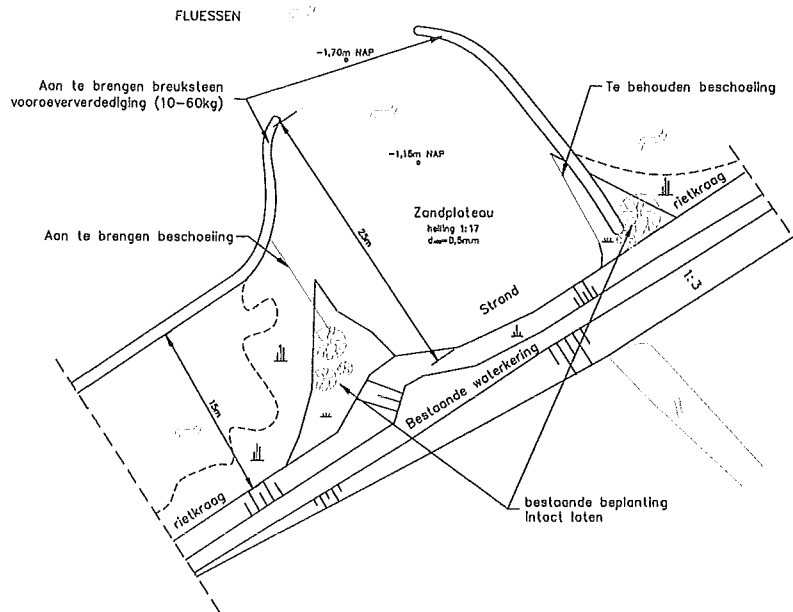
## 12.6 Alternatieven voor het zandstrandje

### 12.6.1 Toepassing van kribben

Een oplossing is om het gehele zandplateau af te schermen met twee stortstenen kribben. Deze kribben lopen door tot aan de brekerlijn waardoor geen langtransport van zand ter plaatse van het strandje kan plaatsvinden. Het materiaal blijft in de kom aanwezig. Een bijkomend voordeel is dat tevens wordt voldaan aan de eisen gesteld door de gebruikers die hebben aangegeven een voorkeur te hebben voor een beschutte zwemplaats omdat dit het verblijf aantrekkelijk maakt. Daarnaast vormen de kribben een baai, wat zorgt voor een duidelijke scheiding tussen het zandstrand en de naastgelegen oevers met rietkragen. Er wordt voorkomen dat bezoekers van het strand de naastgelegen oevers zullen gebruiken om te recreëren waarmee eventuele schade aan rietkragen en de vooroever wordt voorkomen. In dat geval is duidelijk sprake van een functiescheiding omdat de recreatie geconcentreerd blijft bij het zandstrandje.

De monding van de baai tussen de kribben heeft een breedte van 15m en wordt begrensd door een drijvende lijn. De kribben sluiten aan op de aan te leggen vooroeververdediging langs de waterkering gelegen aan het bungalowpark. De aanleg van de kribben zullen gelijktijdig met deze vooroeververdediging worden aangelegd waardoor kosten wellicht bespaard kunnen worden. De bestaande begroeiing dient gehandhaafd te blijven en ter voorkoming van rietgroei bij het zandstrand wordt er tussen de oever en de breuksteen vooroeververdediging een beschoeiing geplaatst.





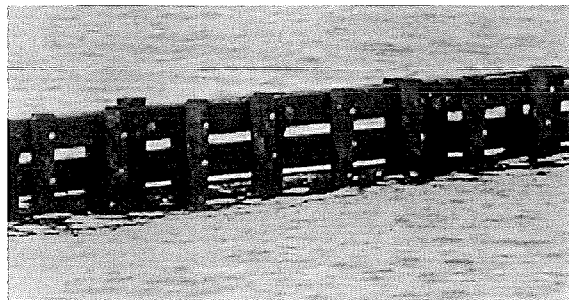
Figuur 12.7: Layout zandstrand met kribben

### 12.6.2 Toepassing van palenrij

Bij een toepassing met een palenrij treedt transmissie op van inkomende golven. De transmissiecoëfficiënt kan worden berekend met de formule):

$$K_s = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{(1-W^2)} \quad \text{waarin } W = \frac{D}{d} \quad (\text{Grune/Kohlhase 1974})$$

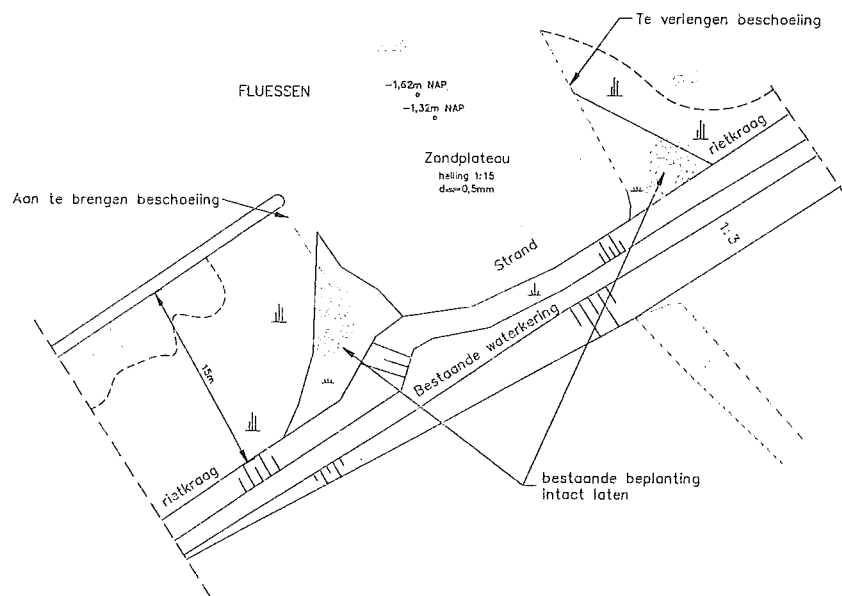
Palen met een diameter (D) van 0,10m en een hart-op-hart afstand (d) van 0,13m blijft 60% van de hoogte van de inkomende golf over. Vervolgens kan opnieuw een evenwichtsprofiel worden berekend dat uitkomt op een evenwichtshelling van 1:15 (Bijlage I). Wanneer deze palenrij aangesloten wordt op de aangelegde breuksteen vooroeververdediging dient de teen van het zandplateau opgesloten te worden door een schotbalk aan de onderzijde van de palenrij. De schotbalk dient om maximaal een zandhoogte van ongeveer 30cm te keren.



Figuur 12.8: Uitvoering palenrijen

Het Wetterskip heeft langs het Fluessen meerdere strandjes op deze manier afgeschermd zoals is te zien op bovenstaande foto's. Er zijn meerdere constructiemogelijkheden voorhanden als alternatief voor een palenrij, maar die allemaal hetzelfde effect bereiken, namelijk het dissiperen van golfenergie. Een alternatief met een palenrij of een dergelijke constructie heeft als voordeel dat er geen kribben in het meer uitsteken dat de veiligheid voor

navigatie nadelig kan beïnvloeden. Een aandachtspunt is dat er gelet moet worden op voldoende uitwisseling van water door de palenrij heen om de kwaliteit van het zwemwater te waarborgen achter de palenrij. Wanneer de openingen tussen de palen niet worden opgevuld vormt dit geen probleem. Bij dit alternatief wordt tussen de palenrij en de oever wel een beschoeiing doorgetrokken om de stabiliteit van het zandstrand te waarborgen. Daarnaast dient de beschoeiing voor een duidelijke scheiding tussen het zandstrand en de naastgelegen rietkragen.



Figuur 12.9: Layout zandstrand met palenrijen

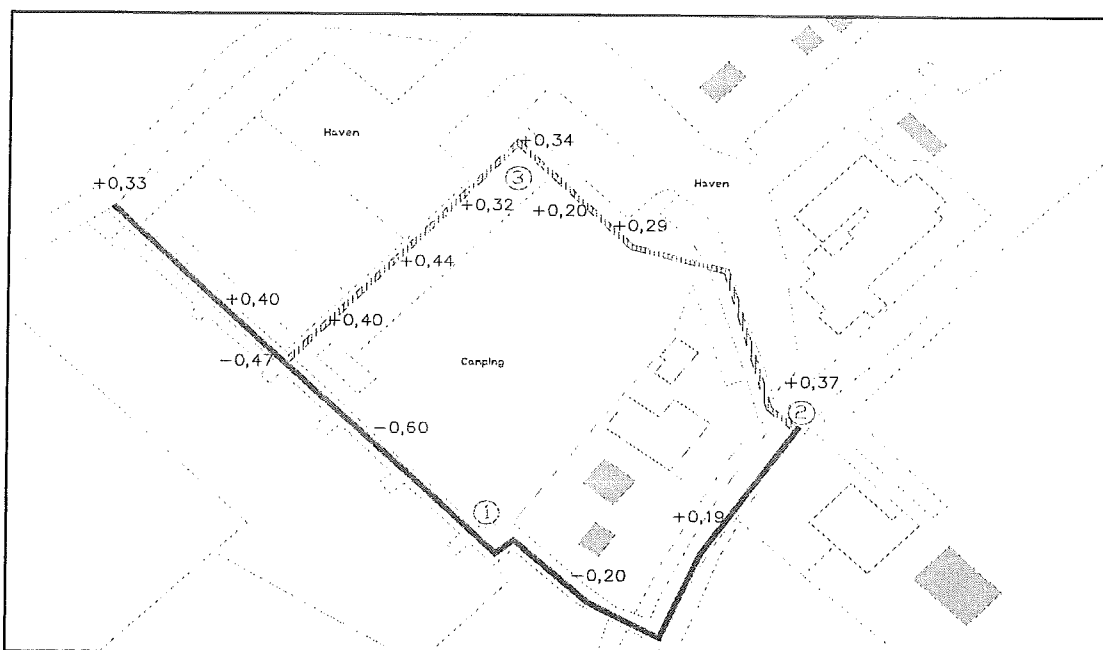
Voor beide bovenstaande alternatieven geldt dat er een zandplateau aangelegd dient te worden onder de genoemde evenwichtshellingen. In de praktijk zal het uitvoeringstechnisch lastig zijn om dit te realiseren. Bij de aanleg van het zandstrandje wordt dan ook aangeraden om het zand overmatig aan te brengen vlak onder de waterlijn. De inwerking van golven zorgt voor een natuurlijke verdeling van het zand en deze zal zich willen instellen volgens het evenwichtsprofiel. Het zand zich vanaf de waterlijn verdelen naar de diepere delen en in een latere periode kan dan dit nog eens herhaald worden, totdat over het hele dwarsprofiel een evenwichtssituatie is ontstaan.

## 13 Uitwerking waterkering jachthaven

In de jachthaven kunnen er 2 waterkeringen onderscheiden worden. Als eerste zal de huidige waterkering langs de kaden van de jachthaven bekeken worden en onderzocht worden of de kade hier verhoogd dient te worden. Daarna zal gekeken worden naar de mogelijkheden voor een waterkering in de watergang.

### 13.1 Huidige situatie

In Figuur 13.1 is weergegeven hoe de huidige waterkering loopt volgens de gegevens die wij hebben verkregen. De huidige waterkering loopt daarin rond de haven volgens de doorgetrokken lijn. Gezien de bodemhoogtes ter plaatse gaan wij er vanuit dat het tracé langs de havenbekkens loopt, zoals in de figuur gearceerd is aangegeven. Het zou ons namelijk niet logisch lijken dat de waterkering op  $-0,60\text{m}$  NAP zou liggen ( $0,10\text{m}$  onder het normale waterniveau). De bodemhoogtes zijn tevens weergegeven in Figuur 13.1.



Figuur 13.1: Verloop van de huidige kering rondom de jachthaven

### 13.2 Waterkering langs kaden jachthaven

Om de benodigde kruinhoogte van de kaden langs de jachthaven te bepalen zal eerst de golf indringing in de haven berekend worden.

#### 13.2.1 Inkomende golfhoogte

Als uitgangspunt wordt gebruikt de golfhoogtes die optreden bij gelijkblijvende kade tracé (het zogenaamde nulalternatief). Door de ligging van de havenmonding moet er rekening gehouden worden met golven vanuit 3 maatgevende windrichtingen (zie ook paragraaf 8.3), deze zijn:

- Westenwind onder een hoek van  $-7^\circ$  op de kade langs de Fluessen;
- Noordenwind loodrecht op de kade langs de Fluessen;
- Noordenwind onder een hoek van  $+38^\circ$  op de kade langs de Fluessen.

De westelijke windrichting met een grotere effectieve strijklengte ( $\beta = -27^\circ$ ) is niet maatgevend in de jachthaven, omdat deze richting bijna evenwijdig loopt met de kade langs de Fluessen nabij de jachthaveningang.

Deze golven treden op bij een MBP van  $-0,20\text{m}$  NAP, dit is situatie met een 1:100 overschrijdingskans. Hierop komt volgens het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) nog een onzekerheidsmarge van  $0,10\text{m}$  bovenop. Voor het gemak wordt de toeslag voor buistoten, bui-oscillaties en lokale opwaaiing ook op bij de maatgevende waterstand opgeteld. De maatgevende waterstand komt dan op  $0,0\text{m}$  NAP. Zie voor meer informatie hierover de hoofdstukken 6, 7 en 8.

De optredende inkomende golfhoogte ( $H_i$ ) bij de verschillende windrichtingen is weergegeven in Tabel 13.1. Deze is berekend met behulp van het spreadsheet (Bijlage F) dat is ontwikkeld door de projectgroep.

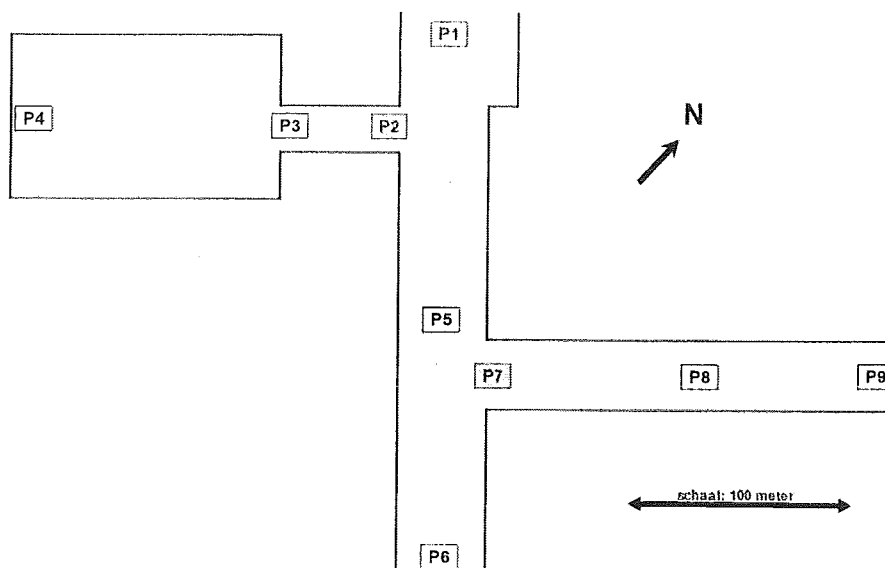
Windrichting	West ( $27^\circ$ )	Noord ( $0^\circ$ )	Oost ( $27^\circ$ )
$H_i$ [m]	0,74	0,61	0,64

Tabel 13.1: Golfhoogte bij verschillende windrichtingen

Voor deze inkomende golfhoogten zal vervolgens de golfindringing in de jachthaven worden berekend.

### 13.2.2 Golfindringing in de haven

Voor de haven is allereerst een schematisatie gemaakt, zie Figuur 13.2. Aan de hand van deze schematisatie worden op 9 punten de golfhoogtes bepaald. Dit zijn de punten P1 tot en met P9 in de figuur.



Figuur 13.2: Schematisatie t.b.v. de berekening van de golfdoordringing in de jachthaven

De havenmondning wordt geschematiseerd als een doorgaande golfbreker met een opening van  $30\text{m}$ . Aan de hand van Bijlage K kan dan een golfreductiefactor bepaald worden. De berekeningen van de golfhoogten zijn bijgevoegd in Bijlage K.

Punt	Golfhoogte [m]		
	West (-7°)	Noord (0°)	Noord (38°)
P1	0,74	0,61	0,64
P2	0,52	0,40	0,45
P3	0,28	0,22	0,25
P4	0,11	0,08	0,09
P5	0,27	0,22	0,23
P6	0,21	0,16	0,17
P7	0,24	0,20	0,21
P8	0,10	0,07	0,08
P9	0,07	0,05	0,06

Tabel 13.2 Golfhoogte in haven bij verschillende windrichtingen

Voor de huidige waterkering is punt P2 uit Figuur 13.2 maatgevend. Uit Tabel 13.2 blijkt dat bij westenwind de hoogste golven voorkomen ter plaatse van punt P2; namelijk 0,52m bij de maatgevende waterstand van 0,0m NAP. Doordat de bestaande kering hier niet hoger is dan 0,20m NAP, zal dit dus een zwak punt zijn in de kering.

### 13.2.3 Oplossing waterkering haven

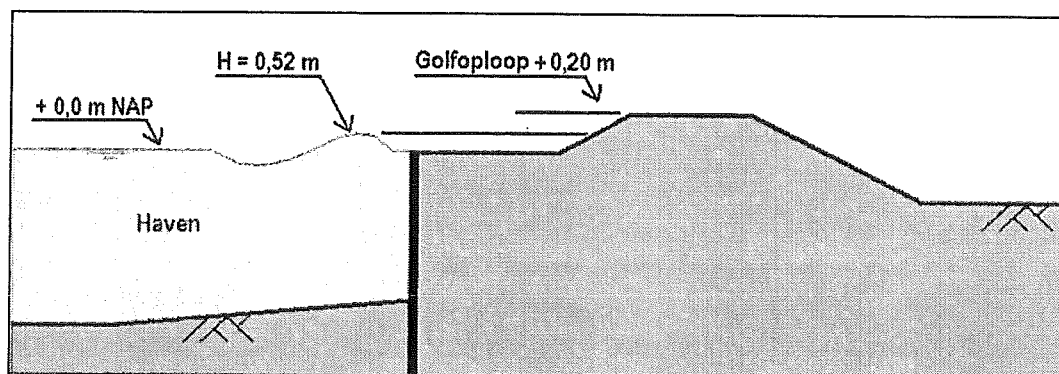
#### 13.2.3.1 Nulalternatief

Het tracé, zoals het volgens de kaart (Figuur 13.1) zou lopen, wordt het **Nul 1** alternatief genoemd. Het tracé langs de jachthaven noemen wij het **Nul 2** alternatief.

Voor beide tracé's geldt dat om de golfhoogte van 0,52m, ter plaatse van punt P2, goed te kunnen keren, de minimale kruinhoogte 0,50m +NAP moet zijn. Dit is de eerdergenoemde waterstand van 0,0m +NAP met een golfhoogte van 0,52m t.p.v. punt P2 en een extra veiligheid.

Omdat de kades in de haven allemaal loodrecht zijn, zullen inkomende golven hier gedeeltelijk reflecteren. Het bovenste gedeelte van de golf slaat nog over deze kade. Hierna slaat de golf op het wandelpad langs de jachthaven. Bij het kritieke punt P2 is de totale breedte van deze "berm" ongeveer 10m. Na deze "berm" bereikt de golf de eigenlijke waterkering. Als extra hoogte van deze kade wordt 0,20m boven op de helft van de golfhoogte aangehouden (zie ook Figuur 13.3).

Door de totale waterkering nu met op een minimale hoogte van 0.50m +NAP aan te leggen, wordt een voldoende veiligheid gegarandeerd.



Figuur 13.3: Maatgevende waterstand en golfhoogte in de jachthaven t.p.v. punt P2

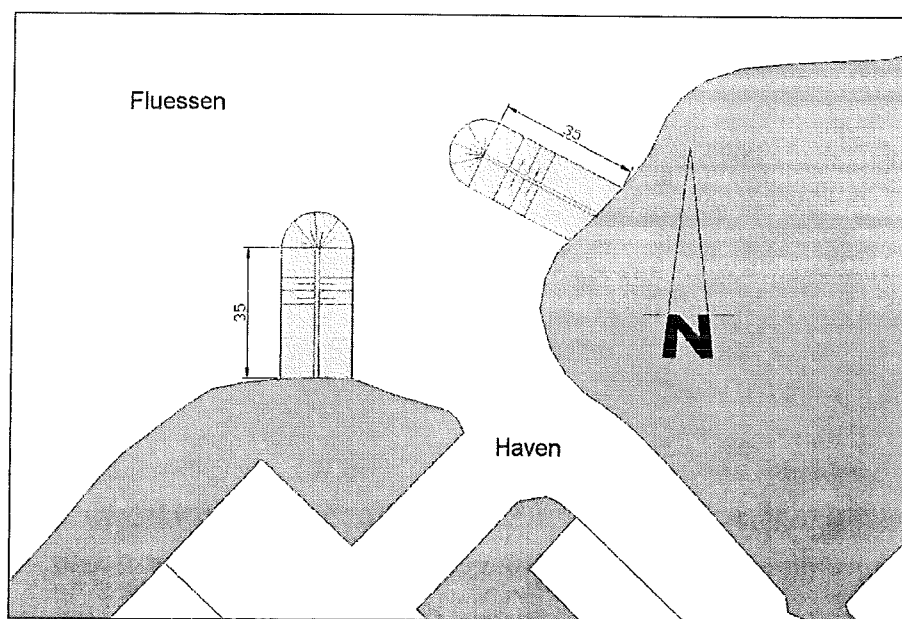
### 13.2.3.2 Golfbrekers

Om de golfhoogte in de haven te beperken zijn er een aantal mogelijkheden. De meest gebruikte oplossing voor golfreductie is het aanleggen van een golfbreker in de havenmondning.

Als eis hebben is door ons gesteld dat een golfbreker de golven zover reduceert dat de huidige kadehoogte gehandhaafd kan worden. De maximale golfhoogte die dan op punt P2 mag voorkomen is 0,30m (top golf op 0,15m NAP). De gedachte hierachter is dat de kaden rondom de jachthaven voor het grootste gedeelte een minimale kruinhoogte hebben van 0,35m NAP. Alleen voor een klein gedeelte van de waterkering is er dan kadeverhoging nodig.

Bij de jachthaven in Elahuizen is het wenselijk om aan beide zijden van de havenmondning een golfbreker aan te leggen. Dit omdat de windrichting en dus de golven vanuit verschillende richtingen de haven kunnen bereiken. Bij het ontwerp van deze golfbrekers is er rekening gehouden met de ligging van de bestaande vaargeul. De uiteinden van de golfbrekers liggen daarom minimaal 40m uit elkaar.

Met deze randvoorwaarden is een ideaal ontwerp gemaakt, waarbij de beide golfbrekers een lengte hebben van 35m. Zie Figuur 13.4.



Figuur 13.4 Havenmondning met golfbrekers

Als deze golfbrekers worden toegepast reduceren de berekende golfhoogten tot de waarden weergegeven in Tabel 13.3.

Punt	Golfhoogte [m]		
	West (-7°)	Noord (0°)	Noord (38°)
P1	0,30	0,27	0,38
P2	0,21	0,18	0,27
P3	0,11	0,10	0,15
P4	0,04	0,04	0,05
P5	0,11	0,10	0,14
P6	0,09	0,07	0,10
P7	0,10	0,09	0,13
P8	0,04	0,03	0,05
P9	0,03	0,02	0,03

Tabel 13.3 Golfhoogten in de haven bij toepassing van golfbrekers

Uit de berekende waarden volgt dat de golfbrekers voldoen aan de gestelde eis van maximale golfhoogte van 0.30m bij punt P2. In deze situatie is de noordenwind maatgevend.

### 13.3 Waterkering in watergang

Vervolgens zal een andere oplossing bedacht worden om het water te keren in de watergang van de jachthaven. Deze waterkering moet een beweegbare kering zijn, omdat er ook boten in en uit de haven moeten kunnen varen.

Een groot nadeel van een beweegbare kering is, dat het een dure oplossing is. Verder is een beweegbare kering vaak lastig te onderhouden. Een aanvullende eis is dat de havenmond niet smaller mag worden door de kering, omdat anders moeilijkheden kunnen optreden bij het in- en uitvaren van de jachthaven. Met deze punten moet zoveel mogelijk worden rekening gehouden bij het verdere ontwerp.

#### 13.3.1 Plaats kering

Een beweegbare kering kan op verschillende plaatsen in de haven aangelegd worden. Mogelijke plaatsen voor de waterkering in de jachthaven in Elahuizen zijn:

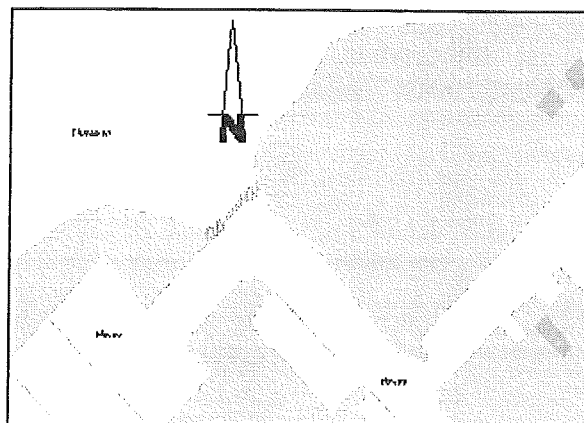
- Voor het eerste havenbekken (gehele haven binnendijks);
- Achter het eerste havenbekken (gedeelte haven binnendijks).

Vervolgens worden deze twee mogelijke plaatsen voor de beweegbare kering verder beschreven. Het verloop van de waterkering ten noorden van het beweegbare gedeelte wordt niet verder behandeld, omdat voor dit gebied een aparte afweging gemaakt dient te worden i.v.m. de aanwezige natuur- en landschapselementen.

##### 13.3.1.1 Waterkering voor het eerste havenbekken

Als de beweegbare waterkering voor het eerste havenbekken wordt geplaatst wordt het gehele jachthaventerrein binnendijks gebied. Vanaf de kering wordt de kade doorgetrokken naar de noordelijk gelegen aanwezige kade. De haven wordt afgesloten door een beweegbare waterkering. Hierdoor komen er geen golven meer in de haven.

Deze variant is schematisch weergegeven in Figuur 13.5.



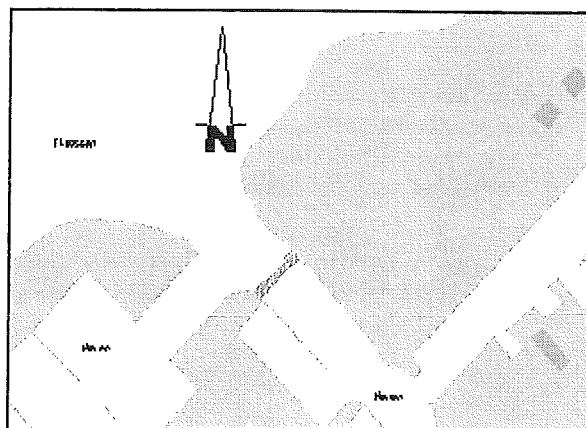
*Figuur 13.5: Waterkering voor eerste havenbekken*

Een voordeel van deze variant is dat alle huizen en boten beschermd zijn tegen hoogwater en golven. Ook scheelt deze oplossing grondwerk, aangezien de bestaande waterkering rondom de jachthaven niet opgehoogd hoeft te worden.

### **13.3.1.2 Waterkering achter het eerste havenbekken**

Als de waterkering achter het eerste havenbekken wordt geplaatst is niet het gehele jachthaventerrein binnendijks gebied. De bestaande kade rond het eerste havenbekken moet dan op een dusdanige hoogte worden gebracht, zodat bij punt P2 een golfhoogte van 0,52m gekeerd kan worden (Tabel 13.2).

Het grootste voordeel van deze variant is dat de beweegbare kering op een smaller punt in de haven aangelegd wordt, zodat de kosten minder zullen zijn. Nadelig is het dat het eerste havenbekken buitendijks gebied is geworden. Deze variant is schematisch weergegeven in Figuur 13.6.



*Figuur 13.6: Waterkering achter eerste havenbekken*

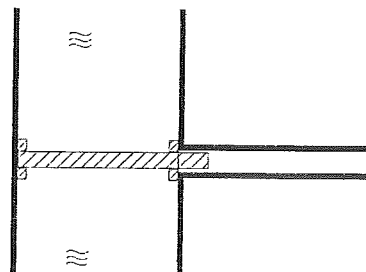


### 13.3.2 Soort kering

Naast de plaats waar de kering komt, zijn er ook nog verschillende soorten beweegbare keringen, hieronder staan een aantal mogelijke oplossingen beschreven:

#### 13.3.2.1 Roldeur

Een roldeur bestaat uit een deur die over een rails op de drempel rijdt. In de geopende toestand bevindt de deur zich in een kas die een iets grotere lengte heeft dan de deur. In de gesloten toestand bevindt de deur zich met de zijken in de deurkassen. De deur draagt de horizontale belastingen voornamelijk af naar de zijanslagen



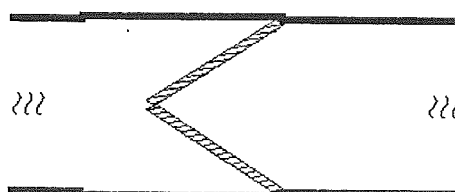
Figuur 13.7: Principe roldeur

Voordelen	Nadelen
Grote doorvaartbreedte te handhaven	Ruimtebeslag van deurkas
Onbepaalde doorvaarthoogte	Veel mechanische onderdelen
	Onderhoud

Tabel 13.4: Voor- en nadelen roldeur

#### 13.3.2.2 Puntdeuren

Bij de puntdeur worden twee vlakke deuren onder een hoek tegen elkaar geplaatst zodat als het ware een horizontaal driescharnierspant ontstaat. De deuren worden hydraulisch of met de hand dichtgedraaid.



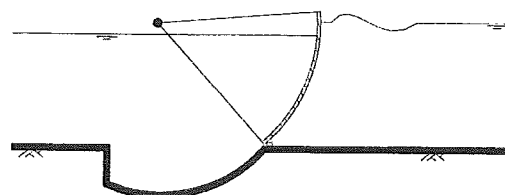
Figuur 13.8: Principe puntdeur

Voordelen	Nadelen
Goede krachtsoverdracht	Ruimtebeslag: grote sluishoofdmuren
Authentiek karakter	Gevoelig voor ijsgang
Onbepaalde doorvaarthoogte	Bepaalde doorvaartbreedte
Zeer weinig onderhoud	

Tabel 13.5: Voor- en nadelen puntdeur

#### 13.3.2.3 Segmentdeur

De segmentdeur bestaat uit een cirkelsegment dat het water keert. Het segment is scharnierend verbonden aan pijlers, landhoofden of aan de drempel. Het bewegen van de deur gebeurt met behulp van vijzels, stangen en/of luchtkisten.



Figuur 13.9: Principe segmentdeur

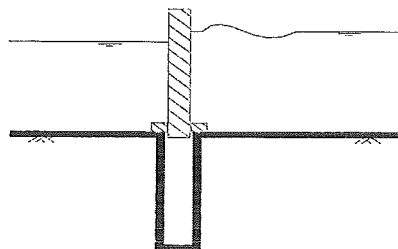
Voordelen	Nadelen
In rusttoestand uit het zicht	Lastig onderhoud
Onbepaalde doorvaarthoogte	Veel mechanische onderdelen
	Zware draaipuntsconstructie

Tabel 13.6: Voor- en nadelen segmentdeur

### 13.3.2.4 Zakdeur

De zakdeur is een vlakke deur die in geopende toestand in de bodem is gezakt.

De deur beweegt zich langs pijlers of landhoofden. De beweging van de deur kan worden gerealiseerd met kabels en lieren, hydraulische persen, drijfkisten of een combinatie hiervan.



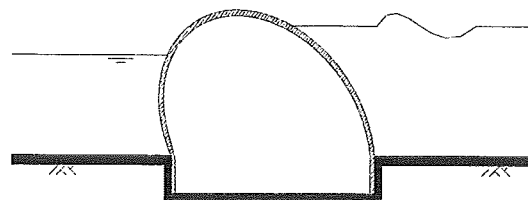
Figuur 13.10: Principe zakdeur

Voordelen	Nadelen
In rusttoestand uit het zicht	Moeilijke aanleg door diepe constructie
Onbepaalde doorvaarthoogte	Lastig onderhoud

Tabel 13.7: Voor- en nadelen zakdeur

### 13.3.2.5 Balgstuw

Een balgkering is een flexibele kering die bestaat uit een vlies van kunststof dat waterdicht wordt verbonden aan een drempel. De ruimte tussen vlies en de drempel wordt gevuld met water of lucht waardoor het vlies wordt gespannen. Door de bolle vorm die het gevulde vlies aanneemt wordt een barrière gevormd voor het water.



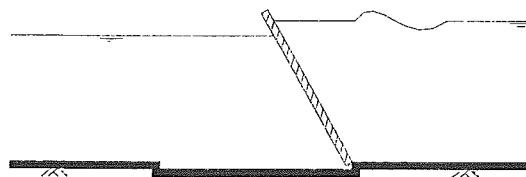
Figuur 13.11: Principe balgstuw

Voordelen	Nadelen
In rusttoestand uit het zicht	Lastig onderhoud
Onbepaalde doorvaarthoogte	Duur

Tabel 13.8: Voor- en nadelen balgstuw

### 13.3.2.6 Klepkering

De klepkering bestaat uit een stalen plaat in een drempel, die scharnierend wordt bewogen door vijzels, drijfkisten of stangen. De krachten kunnen direct worden afgedragen naar de drempel, of worden opgevangen door het drijfvermogen en eigengewicht van de kering.



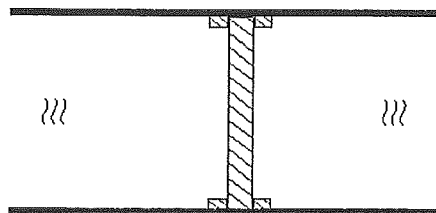
Figuur 13.12: Principe balgstuw

Voordelen	Nadelen
In rusttoestand uit het zicht	Lastig onderhoud
Onbepaalde doorvaarthoogte	Mechanische onderdelen

Tabel 13.9: Voor- en nadelen klepkering

### 13.3.2.7 Schotbalken

Schotbalken zijn balken die bij een dreigende hoge waterstand tussen twee landhoofden worden geschoven. Vroeger waren dit houten balken, maar nu zijn er ook aluminium en betonnen schotbalken verkrijgbaar.



Figuur 13.13: Principe schotbalken

Voordelen	Nadelen
Simpele constructie	Verlies aan doorvaartbreedte
Onbepaalde doorvaarthoogte	Arbeidsintensief in gebruik

Tabel 13.10: Voor- en nadelen schotbalken

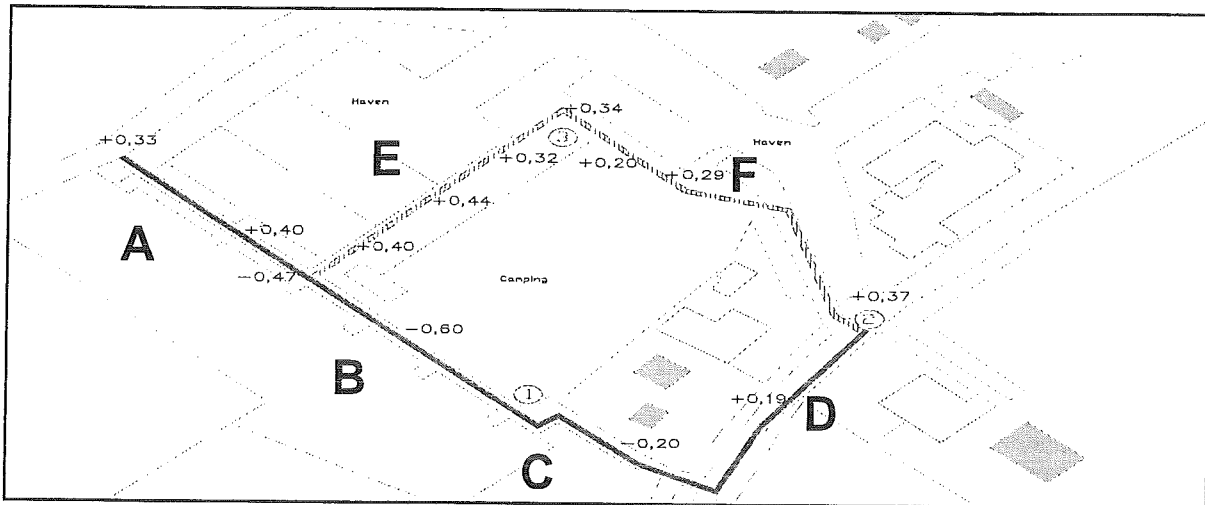
## 13.4 Globale kostenberekening

### 13.4.1 Nulalternatief

Zoals blijkt uit paragraaf 13.2 moet de waterkering opgehoogd worden. Voor de taluds van de verhoging wordt met 1:2 gerekend. Om de gevolgen van zetting en klink mee te nemen wordt er 10 % van de verhoging extra aangebracht, met een minimum van 0,10 meter.

Omdat de waterkering niet overal dezelfde hoogte heeft en dus niet overal evenveel opgehoogd hoeft te worden, is de waterkering in delen opgedeeld, zie Figuur 13.14. Aan de hand van de bestaande functie van dit deel wordt er een breedte van de ophoging gegeven. Daar waar er nu een weggedeelte ligt, zal de breedte van de kruin 5m worden. Indien het momenteel een wandelpad is, wordt de kruinbreedte 2m.

Voor het nulalternatief geldt een minimale kruinhoogte van +0,50m NAP (dit is de eerdergenoemde waterstand van 0,0m NAP met een golfhoogte van 0,52m t.p.v. punt P2 en een extra veiligheid van 0,20m). Voor de taluds van de verhoging wordt met 1:2 gerekend. Om de gevolgen van zetting en klink mee te nemen wordt er 10% van de verhoging extra aangebracht, met een minimum van 0,10m.



Figuur 13.14: Verdeling van waterkering

Allereerst wordt er gekeken naar het ophogen van de bestaande waterkering. Deze loopt volgens de opgave van het waterschap over het traject A-B-C-D in Figuur 13.14. De uitkomsten van deze berekening zijn terug te vinden in Tabel 13.11.

Stuk	lengte ophoging [m]	Huidige hoogte [m NAP]	Gewenste hoogte tov NAP [m]	ophoging incl 10% zetting [min 0,1m]	benodigde grond [m <sup>3</sup> ]	totale kosten [ ]
A	90	0,40	0,50	0,2	97	1367
B	100	-0,60	0,50	1,2	898	12623
C	50	-0,20	0,50	0,8	264	3712
D	100	0,20	0,35	0,25	138	1933
<b>Totaal:</b>						<b>19.635</b>

Tabel 13.11: Berekening benodigde grond bij verhoging "bestaande kering"

Ook het verhogen van de waterkering langs de jachthaven over traject A-E-F in Figuur 13.14 is berekend. De resultaten hiervan zijn te vinden in Tabel 13.12.

Stuk	lengte ophoging [m]	Huidige hoogte [m NAP]	Gewenste hoogte [m NAP]	ophoging incl 10% zetting (min 0,1m) [m]	benodigde grond [m <sup>3</sup> ]	totale kosten [ ]
A	90	0,40	0,50	0,2	97	1367
E	100	0,40	0,50	0,2	48	675
F	180	0,20	0,50	0,4	202	2834
<b>Totaal:</b>						<b>4.876</b>

Tabel 13.12: Berekening benodigde grond bij verhoging kering langs de jachthaven

Uit deze berekeningen blijkt dat het verhogen van de kering rondom de jachthaven (traject A-E-F) vele malen goedkoper is dan het verhogen van traject A-B-C-D. In de berekening van deze kosten is enkel gekeken naar het ophogen van de waterkering en niet naar het opnieuw aanleggen van de weg op het campingterrein en de Mardijk. Als deze kosten ook meegenomen worden valt de eerste oplossing nog duurder uit.

### 13.4.2 Golfbreker

Om een kostenberekening van de golfbreker te kunnen maken moet er eerst een globaal ontwerp gemaakt worden. Aan de hand van dit ontwerp kunnen dan de hoeveelheden bepaald worden die nodig zijn om een kostenberekening te maken.

In Tabel 13.13 zijn de initiële specificaties voor de golfbrekers weergegeven zoals aangenomen zijn.

Beschrijving	Waarde	Eenheid
Lengte golfbreker 1	40	m
Lengte golfbreker 2	35	m
Taludhelling	1:3	-
Steenklasse	10-60	kg
Kruinbreedte	1	m
Hoogte boven MBP	0.5	m
Waterdiepte	2.0	m

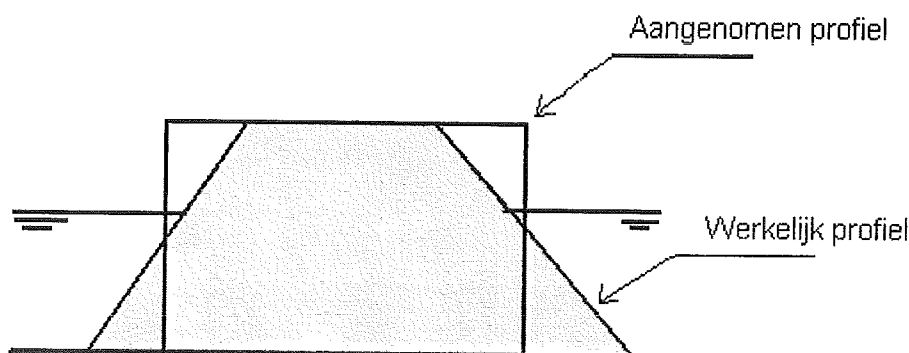
Tabel 13.13 Specificaties golfbrekers

Doordat je op de ongestoorde bodem een extra gewicht legt bij de aanleg van een golfbreker zal de ondergrond gaan zettingen. Deze zetting ten gevolge van deze extra bovenbelasting is berekend in Bijlage G en hier onder kort samengevat.

#### 13.4.2.1 Berekening zetting golfbreker

Aan de hand van het in de paragraaf 13.2.3 gevonden ideale ontwerp voor de golfbrekers kan een zettingsberekening gemaakt worden. Zoals blijkt uit paragraaf 13.2.3 zijn er 2 golfbrekers nodig.

Met de waarden uit Tabel 13.13 kan er een dwarsprofiel gehaald worden. Om de zettingsberekening eenvoudig te houden wordt er een geschematiseerd profiel aangenomen (zie Figuur 13.15).



Figuur 13.15: Schematisatie golfbreker t.b.v. zettingsberekening

De zetting bestaat uit 2 delen; namelijk primaire zetting en secundaire zetting. Primaire zetting is de zetting ten gevolge van het aanbrengen van de extra belasting en de secundaire zakking is het deel waar de zakking in de tijd wordt berekend.

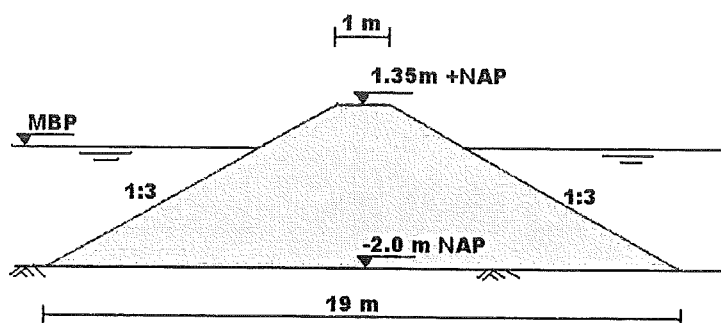
Uit de berekening, uitgevoerd in Bijlage G, volgt de volgende zetting:

Zetting [m]	
$W_{\text{primair}}$	0,59 m
$W_{\text{secundair}}$	0,24 m
$W_{\text{totaal}}$	0,84 m

Tabel 13.14 Resultaten zettingsberekening

De golfbreker moet dus met een minimale overhoogte aangelegd worden van 0,85m.

Uit de zetting berekening volgt het aan te leggen profiel van de golfbrekers. Dit profiel is weergegeven in Figuur 13.16.



Figuur 13.16: Aanlegprofiel golfbrekers

#### 13.4.2.2 Globale kostenberekening golfbreker

Nu bekend is hoe het profiel van de golfbrekers er uit komt te zien kan er een globale kostenberekening uitgevoerd worden. Met behulp van de GWW-kosten (Lit. [27]) zijn er 2 mogelijke golfbrekers bekeken; namelijk, een golfbreker die compleet uit breuksteen bestaat en een die een kern heeft van minder grof materiaal. In de kostenberekening wordt geen rekening gehouden met de kosten van het samenstellen van een kraagstuk. De berekening is te vinden in Bijlage L.

Variant	Totale kosten
Breukstenen golfbreker (sortering 10-60kg)	115.000
Golfbreker met binnenkern (sortering 50/150mm)	86.000

Tabel 13.15: Resultaten kostenberekening

Uit deze globale berekening blijkt dat het toepassen van een golfbreker met binnenkern (sortering 50/150mm) invloed heeft op de totale kosten, Tabel 13.15. Indien er een kern van zand wordt toegepast worden de materiaalkosten aanzienlijk lager omdat zand goedkoper is (5 per  $m^3$  voor zand t.o.v. ongeveer 21 per  $m^3$  voor sortering 50/150mm). Maar het toepassen van een zandkern heeft een groot aantal uitvoeringstechnische nadelen.

### 13.4.3 Beweegbare kering

Bij het bepalen van de kosten van een beweegbare kering is het lastig om een globale berekening te maken. Er zijn niet zoals bij de golfbreker indicatietabellen (Lit. [27]) om een globale kostenraming te maken. Er zal daarom een indicatie aanhouden worden zoals aangegeven door het Wetterskip Fryslân. Deze indicatie zal gebruikt worden voor alle alternatieven (zie Tabel 13.16).

Omschrijving	Totale kosten
Beweegbare kering	1.000.000

Tabel 13.16: Indicatie kosten beweegbare kering

### 13.4.4 Conclusie

Zoals blijkt uit de voorgaande kostenberekening is een beweegbare kering vele malen duurder dan de beide andere alternatieven.

Er moet wel een kanttekening geplaatst worden bij de kosten van een beweegbare kering. Er is nu namelijk een standaardprijs aangenomen die geldt voor alle soorten keringen. Nader onderzoek moet gedaan worden voor een nauwkeurigere kostenberekening per kering-alternatief.

Verder is in de berekening van de kosten van de nul-alternatieven niet meegenomen het eventueel ver-/herleggen van kabels en leidingen. Maar te verwachten is dat deze kosten dan niet zo hoog zullen worden als die van de beweegbare kering.

## 13.5 Nader onderzoek alternatieven

In dit gedeelte worden de overgebleven alternatieven beoordeeld aan de hand van de criteria die genoemd zijn in hoofdstuk 10. De resultaten staan vermeld in Tabel 13.17.

Hoofdgroep	Hoofdcriteria	Subcriteria	Alternatieven		
			Nul 1	Nul 2	Alt1
Landschap	Behoud natuur		++	++	++
	Visuele hinder	Landschappelijk karakter	++	++	+/-
Sociaal	Voordeel voor zeilers		-	-	++
Technisch	Technische uitvoering		+	+	++
	Bouwhinder	Bouwtijd	++	++	+
		Stremming	++	+	+/-
Economisch	Kosten [euro]		20.000	5000	86.000
	Onderhoud	Onderhoudskosten	++	++	+
		Mate van onderhoud	++	++	+
	duurzaamheid		+/-	+/-	-

Tabel 13.17: Toetsing overgebleven alternatieven

Met deze beoordeling kan het beste alternatief gekozen worden. Deze keuze laten wij over aan het Wetterskip Fryslân.

## **DEEL C**

## **EVALUATIE**



## **14 Evaluatie van het onderzoek**

Dit laatste onderdeel van het eindrapport geeft een toelichting op de resultaten en bevindingen die gedurende het onderzoek naar voren zijn gekomen. Daarnaast worden de beperkingen en tekortkomingen beschreven waarmee rekening moet worden gehouden voor een juiste interpretatie van het onderzoek. Daarnaast wordt een beschrijving gegeven van mogelijke toepassingen op de resultaten van dit onderzoek voor andere gebieden, die kampen met dezelfde problematiek als de verhoging van de waterkering bij Elahuizen.

### **14.1 Conclusies uit het onderzoek**

#### **14.1.1 Verhoging van de waterkering ter plaatse van het bungalowpark**

Door de projectgroep is een onderzoek uitgevoerd naar de voorgenomen kadeverhoging door het Wetterskip Fryslân rond het bungalowpark 't Zwin te Elahuizen.

Onderdelen van het onderzoek zijn:

- Toetsen en aanpassen van berekeningsmethode kruinhoogte;
- Herberekening met nauwkeurigere (minder globale) invoerwaarden;
- Inventarisatie en berekeningen van hoogtereducerende technische oplossingen.

Uit een controle van de gebruikte berekeningsmethode in het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) is gebleken dat de gebruikte methode correct is volgens de destijds vigerende TAW-richtlijnen. Voor de periode werd echter een verkeerde aanname gedaan. Deze heeft geleid tot een hogere benodigde kruinhoogte dan in het rapport vermeld stond.

In het rapport Technische Normen Friese Kaden (Lit. [1]) is een globale klassenindeling gemaakt voor een groot aantal invoerparameters. Ook zijn een aantal invloedsfactoren niet meegerekend, die de kruinhoogte aanmerkelijk kunnen reduceren. In een herberekening zijn door de projectgroep de invoerparameters exacter bepaald en is er indien van toepassing wel rekening gehouden met de invloedsfactoren. Het resultaat van deze herberekening is dat de kruinhoogte nog steeds hoger is dan de voorgenomen kruinhoogte in het projectgebied.

Daarna heeft er een inventarisatie plaatsgevonden van golfreducerende, en dus ook kruinhoogtereducerende maatregelen. Uit berekeningen van de kruinhoogte met deze reducerende maatregelen zijn een aantal alternatieven geselecteerd die een mogelijke oplossing bieden.

In totaal zijn er tien alternatieven naar voren gekomen ter vervanging van de voorgenomen verhoging van de waterkering ter plaatse van het bungalowpark. Elk van de alternatieven voldoet aan de huidige veiligheidsnormen en het gestelde veiligheidsniveau. Daarnaast is er voornamelijk een oplossing geboden aan het uitzichtbederf die de voorgenomen verhoging van de waterkering tot gevolg zou hebben.

Wel moet opgemerkt worden dat bij de 6 alternatieven waarbij kadeverhoging noodzakelijk is, er rekening gehouden moet worden met een overhoogte van 0,39m. Dit komt er op neer dat bij de aanleg van de nieuwe kering de kade verhoogd zal moeten worden met 0,65m om uiteindelijk (na 30 jaar) een (acceptabele) verhoging van 0,26m te bereiken. In het eerste jaar zal van deze overhoogte wel al ongeveer 80% verdwenen zijn. Dit probleem moet nog besproken worden met de bewoners van het bungalowpark.

De mogelijkheid om het gehele bungalowpark als buitendijks gebied te maken werd in het begin van het onderzoek aangedragen als alternatief om geen dijkverhoging toe te passen. Aan het eind van het onderzoek is gebleken dat er voldoende technische oplossingen zijn,

zodat deze oplossing die door alle partijen als laatste optie werd beschouwd, mede door de juridische problematiek en kosten, niet toegepast hoeft te worden.

#### 14.1.2 Strandje Elahuizen

Het strandje is opnieuw gedimensioneerd om een oplossing te bieden aan het probleem van wegspoelen van zand. Het strandje kan behouden blijven in zijn huidige omvang en uiterlijk en zijn beschutte ligging kan worden gewaarborgd. Er zijn twee alternatieven uitgewerkt die beide stabiel zijn onder normale stormcondities met betrekking tot dwars- en langstransport van zand. De alternatieven passen in het bestaande landschap en het uiterlijk van het strandje wordt nagenoeg niet aangetast. Bestaande begroeiing op de hoeken van het strandje blijft behouden.

De berekende kostenindicatie laat zien dat een oplossing in de vorm van een afgeschermd strandje door middel van een palenrij goedkoper blijkt dan een oplossing met breuksteen kribben. Daarbij moet worden opgemerkt dat het hier een kostenindicatie betreft en dat de werkelijke aanlegkosten nog bepaald moeten worden.

Een oplossing voor het wegspoelen van zand blijkt duur te zijn in verhouding tot de kosten van het jaarlijks opnieuw aanbrengen van zand. Omdat het strandje zelf geen waterkerende functie bekleedt kan overwogen worden om niet te kiezen voor een onderhoudsarme oplossing. Een ander mogelijk alternatief is het toepassen van grind met een grote diameter (>3cm) in plaats van zand, alleen dit wordt niet aantrekkelijk bevonden door de gebruikers, en daarmee kan het strandje in de toekomst zijn recreatieve functie verliezen.

#### 14.1.3 Jachthaven Elahuizen

Om de waterkering in de jachthaven te kunnen dimensioneren is er een berekening van de golfhoogten in de jachthaven uitgevoerd. Hieruit is gebleken dat de huidige waterkering (nul-alternatieven) beperkt verhoogd dient te worden (tot 0,5 m + NAP). Een nadeel van het ophogen van de kering in de haven is wel dat hier vrij hoge golven aanwezig zullen zijn. Hoge golven zijn sowieso in een haven niet echt wenselijk, aangezien dit tot schade kan leiden aan de boten die hier afgemeerd liggen.

Als alternatief is er onderzocht of een golfbreker de golven zou kunnen reduceren. Deze golfbreker in de havenmondung zorgt ervoor dat de golfindringing vele malen minder wordt, waardoor de kadeverhoging minder is als bij de nul-alternatieven. De minimale kadehoogte wordt nu 0,35 m + NAP. Op sommige plaatsen is de hoogte van de huidige kering dan al voldoende.

Ook buiten de extreme situaties om reduceert deze golfbreker de inkomende golven. Voor de zeilers die gebruik maken van de jachthaven (incl. de zeilscholen) is dit een groot bijkomend voordeel. Tijdens het optuigen en aanmeren van de boten hebben zij minder last van de golven.

Een ander alternatief is een beweegbare waterkering in de haven, die alleen ten tijde van extreme waterstanden gesloten wordt. Deze kering kan op 2 plaatsen in de haven aangelegd worden; namelijk in de haven mondung en vlak na het eerste havenbekken.

Dit is in verhouding een dure oplossing, waarbij tevens de doorvaartbreedte van de haven gereduceerd dient te worden. Gezien de globale kosten van de andere oplossingen is een (dure) beweegbare kering niet de meest ideale oplossing.

## **14.2 Beperkingen en tekortkomingen van het onderzoek**

Het onderzoek is grotendeels gebaseerd op verstrekte gegevens van het Wetterskip Fryslân. Om bepaalde berekeningen compleet te maken is ook gebruik gemaakt van gegevens uit andere bronnen.

### **14.2.1 Genoemde kosten**

In het onderzoek zijn kostenindicaties gemaakt om de gestelde alternatieven met elkaar te kunnen vergelijken. De genoemde getallen zijn echter niet geschikt om te worden gebruikt als de werkelijke kosten. Zij dienen slechts ter indicatie om beeld te kunnen vormen op de gestelde alternatieven. Waarschijnlijk wijken zij af van de werkelijke kosten. Daarom kan een definitieve afweging het beste worden gemaakt door het Wetterskip Fryslân, omdat deze organisatie veel ervaring heeft met het ramen van dergelijke projecten.

Om diezelfde reden is ook geen rekening gehouden met onderhoudskosten en de levensduur van de genoemde alternatieven met betrekking tot de kosten.

### **14.2.2 Grondgesteldheid**

De werkelijke zetting van de kade en de golfbrekers zal waarschijnlijk minder zijn als de door ons berekende waarden. De gebruikte waarden uit Tabel 1 van NEN-6740 zijn veilige waarden. Indien de grondparameters nauwkeurig worden bepaald is een betere inschatting te maken van de werkelijke zetting. Tevens is het ook aannemelijk is dat de kade tijdens de verhoging door het gebruikte zware materieel al zal verdichten.

De aangeleverde sondering is aangepast aan de voor de locatie geldende situatie. Deze aanname zal bij het uitwerken van de definitieve oplossing nog wel op zijn geldigheid gecontroleerd moeten worden

Tevens moet er rekening worden gehouden met de tijd dat de zetting nodig heeft om op te treden. De snelheid waarmee de zetting optreedt, is voor een groot deel afhankelijk van de doorlatendheid van de grondlagen. De overhoogte van de kade en de golfbreker zullen voor het grootste deel kort na de aanleg wegzakken. Dit betekent dat eventuele bezwaren tegen de hoogte in een begin periode getolereerd moeten worden.

### **14.2.3 Golfindringing jachthaven**

Ter plaatse van de jachthaven is een handmatige berekening uitgevoerd om de golfindringing te berekenen. Deze handberekening laat een golfbeeld zien die in de werkelijkheid ook is te verwachten, alleen lijken de gevonden waarden van de golfhoogten te klein, omdat geen rekening is gehouden met reflectie. Er is daarom verder in het onderzoek rekening gehouden met een grotere golfhoogte om in ieder geval een veilige oplossing te kunnen bieden.

Tevens is er rekening gehouden met een minimale breedte tussen de golfbrekers van 40m. Indien deze minimale afstand minder zou kunnen zijn, kan er met een kleinere golfhoogte in de haven rekening gehouden worden.

### **14.2.4 Stabiliteit waterkering**

Stabiliteit van de waterkering is in het kader van dit project niet onderzocht, omdat de te verwachten kruinhoogte van de kade en het maximale waterstandsverschil erg laag is en omdat de taludhelling erg flauw is.

### **14.2.5 Hoogtegegevens achterin jachthaven**

Voor een deel van de jachthaven zijn geen precieze hoogtegegevens bekend. Voornamelijk achter in het bebouwde gedeelte van de jachthaven langs de Mardijk vormt dit een probleem, omdat hier de mate van overstromen bij een hoge waterstand van het Fluessen niet goed bepaald kan worden.

## **14.3 Aanvullend onderzoek**

### **14.3.1 Bodemonderzoek**

Om een nauwkeurige zettingsberekening op te stellen zijn grondboringen of sonderingen noodzakelijk ter plaatse van de bestaande waterkering en op de locaties waar zettingen worden verwacht, zoals bij stortstenen toepassingen.

### **14.3.2 Model golfindringing**

Om een duidelijk beeld te krijgen van de golfindringing in de jachthaven zal daarom een numeriek model moeten worden opgesteld. Dergelijke modellen zijn echter tijdrovend om te maken en zijn dus kostbaar. Wanneer echter blijkt dat een verhoging van de waterkering in de jachthaven niet uitgevoerd hoeft te worden, betaalt zich dat natuurlijk snel terug.

### **14.3.3 Stabiliteit waterkering**

Bij de verdere uitwerking van de geboden alternatieven moet wel een stabiliteitsberekening worden uitgevoerd.

## Literatuurlijst

- |     |   |                          |      |
|-----|---|--------------------------|------|
| 1.  | Rapport Technische Normen Friese Kaden  | Arcadis                  | 2002 |
| 2.  | Technische Normen Friese Kaden Programma van Eisen  | Arcadis                  | 2001 |
| 3.  | Grondslagen voor waterkeren   | TAW                      | 1998 |
| 4.  | Leidraad Toetsen op Veiligheid  | TAW                      | 1999 |
| 5.  | Leidraad voor het Ontwerpen van Rivierdijken  | TAW                      | 1989 |
| 6.  | Leidraad Zee- en Meerdijken Basisrapport  | TAW                      | 1999 |
| 7.  | Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies   | TAW                      | 1997 |
| 8.  | Technisch rapport Erosiebestendigheid van Grasland als Dijkbekleding                                    | TAW                      | 1998 |
| 9.  | Technisch rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken   | TAW                      | 2002 |
| 10. | Technisch rapport voor het toetsen van boezemkaden  | TAW                      | 1993 |
| 11. | Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies  | TAW                      | 2001 |
| 12. | CUR162 Grondconstructies en Grondkerende constructies   | CUR                      | 2001 |
| 13. | CUR169 Manual of the use of rock in hydraulic engineering   | CUR                      | 2000 |
| 14. | CUR197 Breuksteen in de praktijk, Deel 2: dimensionering van constructies in binnenwater                | CUR                      | 2000 |
| 15. | CUR200 Natuurvriendelijke Oevers, Aanpak en toepassingen  | CUR                      | 1999 |
| 16. | CUR201 Natuurvriendelijke Oevers, Belasting en Sterkte  | CUR                      | 1999 |
| 17. | CUR202 Natuurvriendelijke Oevers, Oeverbeschermingsmaterialen   | CUR                      | 1999 |
| 18. | Vegetatie langs grote wateren   | CUR                      | 1999 |
| 19. | Verslag bureaustudie Golfdemping door riet  | WL Delft                 | 1995 |
| 20. | Methoden voor Golfvoorspelling  | L.H. Holthuijsen         | 1980 |
| 21. | Estimation of wave statistics from spectral information   | Y. Goda                  | 1974 |
| 22. | Introduction to Bed, bank and shore protection  | G.J.Schierck             | 2001 |
| 23. | Toegepaste Vloeistofmechanica   | I. Nortier, P. de Koning | 1998 |
| 24. | Offshore Breakwaters and Shore Evolution Control  | K.Pilarczyk, R.Zeidler   | 1996 |
| 25. | Waterbeweging op taluds, Invloed van berm, ruwheid, ondiep voorland en scheve en langkammige golfaanval | J.v.d.Meer, J.d.Waal     | 1993 |
| 26. | Duikers en sluizen  | B. van Leusden           | 1997 |
| 27. | GWW-Kosten 2003, 8 <sup>e</sup> editie  | G. van den Bosch         | 2003 |
| 28. | Coastal Engineering manual  | U.S. Army Corps          | 2002 |
| 29. | Grond mechanica   | A. Verruijt              | 1999 |
| 30. | Collegedictaat Korte golven CT4320  | J.A. Battjes             | 2001 |
| 31. | Collegedictaat Constructieve waterbouwkunde CT3330  | H.K.T. Kuijper e.a.      | 1999 |
| 32. | Collegedictaat Coastal Morphology and Coastal Protection CT5309   | J. van de Graaff         | 2003 |
| 33. | Integraal waterbeheersplan Friese Waterschappen   |                          |      |

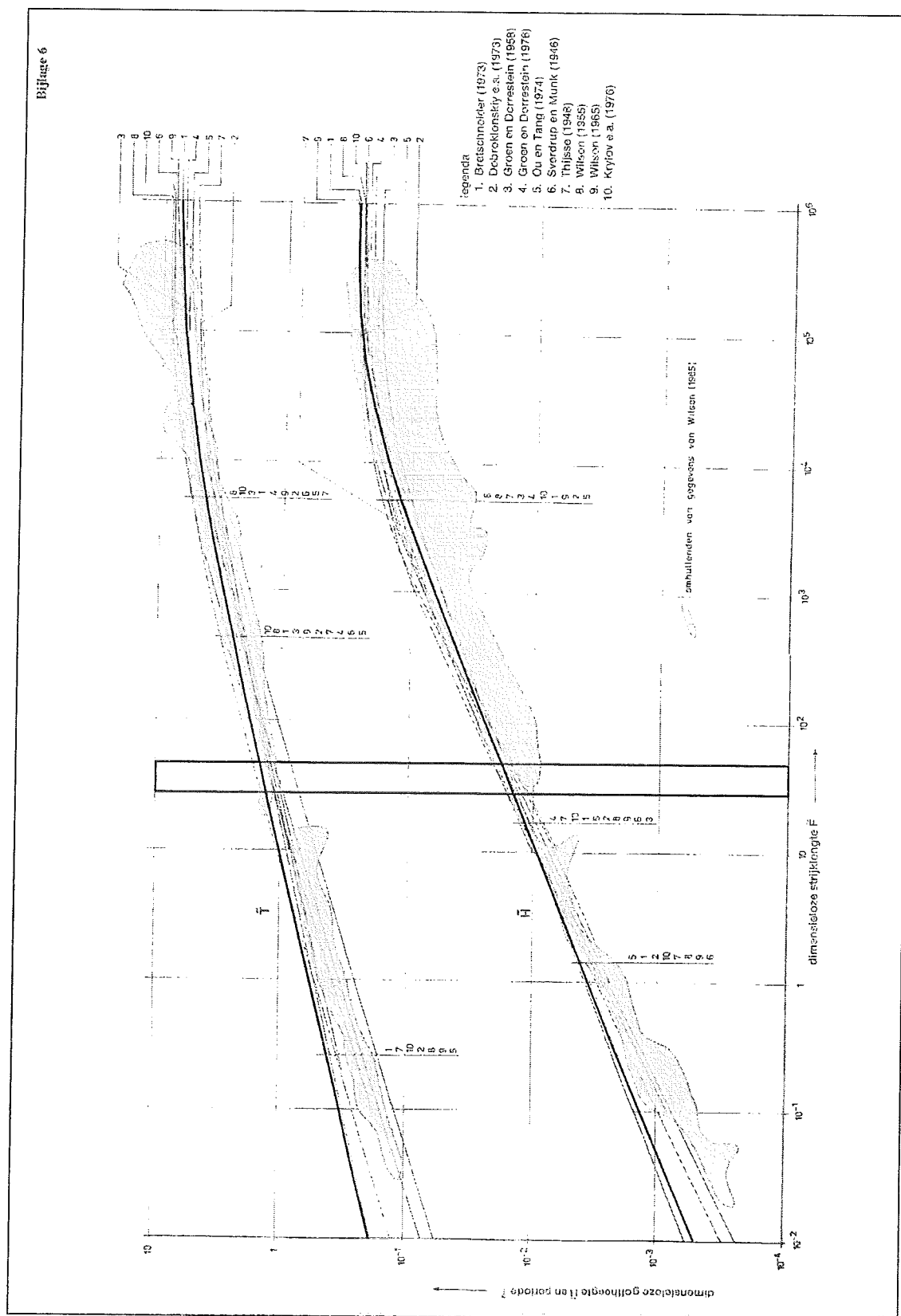
## **Bijlagen**

Bijlage A:	Figuur met gebruiksgebied Bretschneider
Bijlage B:	Maatgevend boezempeil bij een minimale veiligheid van 1/100 per jaar
Bijlage C:	Bepaling effectieve strijklengte
Bijlage D:	Afleiding formules waakhoogte-golfoverslag
Bijlage E:	Besprekingsverslagen
Bijlage F:	Spreadsheet berekening kruinhoogte
Bijlage G:	Sondering en zettingsberekeningen
Bijlage H:	Evenwichtprofiel zandstrand Elahuizen
Bijlage I:	Berekening stroomsnelheden en langtransport strand Elahuizen
Bijlage J:	Kostenindicatie alternatieven zandstrand Elahuizen
Bijlage K:	Berekening golfindringing jachthaven Elahuizen
Bijlage L:	Stabiliteitsberekening en kostenindicatie havendammen jachthaven Elahuizen

## **Bijlage A**

Figuur met gebruiksgebied Bretschneider

Vergelijking van meetgegevens met verschillende voorspellingsmethoden (Lit:[20])



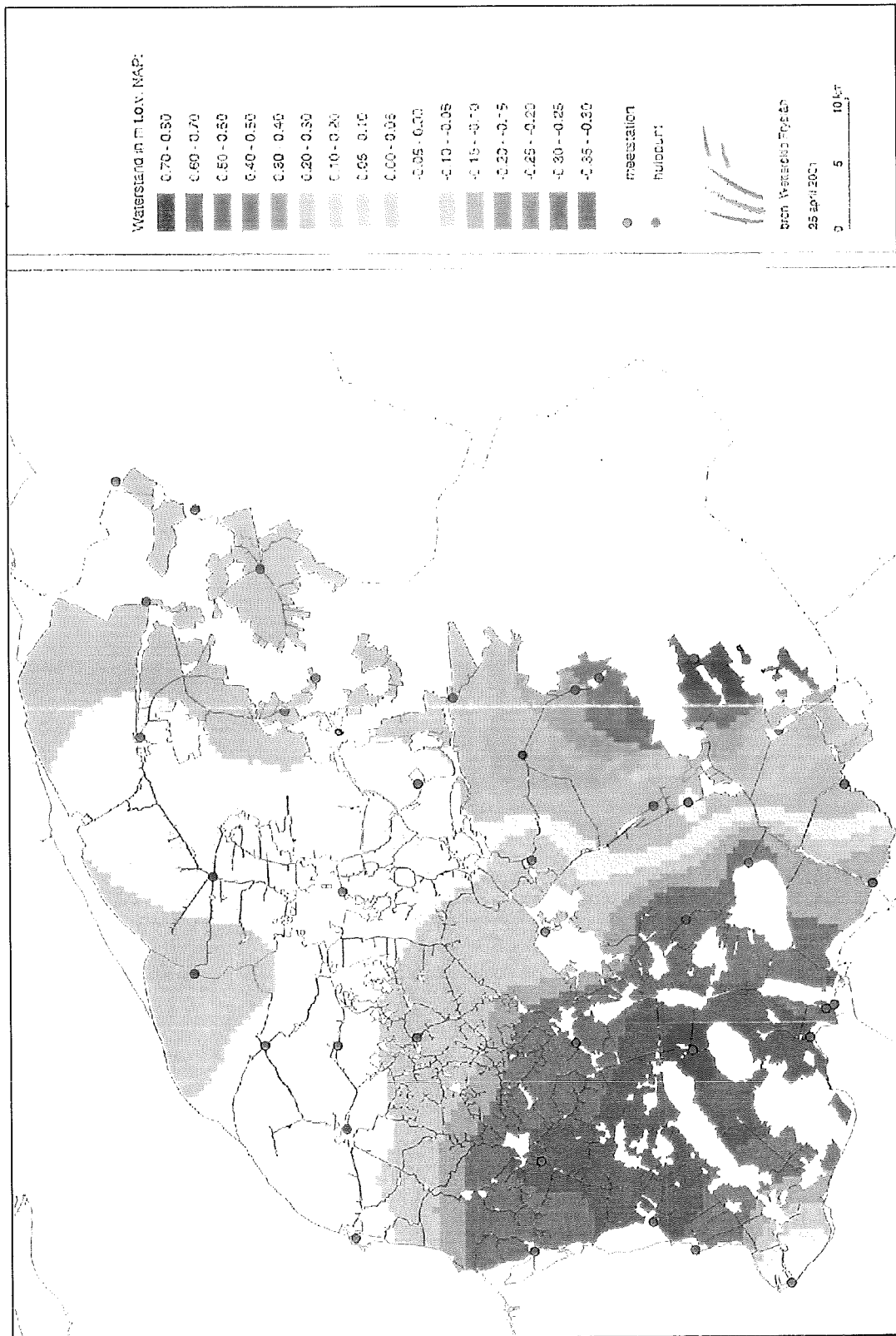
Het aangegeven gebied is de dimensieloze strijklengte (van 30 tot 50) voor de kade van Elahuizen.



## **Bijlage B**

Maatgevend boezempeil bij een minimale veiligheid van 1/100 per jaar

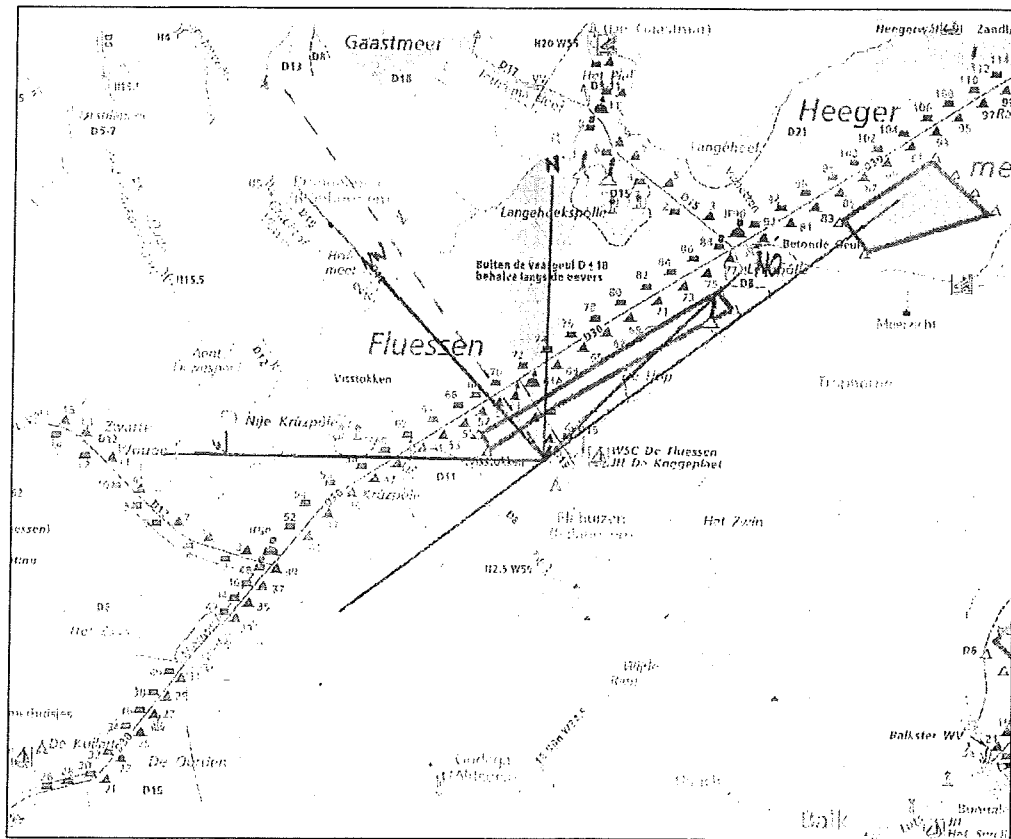
Maatgevend boezempeil grafisch geïnterpoleerd over de meetgegevens van 1970-1999



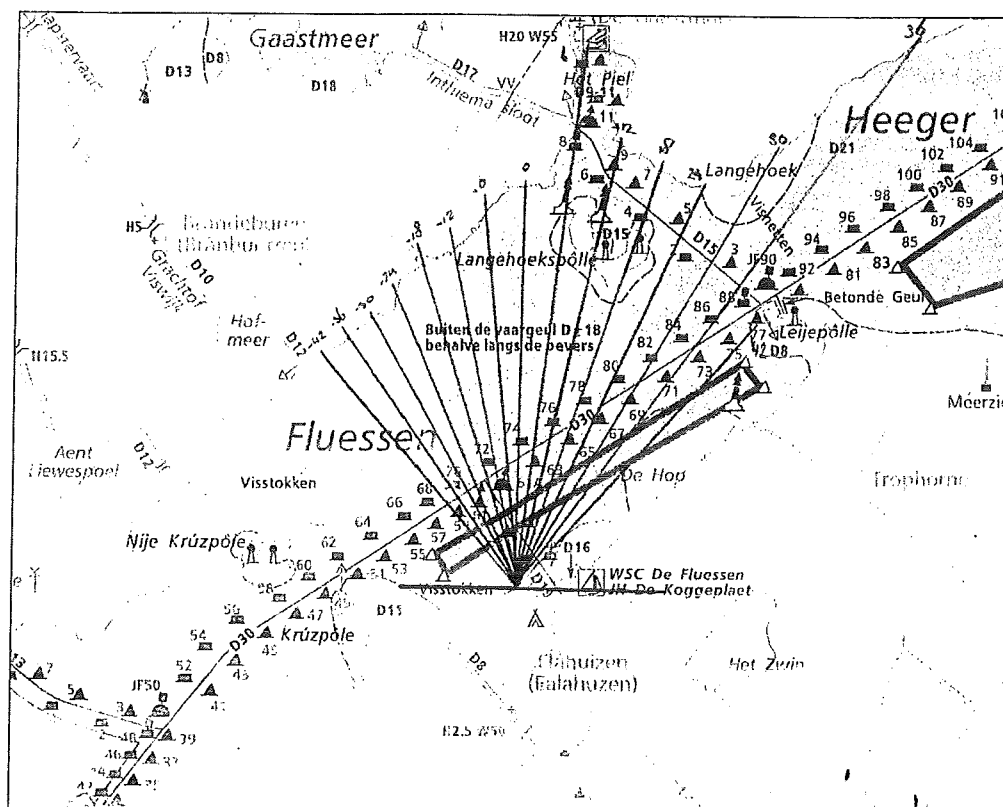
## **Bijlage C**

Bepaling effectieve strijklengte

# Overzicht van de verschillende strijkrichtingen



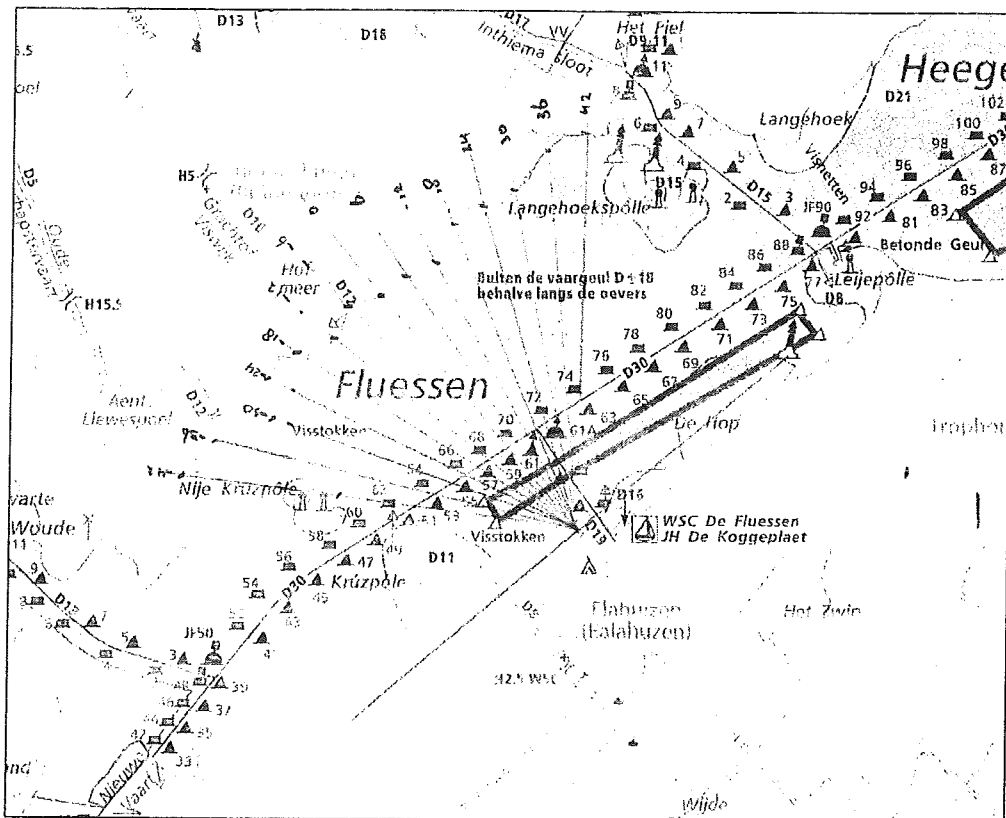
Wind uit Noordelijke richting (maximale strijklengte Noordenwind)



Hoek $\alpha$ [°]	$\cos \alpha$ [-]	$x_i$ [m]	$x_i \cos \alpha$ [m]
42	0,743	2143	1592,56
36	0,809	2071	1675,47
30	0,866	2107	1824,72
24	0,914	2179	1990,62
18	0,951	2393	2275,88
12	0,978	2357	2305,49
6	0,995	2571	2556,92
0	1,000	2732	2732,00
-6	0,995	3714	3693,65
-12	0,978	3107	3039,10
-18	0,951	3036	2887,41
-24	0,914	3036	2773,52
-30	0,866	3464	2999,91
-36	0,809	4643	3756,27
-42	0,743	2393	1778,35
$\Sigma \cos \alpha = 13,5109$		$\Sigma x_i \cos \alpha = 37881,87$	

Er geldt dan:  $F = \frac{\Sigma(x_i \cos \alpha)}{\Sigma \cos \alpha} = 2804\text{m}$ .

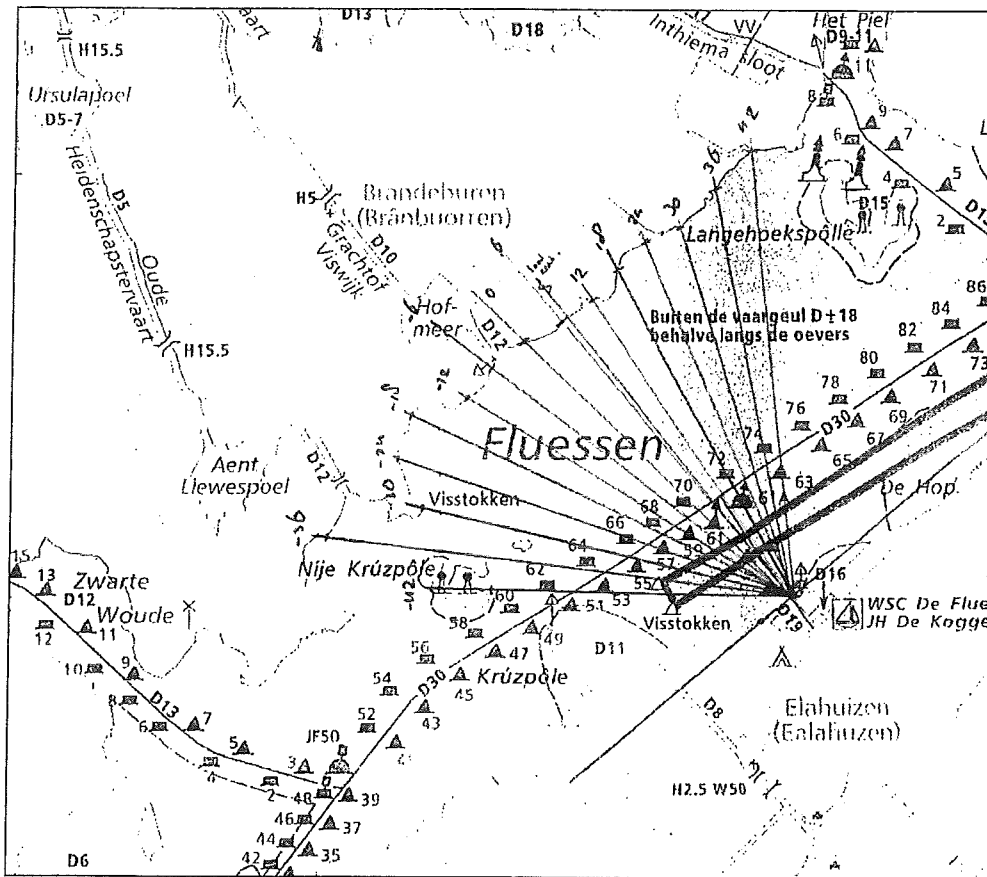
Wind uit Noordelijke richting (loodrecht op de kade)



Hoek $\alpha$ [°]	$\cos \alpha$ [-]	$x_i$ [m]	$x_i \cos \alpha$ [m]
42	0,743	1679	1247,74
36	0,809	2575	2083,22
30	0,866	2268	1964,15
24	0,914	2393	2186,11
18	0,951	2314	2200,74
12	0,978	2143	2096,17
6	0,995	2232	2219,77
0	1,000	2107	2107,00
-6	0,995	2107	2095,46
-12	0,978	2071	2025,74
-18	0,951	2286	2174,12
-24	0,914	2306	2106,64
-30	0,866	2375	2056,81
-36	0,809	2607	2109,11
-42	0,743	2714	2016,90
$\Sigma \cos \alpha = 13,5109$		$\Sigma x_i \cos \alpha = 30689,67$	

Er geldt dan:  $F = \frac{\Sigma(x_i \cos \alpha)}{\Sigma \cos \alpha} = 2271\text{m}$ .

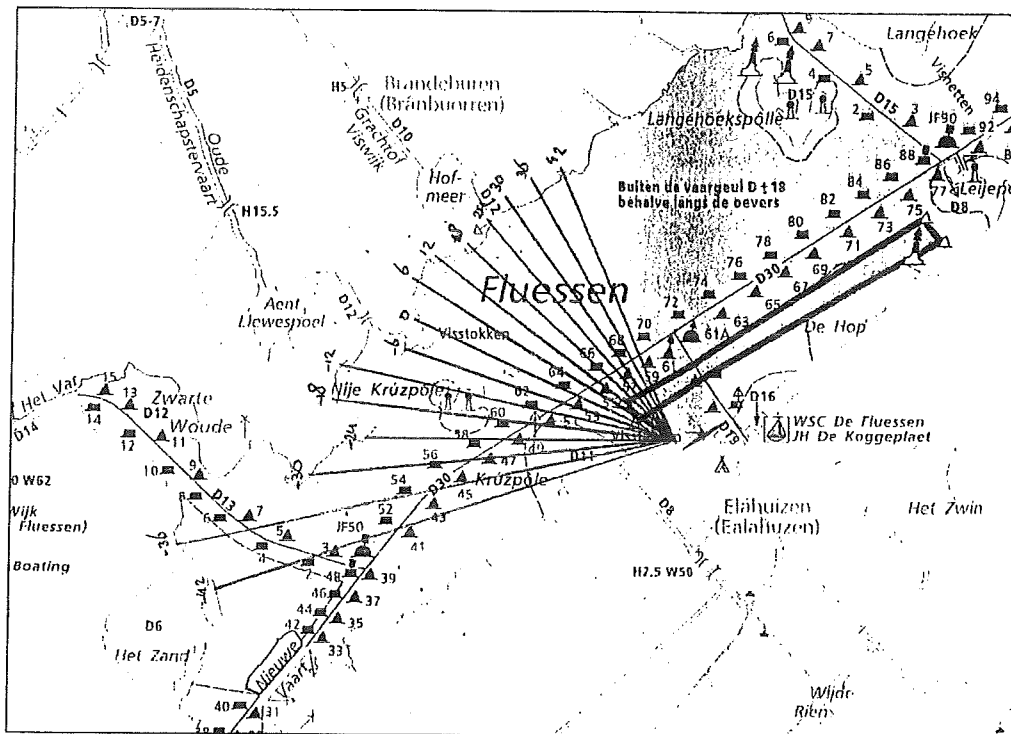
Wind uit Westelijke richting (hoek 7° t.o.v. normaal, minimale hoek voor westenwind)



Hoek $\alpha$ [°]	$\cos \alpha$ [-]	$x_i$ [m]	$x_i \cos \alpha$ [m]
42	0,743	1786	1327,04
36	0,809	2786	2253,69
30	0,866	2250	1948,56
24	0,914	2500	2283,86
18	0,951	2500	2377,64
12	0,978	2250	2200,83
6	0,995	2214	2202,16
0	1,000	2179	2178,57
-6	0,995	2107	2095,60
-12	0,978	2107	2061,10
-18	0,951	2179	2071,95
-24	0,914	2250	2055,48
-30	0,866	2250	1948,56
-36	0,809	2429	1964,76
-42	0,743	2607	1937,49
$\Sigma \cos \alpha = 13,5109$		$\Sigma x_i \cos \alpha = 30907,28$	

Er geldt dan:  $F = \frac{\Sigma(x_i \cos \alpha)}{\Sigma \cos \alpha} = 2288\text{m}$

Wind uit Westelijke richting (maximale strijklengte Westenwind)



Hoek $\alpha$ [°]	$\cos \alpha$ [-]	$x_i$ [m]	$x_i \cos \alpha$ [m]
42	0,743	3536	2627,76
36	0,809	3714	3004,69
30	0,866	2679	2320,08
24	0,914	2250	2055,48
18	0,951	2500	2377,64
12	0,978	2500	2445,37
6	0,995	2071	2059,65
0	1,000	2071	2071,00
-6	0,995	2215	2202,87
-12	0,978	2143	2096,17
-18	0,951	2000	1902,11
-24	0,914	2071	1891,95
-30	0,866	2036	1763,23
-36	0,809	2000	1618,03
-42	0,743	2071	1539,05
$\Sigma \cos \alpha = 13,5109$		$\Sigma x_i \cos \alpha = 31975,09$	

Er geldt dan:  $F = \frac{\Sigma(x_i \cos \alpha)}{\Sigma \cos \alpha} = 2367\text{m}$



## **Bijlage D**

Afleiding formules waakhogte-golfoverslag

Als eerste de overslagformules gegeven door Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken (Lit. [9]) en werken deze om naar een te berekenen waakhogte.

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = \frac{0,067}{\sqrt{\tan \alpha}} \gamma_b \xi_0 \exp \left[ -4,3 \frac{h_{waak}}{H_s} \frac{1}{\xi_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v} \right]$$

$$\Leftrightarrow \frac{q \sqrt{\tan \alpha}}{0,067 \gamma_b \xi_0 \sqrt{gH_s^3}} = \exp \left[ \frac{-4,3 h_{waak}}{H_s \xi_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v} \right]$$

$$\Leftrightarrow \ln \left[ \frac{q \sqrt{\tan \alpha}}{0,067 \gamma_b \xi_0 \sqrt{gH_s^3}} \right] = \frac{-4,3 h_{waak}}{H_s \xi_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v}$$

$$\Leftrightarrow H_s \xi_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v \ln \left[ \frac{q \sqrt{\tan \alpha}}{0,067 \gamma_b \xi_0 \sqrt{gH_s^3}} \right] = -4,3 h_{waak}$$

$$\Leftrightarrow h_{waak} = \frac{H_s \xi_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v}{-4,3} \ln \left[ \frac{q \sqrt{\tan \alpha}}{0,067 \gamma_b \xi_0 \sqrt{gH_s^3}} \right]$$

Met als maximum:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_s^3}} = 0,2 \exp \left[ -2,3 \frac{h_{waak}}{H_s} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta} \right]$$

$$\Leftrightarrow \frac{q}{0,2 \sqrt{gH_s^3}} = \exp \left[ \frac{-2,3 h_{waak}}{\gamma_f \gamma_\beta H_s} \right]$$

$$\Leftrightarrow \ln \left[ \frac{q}{0,2 \sqrt{gH_s^3}} \right] = \frac{-2,3 h_{waak}}{\gamma_f \gamma_\beta H_s}$$

$$\Leftrightarrow \gamma_f \gamma_\beta H_s \ln \left[ \frac{q}{0,2 \sqrt{gH_s^3}} \right] = -2,3 h_{waak}$$

$$\Leftrightarrow h_{waak} = \frac{\gamma_f \gamma_\beta H_s}{-2,3} \ln \left[ \frac{q}{0,2 \sqrt{gH_s^3}} \right]$$

## **Bijlage E**

### Besprekingsverslagen

- Gesprek met dhr. Osinga (Wetterskip Fryslân)
- Gesprek met dhr. Niemeijer (Arcadis)
- Gesprek met mevr. Nauta en mevr. Bleeker
- Gesprek met dhr. Koopman

## **Gesprek met dhr. Osinga (Wetterskip Fryslân)**

Datum: 14 september 2004

Plaats: Sneek

Gesprekspersonen: S. Osinga, M. Redeker, N. van der Plicht

Onderwerp: "Project Elahuizen"

### *Rapport Technische normen Friese kaden.*

Het rapport is ook volgens het waterschap af en toe overtrokken. Er moeten bepaalde nuances worden aangebracht voor verschillende typen kaden. Daarom is er gevraagd om een second opinion aan o.a. Dhr. Verhagen.

Waarschijnlijk kunnen (gedeeltelijk) overhoogtes vervallen, doordat er met zeer veilige parameters wordt gerekend. Ook omdat niet overal golven komen, kan de hoogte omlaag.

### *Huidige problemen met hoge waterstanden*

Geen. Indien er hoge waterstanden zijn wordt het gebied meteen actief bemaald. Door de nabije ligging van de gemalen duurt het voor de Fluessen niet lang voor dat de waterstand verlaagd is.

### *Bebouwing buitendijks gebied maken.*

Hiervoor is een aparte procedure nodig om het bestemmingsplan te wijzigen, maar voor deze locatie niet relevant, want de bestaande kering is de Mardyk; onder deze doorgaande weg liggen allerlei kabels, leidingen enz. Ook de bebouwing staat dicht op deze weg.

### *Reductiemaatregelen golfhoogte*

Reductie door een laag boezemland en een naar achter gelegde kade is geen probleem. Het waterschap wil wel grotendeels het bestaande landschap behouden.

Het aanleggen van brede rietkragen heeft weinig zin omdat de bewoners deze toch kappen om een beter uitzicht te krijgen.

### *Budget voor project.*

Voor de kering globaal 1.000.000,--

Voor de overige delen 600.000,--

### *Jachthaven*

Oplossingen voor de jachthaven zijn duidelijk te zien op de tekeningen: er komt een damwandje rondom de haven en een calamiteitenkering in de haven. Voorlopig was uitgegaan van een breedte van ongeveer 6 meter, maar de nieuwe waarde wordt waarschijnlijk de breedte van 2 elkaar passerende skûtsjes; dus ongeveer 10 meter.

De nu geplande kering ligt op +0.75 NAP, en kan misschien wel op 0.5 NAP komen. Opgepast moet worden dat dit niet het zwakke punt in de kering wordt.

De bewoners hebben geen bezwaren, en de samenwerking is uitstekend.

De geplande kering moet een (bijna) onzichtbare kering worden, er mogen weinig opvallende constructies komen.

### *Strandje.*

Strandje is ooit aangelegd voor Elahuizen, nu wordt er gebruik gemaakt door de bewoners van Elahuizen, campinggasten en de bewoners van de Elderskar. Ook bij de nieuwe kering vindt het waterschap het belangrijk dat er weer een nieuw strand komt.

### *Contact bewoners.*

Hebben 2 voorlichtingsavonden gehouden. Hierna waren er een aantal persoonlijke gesprekken met een aantal betrokkenen, waaruit flinke bezwaren kwamen.

Nadat de gesprekken waren beëindigd, is het plan bij de gemeente ingediend om zo de bezwaarschriften te laten beoordelen.

## **Gesprek met dhr. Niemeijer (Arcadis)**

Datum: 29 september 2004

Plaats: Apeldoorn

Gesprekspersonen: J. Niemeijer, M. Mertens, E.A. van Blaaderen

Onderwerp: Rapport Technische Normen Friese Kaden

### *Strijklengte (Lezing Niemeijer):*

De effectieve strijklengte voor de formules van Bretschneider wordt bepaald met segmenten van 6 graden onder een hoek van  $-42^\circ$  tot  $42^\circ$  met de kade. Met deze effectieve strijklengte worden de golfparameters bepaald, waarmee de kruinhoogte uitgerekend wordt. Het blijkt dan dat er indien het meer als vierkant wordt geschematiseerd er een reductiefactor van 0,9 op de strijklengte komt voor de effectieve strijklengte. Bij een meer van 7 km is er een breedte van 5 km aangenomen, waardoor de reductiefactor op 0,66 komt. Deze breedte van 5 km is het gevolg van een beperking in het gebruikte rekenprogramma van Arcadis.

### *Windroos:*

De windroos zoals aangenomen in het rapport Technische Normen Friese Kaden, is door nieuwe gegevens gewijzigd. De nieuwe windgegevens zijn te vinden in het Hydra-project op internet. Dit is een project van KNMI en Riza.

### *Golfperiode:*

In het rapport Technische Normen Friese Kaden is de piekperiode gelijkgesteld aan de significante golfperiode. Hoewel Goda in 1974 hier een omrekenparameter tussen heeft gevonden, komt in sommige rapporten van de TAW dezelfde aanname voor. Benadrukt moet worden dat voor het berekenen van de golfhoogte en golfperiode een benadering wordt gebruikt. Vervelend is het dan dat de golfperiode een grote invloed heeft op de golfoploop.

### *Algemene commentaar op het rapport:*

De rekenmethodes die zijn gebruikt in het rapport zijn niet verkeerd. De benadering van de geometrie van de kades en andere invoer parameters resulteren in een te grove berekening van de kadehoogte. De heer Niemeijer adviseert dan ook de werkelijke omgeving in de formules in te voeren om tot een betere benadering van de werkelijk benodigde kruinhoogte te komen. Verder is het niet verstandig het bestaande rapport te gebruiken voor het berekenen van nieuwe kadehoogte. De berekeningen zijn te grof om een goed ontwerp te kunnen maken. Arcadis is voor het Friese waterschap al bezig een beter rapport te maken voor het bepalen van de kadehoogtes. Het bestaande rapport mag daarom eigenlijk ook niet meer worden gebruikt.

### *Verzoek:*

Opsturen van het eindrapport naar J.Niemeijer (Arcadis)

## **Gesprek met mevr. Nauta en mevr. Bleeker**

Datum: 29 september 2004

Geprekspartners: Anneke Nauta, Ank Bleeker, Marcel Mertens, Egbert van Blaaderen

Onderwerp: Elahuizen

### *Geschiedenis*

In 1994 hadden mevrouw Nauta en haar partner de kans het huisje te kopen. Sindsdien verblijven ze in de vakanties en weekenden in het huisje. Toen ze aan het strandje vorig jaar groot onderhoud gingen doen hebben ze het waterschap gevraagd of de dijk moest worden verhoogd. Hierop antwoordde het waterschap dat ze hier nog geen plannen voor hadden. Enkele maanden later werd er echter gemeld dat de dijk verhoogd moest worden. De door het waterschap voorgestelde oplossing voor het verhogen van de kade wekt enige weerstand op. Vooral ook omdat het waterschap niet voldoende kon onderbouwen waarom er gekozen was voor deze oplossing.

### *Veiligheid*

Huidige veiligheid lijkt mevrouw Nauta voldoende. Hoewel ze het moeilijk vindt om voor zichzelf te zeggen welke graad van veiligheid ze verwachten. Wel vindt ze het logisch minder veilig te wonen als de bewoners van Elahuizen. Als er momenteel zwaar weer is heeft de kade voor het bungalowparkje geen last van wateroverslag. Wel wordt er verteld dat verderop bij de camping ter plaatse van de beschoeiing wel eens grond achter de dijk wordt weggeslagen.

### *Omgeving*

Er moet er worden gestreefd naar een oplossing die beter in de omgeving past. Het lage land van de omliggende polder en de overgang naar het meer mag minder lomp als het neerleggen van een hoge kade.

### *Gebruik*

Het vakantiehuisje wordt het gehele jaar door gebruikt. 's Zomers wordt er veel gebruik gemaakt van de watersportvoorzieningen. Het gehele jaar door wordt de rust van het gebied bewonderd.

### *Jachthaven*

Bij de huisjes hoort een ligplaats in de haven. Hierdoor wordt er veel gebruik gemaakt van de faciliteiten in en rond de haven. Ook hierdoor voelt men zich zeer betrokken met de bezwaren van de zeilscholen tegen een te smalle waterkering.

### *Strandje*

Het strandje wordt onderhouden door de vereniging van eigenaren van Elderskar. Ze hebben het overgenomen van de eigenaar van de jachthaven. Verleden jaar zijn er paaltjes bijgeplaatst en is het zand aangevuld. Het aanvullen van het zand is elk jaar opnieuw nodig. Het verdwijnt namelijk tussen de palen door het Fluessen in.

### *Voorkeuren*

Bij het schetsen van een aantal mogelijkheden blijkt dat een voorbreker wordt gezien als een goede oplossing voor het verminderen van de kadeverhoging. Het aanleggen van rietvelden wordt gezien als een minder goede optie. Ook omdat de bewoners dit regelmatig kappen en het uitzicht belemmert. Ook de opties met een tussenberm of voorland worden positief ontvangen. Als de dijk als nog verhoogd zou moeten worden, vinden de bewoners een verhoging van 35 cm toelaatbaar. Wel zeggen ze te begrijpen dat de kade mogelijk verhoogd moet worden. Ook als dit betekent dat hij hoger wordt als het waterschap aanvankelijk voorstelde.

### *Adviezen*

Kade moet omlaag, de kering in de haven heeft een belachelijk smalle doorgang. Ga eens praten met de eigenaren van de zeilscholen over de kering.

## **Gesprek met dhr. Koopman**

Datum: 30 september 2004

Gesprekspartners: Eric Koopman, Egbert van Blaaderen, Nander van der Plicht

Onderwerp: Elahuizen

### *Geschiedenis*

Sinds 1999 bezit dhr. Koopman aan de Elderskar in Elahuizen een vakantie woning. Met veel plezier maakt hij en zijn gezin gebruik van de verschillende watersportvoorzieningen die in het gebied aanwezig zijn. Niet alleen 's zomers, maar ook 's winters. In gesprekken met het waterschap heeft hij zich vooral geërgerd aan de manier waarop met de betrokkenen werd gesproken. Zo kon het waterschap hem niet duidelijk vertellen hoe men tot het ontwerp van de kade was gekomen en waarom dit niet op een andere manier kon worden opgelost. Tevens was het waterschap wel bereid iets in het ontwerp te veranderen, als de vereniging van eigenaars instond voor de helft van de kosten van de voorzieningen.

### *Veiligheid*

De veiligheid van het gebied staat voorop. Niet alleen van Elahuizen, maar ook van het bungalowpark. Dhr. Koopman vindt het idee van een lagere veiligheid tegen overstromingen van zijn woning niet aantrekkelijk. Hij verwacht dat het waterschap hem een zelfde bescherming geeft als de woningen van Elahuizen.

### *Omgeving*

Dhr. Koopman ziet in de kadeverhoging aan Elderskar een mogelijkheid de ecologische waarde van het voorliggende natte gebied te vergroten. Hij wil het liefst een rietland voor de kade. Dit hoewel de andere bewoners niet even blij zullen zijn met een groot rietland.

### *Jachthaven*

Dhr. Koopman en zijn gezin zijn gebruikers van de naastgelegen jachthaven. Zorgen om het plan van het waterschap voor een waterkering in de haven heeft hij niet echt. Vooral omdat dit het gedeelte betreft waarvan hij geen gebruik maakt.

### *Strandje*

De grootste zorgen zijn om het strandje. Het strandje moet een goede verdediging tegen golven en schippers krijgen. Het strandje wordt door de schippers (lichte zeilboten en surfers) wel eens gebruikt voor het aanmeren van boten. Dit terwijl het strandje vooral door jonge kinderen wordt gebruikt. Dhr. Koopman stelt voor om het strandje net zo in te richten als het strand Lange Hoek ten noordwesten van de jachthaven. Hier is het zwembied afgescheiden van het meer met een steiger.

### *Voorkeuren*

Voorkeur is er voor een oplossing met riet. Mocht dit niet voldoende zijn, zijn oplossingen met een golfbreker, een berm of ondiep voorland preferabel boven een dijkverhoging. Vooral omdat een voorland of berm meer ecologische waarde kan hebben als een eenvoudig dijk profiel. Een verwijdering van het strandje is niet bespreekbaar. De vereniging van eigenaren Elderskar heeft als eigenaar van het strandje een afspraak met de eigenaar van het campingterrein dat ze het onderhouden en open stellen voor iedereen.

### *Adviezen*

Wensen van dhr. Koopman, zijn: Een visueel afgescheiden strandje en een reductiemaatregel voor de golfloop, zodat de dijk niet of nauwelijks verhoogt hoeft te worden.

## **Bijlage F**

Spreadsheet berekening kruinhoogte



## Invoerparameters

Golfhoogte	$H_{s,op\ kade}$	0,459 m
Kruinhoogte	$H_k$	0,473 m + NAP

### Algemeen:

Zwaartekrachtsversnelling  $g$  9,81  $m/s^2$

### Geometrie kade:

Gem. taludhelling 1 : .....  $\cotan\alpha$  4 -  
 Maximaal overslagdebiet  $q$  0,1  $l/s/m^1$   
 Invalshoek golven op kade  $\beta$  -7 graden

### Wind

Windsnelheid  $u$  26,5  $m/s$   
 Gemiddelde waterdiepte meer  $d_0$  2,5  $m$   
 Effectieve strijklengte  $F$  2,288  $km$

### Reductiemaatregelen:

#### Vooroever:

Vooroever ja/nee nee  
 Diepte vooroever beneden MBP  $d_v$  1  $m$

#### Dam:

Dam ja/nee ja  
 Breedte kruin dam  $B_d$  0,6  $m$   
 Taludhelling dam 1 : .....  $\cotan\alpha_{dam}$  2,5 -  
 Damtype  $A_{dam}$  0,64 -  
 Hoogte dam boven MBP  $h_d$  -0,3  $m$

#### Tussenoever:

Tussenoever ja/nee ja  
 Diepte tussenoever beneden MBP  $d_t$  1  $m$

#### Rietkraag:

Rietkraag ja/nee ja  
 Breedte rietkraag  $B_{riet}$  15  $m$   
 Aantal levende stengels per  $m^2$   $N_s$  50  $aantal/m^2$   
 Maatgevende seizoen seizoen januari-maart -

#### Berm:

Berm ja/nee ja  
 Bermbreedte  $B_b$  3,5  $m$  max.  $B_b$  3,53  $m$   
 Bermdiepte boven MBP  $H_b$  0  $m$

#### Ruwheid talud:

Bekledingsmateriaal gras? ja  
 Invloedsfactor ruwheid talud  $\gamma_f$  1 -

#### Verticale wand:

Invloedsfactor verticale wand  $\gamma_v$  1 -

## Berekening golfparameters

### Invoerparameters:

Windsnelheid	u	26,5 m/s
Gemiddelde waterdiepte	d <sub>0</sub>	2,5 m
Zwaartekrachtsversnelling	g	9,81 m/s <sup>2</sup>
Effectieve strijklengte	F	2,288 km

### Vooroever:

Diepte vooroever t.o.v. MBP	d <sub>v</sub>	m
-----------------------------	----------------	---

### Dam:

Breedte kruin dam	B <sub>d</sub>	0,6 m
Taludhelling dam	tan α <sub>dam</sub>	0,40 -
Damtype	A <sub>dam</sub>	0,64 -
Hoogte dam boven MBP	h <sub>d</sub>	-0,3 m

### Rietkraag:

Breedte rietkraag	B <sub>riet</sub>	15 m
Aantal levende stengels per m <sup>2</sup>	N <sub>s</sub>	50 aantal/m <sup>2</sup>
Maatgevende seizoenen	seizoenen	januari-maart -

### Uitvoerparameters:

Formules Bretschneider t.b.v. golfgroei door wind:

Effectieve strijklengte in meters	F	2288 m
dimensieloze strijklengte	F~	31,96 -
dimensieloze diepte	d~	0,035 -
dimensieloze golfhoogte	H~	0,010 -
dimensieloze golfperiode	T~	1,152 -

Significante golfhoogte	H <sub>s</sub>	0,736 m
Significante golfperiode	T <sub>s</sub>	3,111 s
Piekperiode	T <sub>p</sub>	3,309 s
Spectrale golfperiode	T <sub>m-1,0</sub>	3,008 s
Golflengte (spectraal)	L <sub>0</sub>	14,131 m

### Reductie van de golfhoogte:

Vooroever:

Maximale golfhoogte op vooroever	H <sub>sv</sub>	m
----------------------------------	-----------------	---

Dam:

Inkomende golfhoogte voor dam	H <sub>i</sub>	0,736 m
Brekerparameter dam	ξ <sub>dam</sub>	1,93 -
Invloedsparameter	a	0,51 -
Reductiefactor dam	K <sub>t</sub>	0,67 -
Golfhoogte na dam	H <sub>s, dam</sub>	0,495 m

Tussenoever:

Maximale golfhoogte op tussenoever	H <sub>sv</sub>	0,570 m
------------------------------------	-----------------	---------

Rietkraag:

seizoensfactor rietkraag	p	0,2 -
effectieve breedte rietkraag	B <sub>eff</sub>	19,89647851 m
Reductiefactor rietkraag	γ <sub>riet</sub>	0,93 -

Gekozen reductiemaatregelen:

Dam
Tussenoever
Rietkraag

### Eindresultaten:

Resterend op de kade na reductie golfhoogte:

Maatgevende golfhoogte op kade	H <sub>s, op kade</sub>	0,459 m
--------------------------------	-------------------------	---------

Golfsteilheid	S <sub>0</sub>	0,032 -
Brekerparameter hoek β	ξ <sub>0</sub>	1,39 -

$$\bar{F} = \frac{Fg}{u^2} \quad \bar{d} = \frac{dg}{u^2}$$

$$H_s = \frac{u^2}{g} 0,283 \tanh(0,530 \bar{d}^{0,75}) \tanh \left[ \frac{0,0125 \bar{F}^{0,42}}{\tanh(0,530 \bar{d}^{0,75})} \right]$$

$$T_s = \frac{u}{g} 2,4\pi \tanh(0,833 \bar{d}^{0,375}) \tanh \left[ \frac{0,077 \bar{F}^{0,25}}{\tanh(0,833 \bar{d}^{0,375})} \right]$$

$$T_{m-1,0} \approx \frac{T_s}{1,1} \quad T_s = 0,94 T_p$$

$$L_0 = \frac{g T_{m-1,0}^2}{2\pi}$$

$$H_{sv} < 0,57 d$$

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}}$$

$$a = \left( \frac{B_d}{H_i} \right)^{-0,31} (1 - e^{-0,5\xi}) A_{dam}$$

$$K_t = a - \frac{0,4h_d}{H_i}$$

$$B_{eff} = \frac{B}{\cos \beta}$$

$$\frac{H_t}{H_i} = 1 - p \left[ 1 - \exp(-0,001 N_s^{0,80} B_{eff}) \right]$$

$$S_0 = \frac{2\pi H_s}{g T_{m-1,0}^2}$$

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}}$$

## Berekening waakhoogte kade

### Invoerparameters:

Zwaartekrachtsversnelling	g	9,81 m/s <sup>2</sup>
Gem. taludhelling 1 : .....	tan α	0,25 -
Maximaal overslagdebiet	q	0,0001 l/s/m <sup>1</sup>
Maatgevende golfhoogte op kade	H <sub>s</sub>	0,459 m
Golfsteilheid	s <sub>0</sub>	0,032 -
Brekerparameter hoek β	ξ <sub>0</sub>	1,39 -

### Berm:

Bermbreedte	B <sub>b</sub>	3,5 m
Bermdiepte t.o.v. MBP	H <sub>b</sub>	0 m

### Ruwheid bekleding:

Invoedsfactor ruwheid gras	γ <sub>r</sub>	0,78 -	$\gamma_{f,gras} = 1,15 H_s^{0,5}$
Gekozen invoedsfactor ruwheid	γ <sub>f,invoer</sub>	0,78 -	

### Verticale wand:

Invoedsfactor verticale wand	γ <sub>v</sub>	1 -
------------------------------	----------------	-----

### Uitvoerparameters:

Representatieve berm lengte	L <sub>berm</sub>	7,17 m	$L_{eff} = 2H_s \cot \alpha + B_b$
Golfloop ruw met γ <sub>b</sub> =0	Z <sub>2%;γ<sub>b</sub>=1</sub>	0,86 m	$Z_{2\%} = 1,75 \gamma_f \gamma_b \xi_0 H_s$
Golfloopfactor	x	0,92 m	$r_b = \frac{B}{L_{berm}}$
Invoedsfactor bermbreedte	r <sub>b</sub>	0,488 -	$r_{dh} = 0,5 - 0,5 \cos \left( \pi \frac{d_b}{x} \right)$
Invoedsfactor bermdiepte	r <sub>dh</sub>	0,000 -	

### Invoedsfactoren golfloop en -overslag samengevat:

Invoedsfactor berm	γ <sub>b</sub>	0,600 -	$\gamma_b = 1 - r_b (1 - r_{dh})$
Invoedsfactor ruwheid	γ <sub>r</sub>	0,779 -	
Invoedsfactor hoek bij golfloop	γ <sub>β;oploop</sub>	0,9846 -	$\gamma_{\beta;oploop} = 1 - 0,0022  \beta $
Invoedsfactor hoek bij golfoverslag	γ <sub>β;overslag</sub>	0,9769 -	$\gamma_{\beta;overslag} = 1 - 0,0033  \beta $
Invoedsfactor verticale wand	γ <sub>v</sub>	1 -	

### Gekozen reductiemaatregelen:

Berm Ruwheid
-----------------

### Eindresultaten:

Waakhoogte	h <sub>w;1</sub>	0,473 m	$h_w = \frac{H_s \xi_0 \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v}{-4,3} \ln \left[ \frac{q \sqrt{\tan \alpha}}{0,067 \gamma_b \xi_0 \sqrt{g H_s^3}} \right]$
Maximale waakhoogte	h <sub>w;max</sub>	1,151 m	
Maatgevende waakhoogte	h <sub>w</sub>	0,473 m	$h_{w;max} = \frac{\gamma_f \gamma_\beta H_s}{-2,3} \ln \left[ \frac{q}{0,2 \sqrt{g H_s^3}} \right]$
Maatgevend boezempeil	MBP	-0,2 m + NAP	
Toeslag buistoot, -oscillaties, opwaaiing	T	0,1 m	
Marge onzekerheden	σ	0,1 m	

Kruinhoogte	H <sub>k</sub>	0,473 m + NAP
-------------	----------------	---------------

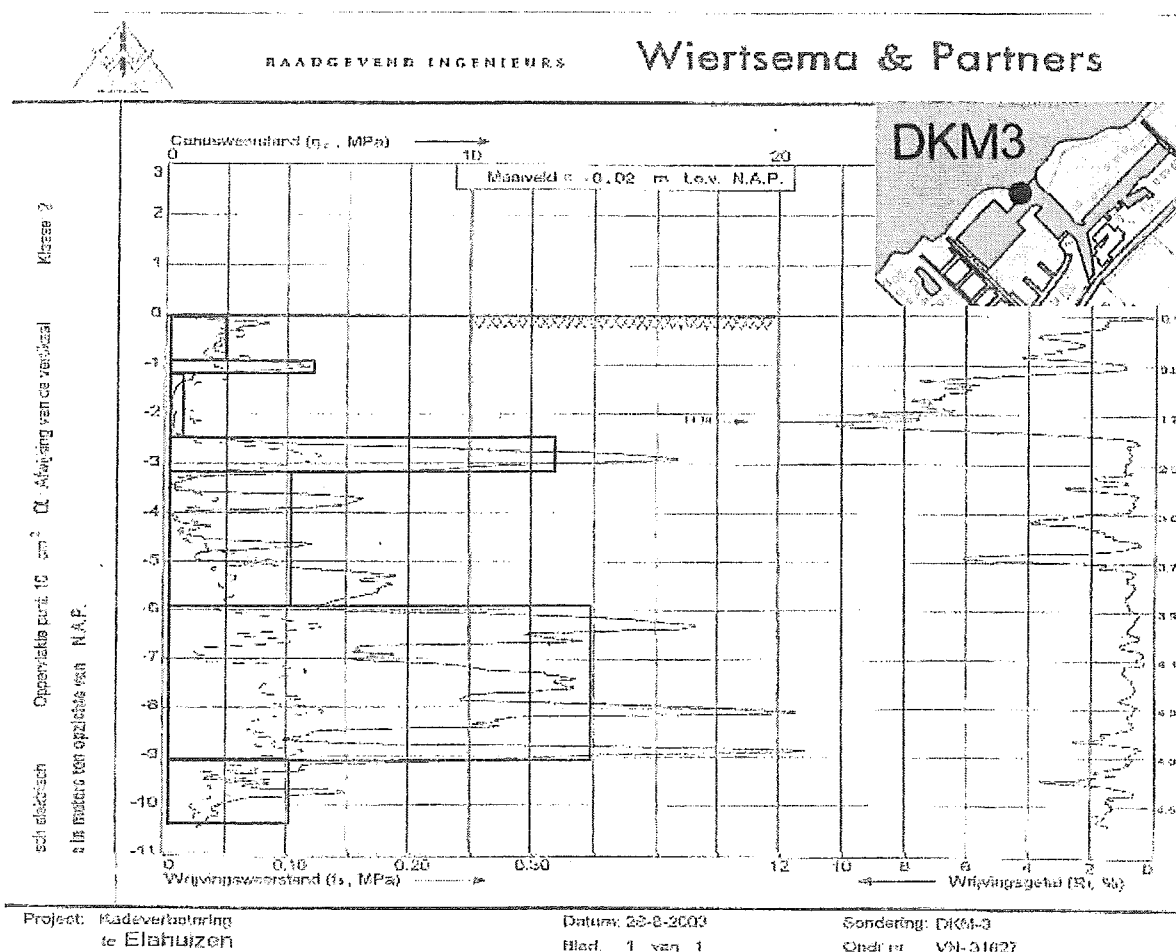
## **Bijlage G**

Sondering en zettingsberekeningen

## Sondering

Aan de hand van sonderingen van Waterskip Fryslân hebben we met Tabel 1 van NEN-6740 de grondeigenschappen van de bodemlagen bepaald. Deze sonderingen zijn echter niet genomen exact op de plaats van onze projecten.

Laag	Diepte tov NAP (m)	$q_c$ gemiddeld (kPa)	Wrijvings Weerstand $f_s$ (kPa)	Wrijvings-getal $R_f$ (%)	Grondsoort	$\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$C_c$	$C_a$
1	0.0 – 0.9	180	40	4	Klei, organisch, slap	13	1.690	0.015
2	0.9 – 1.1	500	40	1.5	Klei, zwak zandig	15	0.759	0.009
3	1.1 – 2.5	50	20	7	Veen, slap	12	7.590	0.023
4	2.5 – 3.3	1300	75	1	Leem, zwak zandig	19	0.168	0.004
5	3.3 – 6.0	400	50	2.5	Klei, organisch, matig	15	0.760	0.012
6	6.0 – 9.5	1400	80	1	Leem, zwak zandig, matig	20	0.168	0.004
7	9.5 – 10.5	400	30	2	Klei, zwak zandig	15	0.759	0.009



## Zettingen algemeen

De zetting bestaat uit een primaire zakking en een secundaire zakking. De primaire zakking is het directe effect na het verhogen van de belasting en het afstromen van de opgebouwde waterspanningen. Terwijl de secundaire zakking (ook wel het seculair effect of kruip) de zetting van de bodemlagen na het begin van belastingen is. De primaire zakking is dan ook afhankelijk van de spanningsverhoging in de bodemlaag, terwijl de secundaire zakking afhankelijk is van de tijd van belastingen.

### Primaire zakking

$$w_{1;d} = \frac{C_{\alpha;d}}{1+e} H \log \frac{\sigma'_{v;z;o;d} + \Delta\sigma'_{v;z;d}}{\sigma'_{v;z;o;d}}$$

Waarin:

$C_{\alpha;d}$  = rekenwaarde primaire samendrukkingsindex (Tabel 1 NEN-6740)

$e$  = poriegetal

Voor alle grondsoorten behalve voor veen:

$$e = \frac{\gamma_{s;rep} - \gamma_{sat;rep}}{\gamma_{sat;rep} - 10}$$

Voor veen geldt:

$e=15,5$  als  $\gamma_{sat} = 10\text{kN/m}^3$

$e=4,9$  als  $\gamma_{sat} = 12\text{kN/m}^3$

$e=2,9$  als  $\gamma_{sat} = 10\text{kN/m}^3$

$H$  = laagdikte in m

$\Delta\sigma'_{v;z;d}$  = rekenwaarde van de effectieve spanningsverhoging voor het midden van de laag op diepte  $z$  in kPa

$\sigma'_{v;z;o;d}$  = Oorspronkelijke effectieve spanning voor het midden van de laag op diepte  $z$  in kPa

$\gamma_{s;rep}$  = representatieve waarde van het volumieke gewicht van de vaste delen in grond in  $\text{kN/m}^3$  (=  $26,5\text{kN/m}^3$ )

$\gamma_{sat;rep}$  = representatieve waarde van het volumieke gewicht van verzadigde grond in  $\text{kN/m}^3$

De waarden uit tabel 1 van NEN-6740 gelden voor kleine zakkingen ten opzichte van de laagdikte. Wanneer de zakking in een laag meer is als 20% van de totale laagdikte moeten de parameters voor het betreffende belastingstraject uit samendrukkingsproeven worden bepaald.

### Secundaire zakking

$$w_{2;d} = C_{\alpha;d} H \log \frac{t_{\infty}}{t_1}$$

Waarin:

$C_{\alpha;d}$  = rekenwaarde secundaire samendrukkingsindex (Tabel 1 NEN-6740)

$t_{\infty}$  = eindtijd voor secundaire zakking in dagen na belastingen (=10000 dagen, 30 jaar)

$t_1$  = begintijd voor secundaire zakking in dagen na belastingen (=1 dag)

De totale zakking wordt dan:

$$w_d = w_{1;d} + w_{2;d}$$

Waarin:

$w_d$	=	Totale zakking
$w_{1;d}$	=	Primaire zakking
$w_{2;d}$	=	Secundaire zakking

Hierbij moet worden aangetekend dat de zakking pas mag worden meegerekend als de toename van de effectieve spanning ( $\Delta\sigma_{v;z;d}$ ) groter is dan de oorspronkelijk effectieve spanning ( $\sigma_{v;z;0;d}$ ).

## Zettingberekening Kadeverhoging Elderskar

Voor het verhogen van de kade met 0,25m moet rekening worden gehouden met de zetting van de ondergrond.

Extra aannamen die hierbij gedaan zijn:

- De bovenste laag gaat tot 0,50m NAP;
- De tussen gelegen veenlaag bestaat niet uit slappe veen, maar uit matig voorbelast veen.

We denken deze aanname te kunnen doen, omdat de veenlaag dieper ligt als nabij de sondering. Hierdoor is de belasting van de veenlaag voor het verhogen van de kade meer geweest als op de plaats van de sondering. Dit zal een gunstige invloed hebben op onze zettingberekening.

Voor het uitvoeren van het project zou het verstandig zijn de eigenschappen van de ondergrond ter plaatse te bepalen, zodat een goede berekening van de zetting kan worden gemaakt.

Als ondergrond hebben we de volgende grondlagen aangenomen:

Laag	Diepte t.o.v. NAP (m)		Laagdikte (m)	$q_c$ gem. (kPa)	Wrijvingsweerstand		Grondsoort	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C_c$	$C_u$	Poriegetal e
	van	tot			$f_s$ (kPa)	$R_f$ (%)					
1	0,5	-0,2	0,7	180	40	4,0	Klei, organisch, slap	13	1,690	0,015	4,50
2	-0,2	-0,9	0,7	180	40	4,0	Klei, organisch, slap	13	1,690	0,015	4,50
3	-0,9	-1,1	0,2	500	40	1,5	Klei, zwak zandig	15	0,759	0,009	2,30
4	-1,1	-2,5	1,4	50	20	7,0	Veen, matig	12	1,810	0,016	4,90
5	-2,5	-3,3	0,8	1300	75	1,0	Leem, zwak zandig	19	0,168	0,004	0,83
6	-3,3	-6,0	2,7	400	50	2,5	Klei, organisch, matig	15	0,760	0,012	2,30
7	-6,0	-9,5	3,5	1400	80	1,0	Leem, zwak zandig, matig	20	0,168	0,004	0,65
8	-9,5	-10,5	1,0	400	30	2,0	Klei, zwak zandig	15	0,759	0,009	2,30

Hierin wordt het grondwater niveau op -0,20m NAP gesteld. Dit omdat dit de meest voorkomende grondwaterstand is.

### Berekening kadeverhoging van 0,25m

Bij de berekening van de zetting van de kade worden de volgende parameters gehanteerd:

Parameter	symbool	waarde	eenheid
<b>Dijk afmetingen</b>			
Initiele dijk verhoging	h	0,65	m
Kruinbreedte	$B_{kruin}$	1,5	m
Dijk helling (1:...)	$\cotan\alpha$	4	-

<b>Grondmechanische gegevens</b>			
Ophoogmateriaal		Klei	
Tijd seculair effect	t	30,00	jaren
Gewicht dijk materiaal	$\gamma_{dijk}$	15	kN/m <sup>3</sup>

<b>Rekenwaarden</b>			
Taludlengte	$L_{talud}$	2,6	m
Bovenbelasting	P	9,75	kPa



De huidige situatie heeft de volgende eigenschappen:

Laag	Niveau tov NAP (m)		Laag dikte (m)	laag midden (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C_c$ (-)	$C_\alpha$ (-)	$\sigma'_{eff}$ (kPa)	$\sigma'_{eff}$ laag midden (kPa)	$e$ (-)
1	0,5	-0,20	0,70	0,35	13	1,690	0,015	9,10	4,55	4,50
2	0,5	-0,90	1,40	1,40	13	1,690	0,015	13,30	11,20	4,50
3	-0,9	-1,10	0,20	2,20	15	0,759	0,009	14,30	13,80	2,30
4	-1,1	-2,50	1,40	3,00	12	1,810	0,016	17,10	15,70	4,90
5	-2,5	-3,30	0,80	4,10	19	0,168	0,004	24,30	20,70	0,83
6	-3,3	-6,00	2,70	5,85	15	0,760	0,012	37,80	31,05	2,30
7	-6	-9,50	3,50	8,95	20	0,168	0,004	72,80	55,30	0,65
8	-9,5	-10,50	1,00	11,20	15	0,759	0,009	77,80	75,30	2,30

Als de extra bovenbelasting, in de vorm van de grond ophoging, wordt aangebracht, gebeurt er het volgende in de grondlagen:

Laag	$\Theta$ (rad)	bovenbelasting $\Delta\sigma_{zz}$ (kPa)	$\sigma'_{tot,nieuw}$ (kPa)	Primaire zakking $w_{1;d}$ (m)	Secondaire zakking $w_{2;d}$ (m)	Zettingspercentage primaire zetting in de laag		spanningsverhoging
1	1,40	9,73	14,28	0,107	0,042	15%	goed	214%
2	0,97	8,92	20,12	0,109	0,085	8%	goed	80%
3	0,75	7,75	21,55	0,009	0,007	4%	goed	56%
4	0,60	6,61	22,31	0,066	0,090	5%	goed	42%
5	0,46	5,36	26,06	0,007	0,013	1%	goed	26%
6	0,34	4,03	35,08	0,000	0,000	0%	goed	13%
7	0,23	2,75	58,05	0,000	0,000	0%	goed	5%
8	0,18	2,22	77,52	0,000	0,000	0%	goed	3%

De uiteindelijke zetting is dan:

Kadeverhoging	0,65 m
Primaire zakking $w_{1;d}$	0,19 m
Secondaire zakking $w_{2;d}$ (m)	0,20 m
totale zetting (m)	<b>0,39 m</b>
Verhoging na zetting	<b>0,26 m</b>

Het resultaat van de ons bekende grondgegevens is dat we om een verhoging van 0,25m van de kade over te houden na 30 jaar we een verhoging van 0,65 m moeten toepassen. Dit houdt in dat we ver over de door het waterschap voorgestelde verhoging van 0,50m heen gaan. We hebben voor de aanwezige veenlaag gunstigere waarden aangenomen dan uit de sondering kon worden afgeleid. Hierbij wordt rekening gehouden met een al aanwezige kade en daardoor een meer verdichte ondergrond.

## Zettingberekening golfbreker voor kade Elderskar

De bodem van het Fluessen nabij de kade nemen we aan op -2m NAP. Aangenomen is dat voor de berekening van de zetting de eerste 3 lagen van ons grondmodel buiten de berekening kunnen worden gehouden.

Bij de berekening worden de volgende parameters gehanteerd:

Parameter	symbool	waarde	eenheid
<b>Afmetingen golfbreker</b>			
Overhoogte golfbreker	h	0,75	m
Kruinbreedte	$B_{kruin}$	0,5	m
Talud helling (1:...)	$\cot\alpha$	2,5	-
Hoogte boven water	$h_b$	0,8	m
Hoogte onder water	$h_o$	1,5	m

<b>Grondmechanische gegevens</b>			
Ophoogmateriaal		Breuksteen	
Tijd seculair effect	t	30,00	jaren
Gewicht breuksteen	$\gamma_{dijk}$	17	kN/m <sup>3</sup>

<b>Rekenwaarden</b>			
Taludlengte	$L_{talud}$	7,63	m
Bovenbelasting	P	42,1	kPa

De huidige situatie heeft de volgende eigenschappen:

Laag	Niveau tov NAP (m)		Laag dikte (m)	laag midden vanaf maaiveld (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C_c$ (-)	$C_\alpha$ (-)	$\sigma'_{eff}$ (kPa)	$\sigma'_{eff}$ laag midden (kPa)	e (-)
1	-2,00	-2,50	0,50	0,25	19	0,168	0,004	4,50	2,25	4,90
2	-2,50	-3,30	0,80	0,90	19	0,168	0,004	11,70	8,10	0,83
3	-3,30	-6,00	2,70	2,65	15	0,760	0,012	25,20	18,45	2,30
4	-6,00	-9,50	3,50	5,75	20	0,168	0,004	60,20	42,70	0,65
5	-9,50	-10,50	1,00	8,00	15	0,759	0,009	65,20	62,70	2,30

Als de extra bovenbelasting, in de vorm van de golfbreker, wordt aangebracht, gebeurt er het volgende in de onderliggende grondlagen:

Laag	$\Theta$ (rad)	bovenbelasting $\Delta\sigma_{zz}$ (kPa)	$\sigma'_{tot,nieuw}$ (kPa)	Primaire zakking $w_{1;d}$ (m)	Secondaire zakking $w_{2;d}$ (m)	Zettingspercentage primaire zetting in de laag		spanningsverhoging
4	1,51	42,10	44,35	0,018	0,008	4%	goed	1871%
5	1,35	41,92	50,02	0,058	0,013	7%	goed	517%
6	0,99	38,87	57,32	0,306	0,131	11%	goed	211%
7	0,62	29,12	71,82	0,080	0,057	2%	goed	68%
8	0,47	23,41	86,11	0,032	0,036	3%	goed	37%

Door de primaire en de secundaire zakking bij elkaar op te tellen krijg je de totale zetting:

Overhoogte golfbreker	0,75m
Primaire zakking $w_{1,d}$	0,49m
Secundaire zakking $w_{2,d}$ (m)	0,24m
totale zetting (m)	<b>0,74m</b>
Overhoogte na zetting	<b>0,01m</b>

Een punt dat hier nog goed uit moet worden gezocht, is wat voor grondlagen er aanwezig zijn beneden de 10,5 m –NAP. In de onderste laag die we op dit moment nog meenemen, zit nog een spanningsverhoging groter dan 20%. Deze lagen kunnen namelijk nog invloed hebben in de totale zakking ten gevolge van de aanleg van de golfbreker.

## Zettingberekening golfbreker rond havenmond

Voor deze zettingsberekening is de sondering gebruikt zoals weergegeven in het eerste gedeelte van deze paragraaf. Aangenomen is dat voor de berekening van de zetting de bovenste 3 lagen uit de sondering niet meegenomen hoeven te worden.

De volgende parameters worden vormen het uitgangspunt voor de zetting berekening:

Parameter	symbool	waarde	eenheid
<b>Afmetingen golfbreker</b>			
Overhoogte golfbreker	$h$	0,85	m
Kruinbreedte	$B_{\text{kruin}}$	1,0	m
Talud helling (1:...)	$\cot\alpha$	3	-
Hoogte boven water	$h_b$	1	m
Hoogte onder water	$h_o$	1,5	m

<b>Grondmechanische gegevens</b>			
Ophoogmateriaal		Breuksteen	
Tijd seculair effect	$t$	30,00	jaren
Gewicht breuksteen	$\gamma_{\text{dijk}}$	17	kN/m <sup>3</sup>

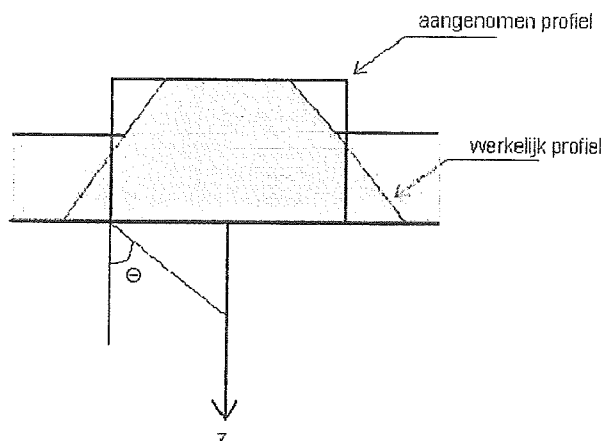
<b>Rekenwaarden</b>			
Taludlengte	$L_{\text{talud}}$	10,05	m
Bovenbelasting	$P$	47,9	kPa

De huidige situatie heeft de volgende eigenschappen:

Laag	Niveau tov NAP (m)		Laag dikte (m)	laag midden vanaf maaiveld (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C_c$ (-)	$C_\alpha$ (-)	$\sigma'_{\text{eff}}$ (kPa)	$\sigma'_{\text{eff}}$ laag midden (kPa)	$e$ (-)
1	-2,00	-3,30	1,30	0,65	19	0,168	0,004	11,70	5,85	0,83
2	-3,30	-6,00	2,70	2,65	15	0,760	0,012	25,20	18,45	2,30
3	-6,00	-9,50	3,50	5,75	20	0,168	0,004	60,20	42,70	0,65
4	-9,50	-10,50	1,00	8,00	15	0,759	0,009	65,20	62,70	2,30

Situatie met golfbreker:

Als aanname hebben we aangenomen dat de golfbreker een rechthoekig profiel heeft. Deze aanname is te rechtvaardigen, aangezien de werkelijke zakkig lager zal uitvallen als bij deze aanname. Je zit dus met je berekening aan de veilige kant. Verder kan door de aanname de golfbreker als een lijnlast gezien worden. Zie voor schematisatie onderstaande figuur.



Ten gevolge van het aanleggen van de golfbreker zal er een extra belasting op de ondergrond rusten. Deze extra belasting geeft zettingen in de verschillende grondlagen:

Laag	$\Theta$ (rad)	boven-belasting $\Delta\sigma_{zz}$ (kPa)	$\sigma'_{tot,nieuw}$ (kPa)	Primaire zakking $w_{1,d}$ (m)	Secondaire zakking $w_{2,d}$ (m)	Zettingspercentage primaire zetting in de laag		spanningsverhoging
1	1,45	47,87	53,72	0,115	0,021	9%	goed	818%
2	1,12	46,15	64,60	0,338	0,131	13%	goed	250%
3	0,77	38,58	81,28	0,100	0,057	3%	goed	90%
4	0,60	32,69	95,39	0,042	0,036	4%	goed	52%

De totale zetting bestaat uit de totale primaire zetting en de totale secundaire zetting:

Overhoogte golfbreker	0,85 m
Primaire zakking $w_{1,d}$	0,59 m
Secondaire zakking $w_{2,d}$ (m)	0,24 m
<b>totale zetting (m)</b>	<b>0,84 m</b>

Overhoogte na zetting	<b>0,01 m</b>
-----------------------	---------------

Een punt dat hier nog goed uit moet worden gezocht, is wat voor grondlagen er aanwezig zijn beneden de 10,5 m –NAP. In de onderste laag die we op dit moment nog meenemen, zit nog een spanningsverhoging groter dan 20%. Deze lagen kunnen namelijk nog invloed hebben in de totale zakking ten gevolge van de aanleg van de golfbreker.

## ***Evaluatie berekening***

De werkelijke zetting van de kade en de golfbrekers zal waarschijnlijk minder zijn als de door ons berekende waarden. De gebruikte waarden uit Tabel 1 van NEN-6740 zijn veilige waarden. Indien de grondparameters nauwkeurig worden bepaald is een betere inschatting te maken van de werkelijke zetting. Tevens is het ook aannemelijk is dat de kade tijdens de verhoging door het gebruikte zware materieel al zal verdichten.

We moeten ook de kanttekening plaatsen dat het verstandiger is met gegevens van een grondboring ter plaatse van de kade en samendrukkingproeven de werkelijke grondparameters te meten. Alleen op deze manier kan een goede inschatting worden gemaakt van de zetting van een toekomstige kade.

Tevens moet er rekening worden gehouden met de tijd dat de zetting nodig heeft om op te treden. De snelheid waarmee de zetting optreedt, is voor een groot deel afhankelijk van de doorlatendheid van de grondlagen. De overhoogte van de kade en de golfbreker zullen voor het grootste deel kort na de aanleg wegzakken. Dit betekent dat eventuele bezwaren tegen de hoogte in een begin periode getolereerd moeten worden.

## **Bijlage H**

Evenwichtprofiel zandstrand Elahuizen

# Berekening evenwichtsprofiel

## Invoerwaarden

Golfhoogte	Hs	0,73 m	
Golfperiode	Tz	2,6 s	
Valversnelling	g	9,81 m/s <sup>2</sup>	
Gemiddelde korrel grootte	d50	0,5 mm	
Profiel parameter	p	0,1 m0,22	Opzoeken in grafiek
Helling	cotana	17	

## Storm

## Normaal

Hs	0,734	0,4
Tz	3	2,6

$$z = px^{0,78}$$

$$L_e = p^{-1,28} H_s^{1,28}$$

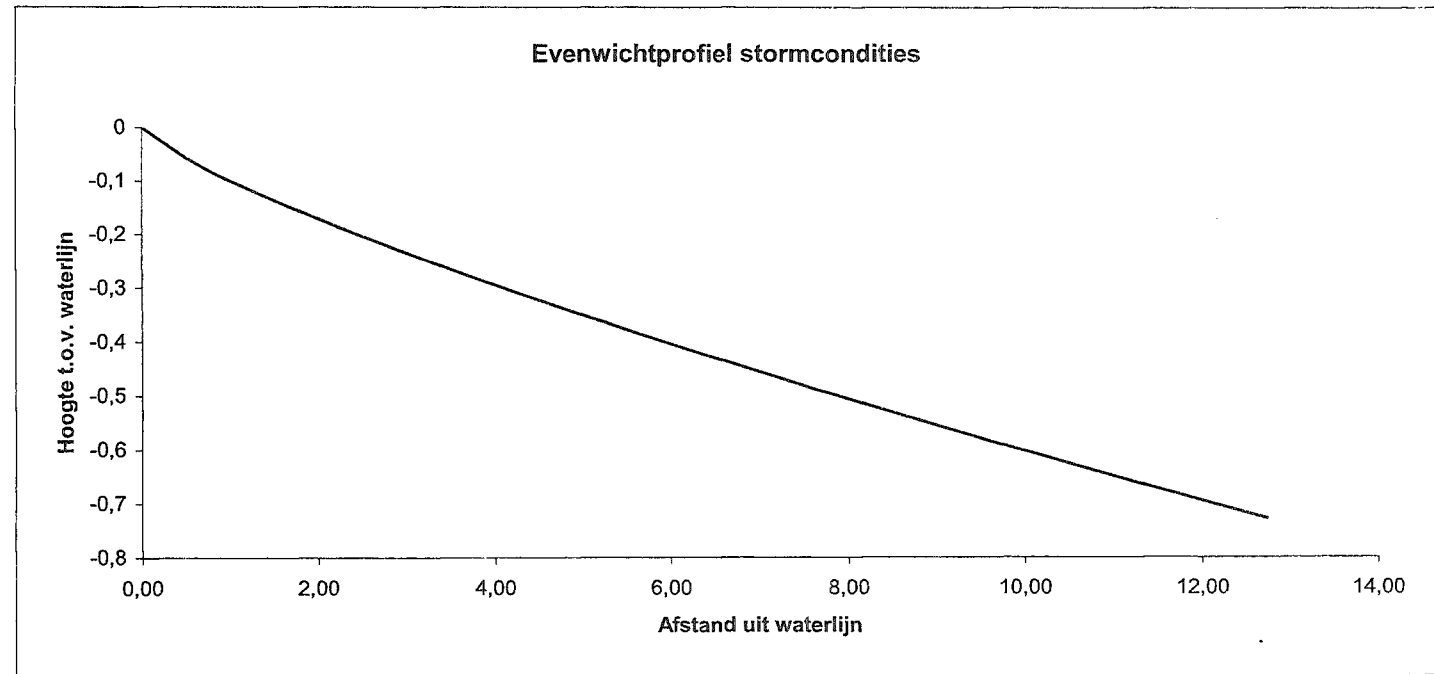
## Berekening evenwichtprofiel zonder golfreducerende middelen

Evenwichtprofiel lengte	Le	12,7365927 m
Diepwater golfperiode	T0	11,516562 s

## Berekening profiel volgens Vellinga, 1986

Afstand y in m uit waterlijn      Hoogte z in m t.o.v. van waterlijnniveau

0	0
0,64	-0,070
1,27	-0,121
1,91	-0,166
2,55	-0,207
3,18	-0,247
3,82	-0,285
4,46	-0,321
5,09	-0,356
5,73	-0,390
6,37	-0,424
7,01	-0,456
7,64	-0,489
8,28	-0,520
8,92	-0,551
9,55	-0,581
10,19	-0,611
10,83	-0,641
11,46	-0,670
12,10	-0,699
12,74	-0,728



Evenwichtshelling (cota)

17,5



**Berekening evenwichtsprofiel met palenrij**

Diameter palen	D	0,19 m
hart-op-hart afstand palen	d	0,2 m
Transmissiecoëfficiënt	Kt	0,31 -
Doorgelaten golfhoogte	Ht	0,23 m

$$z = px^{0,78}$$

$$L_e = p^{-1,28} H_s^{1,28}$$

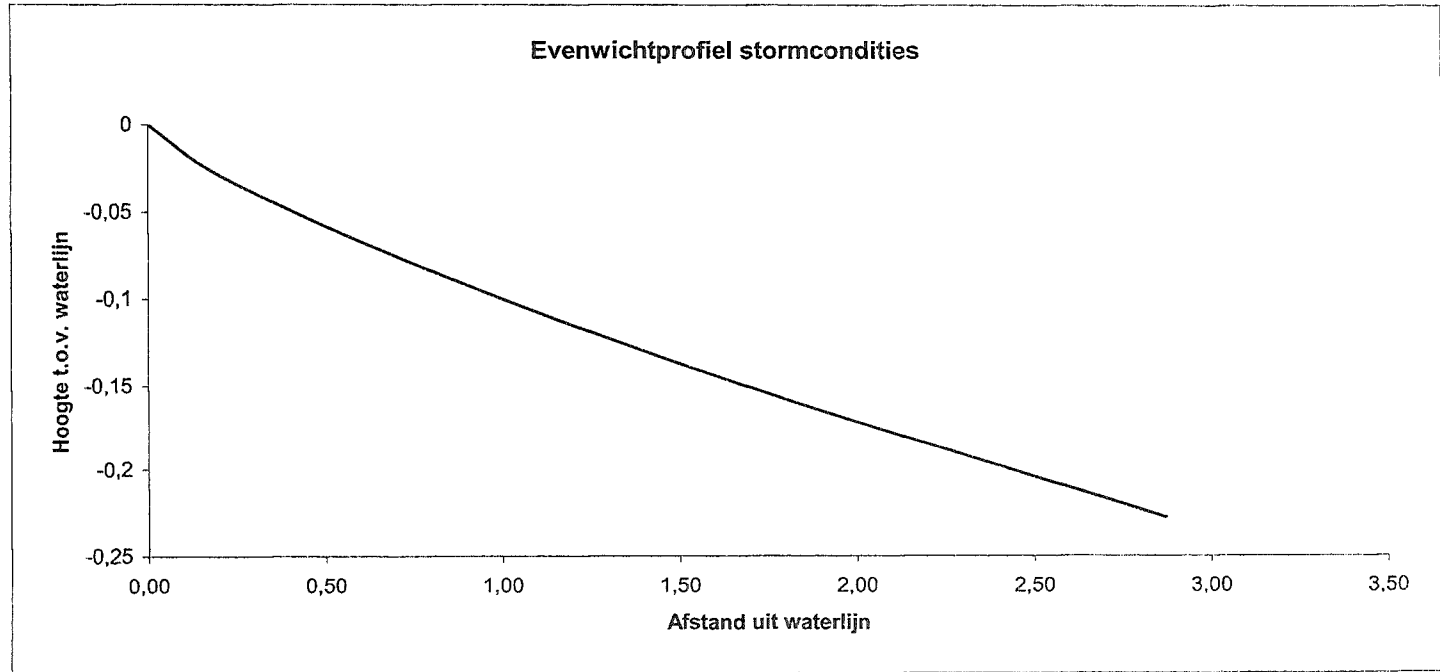
Evenwichtsprofiel lengte	Le	2,87088777 m
	T0	11,516562 s

$$K_t = \sqrt{\left(1 - \left(\frac{D}{d}\right)^2\right)}$$

**Berekening profiel volgens Vellinga, 1986**

Afstand y in m uit waterlijn      Hoogte z in m t.o.v. van waterlijnniveau

0	0
0,14	-0,022
0,29	-0,038
0,43	-0,052
0,57	-0,065
0,72	-0,077
0,86	-0,089
1,00	-0,100
1,15	-0,111
1,29	-0,122
1,44	-0,133
1,58	-0,143
1,72	-0,153
1,87	-0,163
2,01	-0,172
2,15	-0,182
2,30	-0,191
2,44	-0,201
2,58	-0,210
2,73	-0,219
2,87	-0,228



Evenwichtshelling (cota)      12,6

# **Bijlage I**

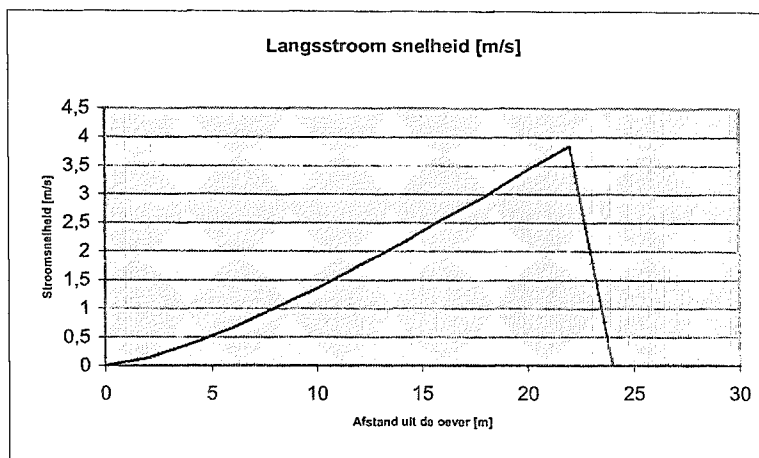
Berekening stroomsnelheden en langtransport strand Elahuizen

# Berekening stroomsnelheden en langstransport

## STORMCONDITIES

### Invoer waarden

Golfhoogte diepwater	H0	0,73 m
Golfperiode op diepwater	T	3,12 s
Rotatiesnelheid golf	w	2,013841 rad/s
Hoek van inval ten opzichte van het strandje	phi0	45 graden
Aanleghelling van het strand (1/17)	m	0,058824 -
Brekerindex	y	0,56 -
Ruigheidscoefficient	r	0,06 -
Korrel diameter	D50	0,0005 m
Korrel diameter	D90	0,0006 m
Golf lengte diepwater	L0	15,2 m
Relatieve dichtheid zand	Δ	1,65 -



### Berekening stroomsnelheden en langstransport

y	h	h/Lo	kh	k	L	n	phi	H	ao	fw	C	C90	V	V*	ub	Umax	μ	Sb
[m]	[m]	-	-	[1/m]	[m]	-	[graden]	[m]	[-]	[-]	[m0,5/s]	[m0,5/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[-]	[m3/ms]
0	0	0,000	0,0000	0	0,00	0	0	0,00	0	0,000	0,0	0,0	0	0	0	0	0	0
2	0,12	0,008	0,2533	2,15	3,77	0,9792	10,10	0,07	0,129	0,227	24,7	60,7	0,13	0,02	0,26	0,36	0,41	2,36E-14
4	0,24	0,015	0,3119	1,33	4,59	0,9690	12,34	0,13	0,208	0,153	30,1	66,1	0,38	0,04	0,43	0,74	0,46	2,93E-06
6	0,35	0,023	0,4070	1,15	5,87	0,9488	15,84	0,20	0,236	0,138	33,3	69,3	0,66	0,06	0,49	1,06	0,48	3,27E-05
8	0,47	0,031	0,4483	0,95	6,39	0,9388	17,30	0,26	0,284	0,120	35,5	71,5	1,00	0,09	0,59	1,48	0,50	8,90E-05
10	0,59	0,039	0,5233	0,89	7,30	0,9192	19,85	0,33	0,301	0,115	37,3	73,3	1,35	0,11	0,63	1,85	0,51	1,44E-04
12	0,71	0,046	0,5581	0,79	7,70	0,9095	20,99	0,40	0,336	0,106	38,7	74,7	1,75	0,14	0,71	2,31	0,52	2,06E-04
14	0,82	0,054	0,6239	0,76	8,42	0,8905	23,06	0,46	0,347	0,104	39,9	75,9	2,12	0,17	0,74	2,70	0,53	2,60E-04
16	0,94	0,062	0,6553	0,70	8,74	0,8811	24,00	0,53	0,375	0,098	40,9	76,9	2,56	0,20	0,81	3,18	0,53	3,21E-04
18	1,06	0,070	0,7157	0,68	9,34	0,8628	25,74	0,59	0,381	0,097	41,9	77,9	2,96	0,22	0,83	3,60	0,54	3,74E-04
20	1,18	0,077	0,7453	0,63	9,61	0,8537	26,56	0,66	0,404	0,093	42,7	78,7	3,42	0,25	0,89	4,10	0,54	4,34E-04
22	1,29	0,085	0,8026	0,62	10,11	0,8360	28,07	0,72	0,406	0,093	43,4	79,4	3,84	0,28	0,91	4,53	0,55	4,86E-04
24	1,41	0,093	0,8306	0,59	10,35	0,8273	28,78	0,73	0,393	0,095	44,1	80,1	0,00	0	0,88	0,88	0,55	0

Sb:totaal: 0,005 m3/s  
16,92 m3/uur

**Gebruikte formules**

Afstand uit de waterlijn y  
 Diepte t.o.v. stilwaterlijn h  
 Verhouding diepte tot golflengte diepwater h/L<sub>0</sub>

Golfgetal (k) volgt uit de dispersierelatie  $\omega^2 = k * \tanh(kh)$

Rotatiesnelheid van de golf  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Golflengte, L  $L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kh)$   
 $n = \frac{1}{2} + \frac{kh}{\sinh(2kh)}$

Hoek van inval  $\varphi = \sin(\tanh(kh) * \sin(\varphi_0))^{-1}$

Golffhoogte na brekerdiepte  $H = h * \gamma$

$$a_0 = \frac{1}{2} H (\sinh(kh))^{-1}$$

$$f_w = \exp \left[ -5,977 + 5,213 \left( \frac{a_0}{r} \right)^{-0,194} \right]$$

Chezy coefficient  $C = 18 \log \left( \frac{12h}{r} \right)$

Langsstroom snelheid  $V = \frac{5\pi}{8\sqrt{2}} * \frac{\sin(\varphi_0)}{c_0} * \frac{C}{\sqrt{f_w}} * \gamma * \sqrt{g} * h * m$

Maximale orbitaalsnelheid t.p.v. bodem  $u = \frac{\omega h}{2kh}$

Langstransport (Bijker formule)  $S_b = B * \frac{D_{s0} * V * \sqrt{g}}{C} \exp \left[ \frac{-0,27 * \Delta * D_{s0} * \rho * g}{\mu * \tau_{cw}} \right]$

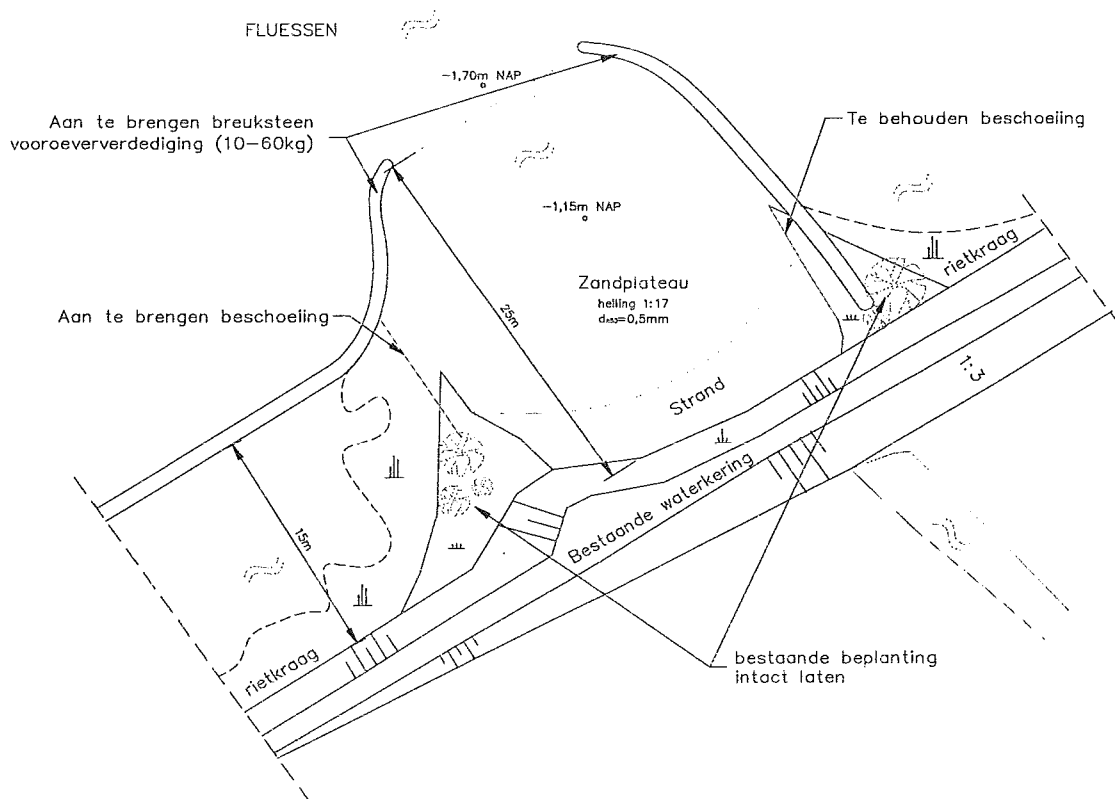
## **Bijlage J**

Kostenindicatie alternatieven zandstrand Elahuizen

# Aanlegkosten alternatieven zandstrand

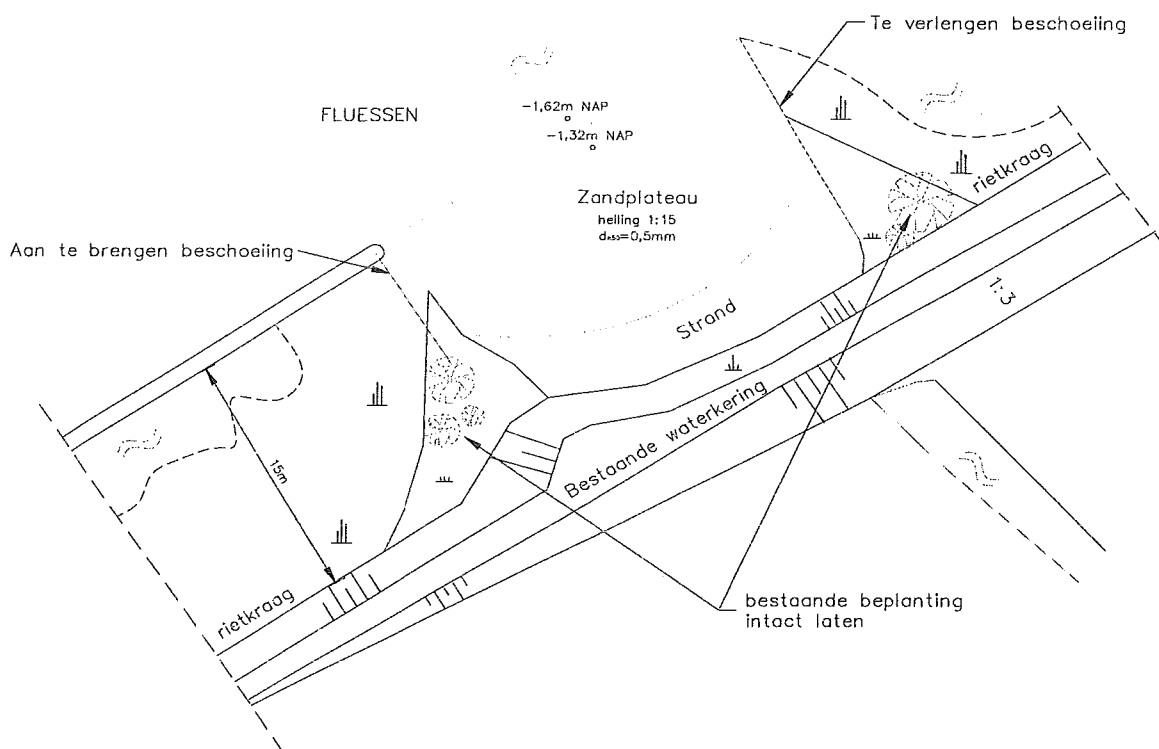
## Alternatief 1: Zandstrand 1:17 afgeschermd met strekdammen

Kostensoort	Eenheid	Eenheidsprijs	Hoeveelheid	Subtotaal
52.01.12 Samenstellen kraagstuk, zool van kunststofweefsel Kraagstuk met kunststofzool, met rietmat, projectgrootte 100m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	€ 13,30	120	€ 1.596,00
52.01.41 Slepen samengestelde stukken Vaarafstand 1000m, projectgrootte 5000m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	€ 0,48	120	€ 57,60
52.01.51 Afzinken, aanbrengen zinkstuk Afzinken, zinkstuk, waterdiepte 3,00m, projectgrootte 100m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	€ 0,53	120	€ 63,60
52.11.01-c Aanbrengen bestorting 10-60kg voor 70% onder water Aanbrengen bestorting, 200kg/m <sup>2</sup> , projectgrootte 50ton	m <sup>1</sup>	€ 170,00	40	€ 6.800,00
80.00.01 Aanbrengen palen t.b.v. beschoeiing h.o.h. 0,50m Behandeld grenenhout, dikteklasse 9/10, lengte 2,5m	m <sup>1</sup>	€ 20,00	10	€ 200,00
80.00.02 Aanbrengen houten gordingen t.b.v. beschoeiing Gording dubbel uitgevoerd, incl. verbindingsmiddelen	m <sup>1</sup>	€ 64,00	10	€ 640,00
80.00.03 Aanbrengen filterdoek t.b.v. beschoeiing filterdoek 150g/m <sup>2</sup> (hoog 1m)	m <sup>1</sup>	€ 1,70	10	€ 17,00
80.00.04 Aanbrengen opgeklampt schot (hoog 0,40m) Behandeld grenenhout, dik 20mm	m <sup>1</sup>	€ 9,00	10	€ 90,00
90.00.01 Leveren zand d=0,5mm	m <sup>3</sup>	€ 10,00	150	€ 1.500,00
22.03.01-c Verwerken van zand in ophoging 1:17 Verwerken / profileren met een hydraulische graafmachine	m <sup>3</sup>	€ 1,40	150	€ 210,00
			<b>Totaal</b>	<b>€ 11.174,20</b>



**Alternatief 2: Zandstrand 1:15 afgeschermd met palenrij**

Kostensoort	Eenheid	Eenheidsprijs	Hoeveelheid	Subtotaal
90.00.02 Aanbrengen gesloten palenrij, 5st/m1 Behandeld grenenhout, dikteklasse 19/20, lengte 4m	m1	€ 147,00	24	€ 3.528,00
90.00.03 Aanbrengen opgeklampt schot, hoog 400mm Hardhout dik 15mm	m1	€ 11,00	24	€ 264,00
80.00.01 Aanbrengen palen t.b.v. beschoeiing h.o.h. 0,50m Behandeld grenenhout, dikteklasse 9/10, lengte 2,5m	m1	€ 20,00	20	€ 400,00
80.00.02 Aanbrengen houten gordingen t.b.v. beschoeiing Gording dubbel uitgevoerd, incl. verbindingsmiddelen	m1	€ 64,00	20	€ 1.280,00
80.00.03 Aanbrengen filterdoek t.b.v. beschoeiing filterdoek 150g/m2 (hoog 1m)	m1	€ 1,70	20	€ 34,00
80.00.04 Aanbrengen opgeklampt schot (hoog 0,40m) Behandeld grenenhout, dik 20mm	m1	€ 9,00	20	€ 180,00
90.00.01 Leveren zand d=0,5mm	m3	€ 10,00	100	€ 1.000,00
22.03.01-c Verwerken van zand in ophoging 1:13 Verwerken / profileren met een hydraulische graafmachine	m3	€ 1,40	100	€ 140,00
<b>Totaal</b>				<b>€ 6.826,00</b>



## **Bijlage K**

Berekening golfindringing jachthaven Elahuizen



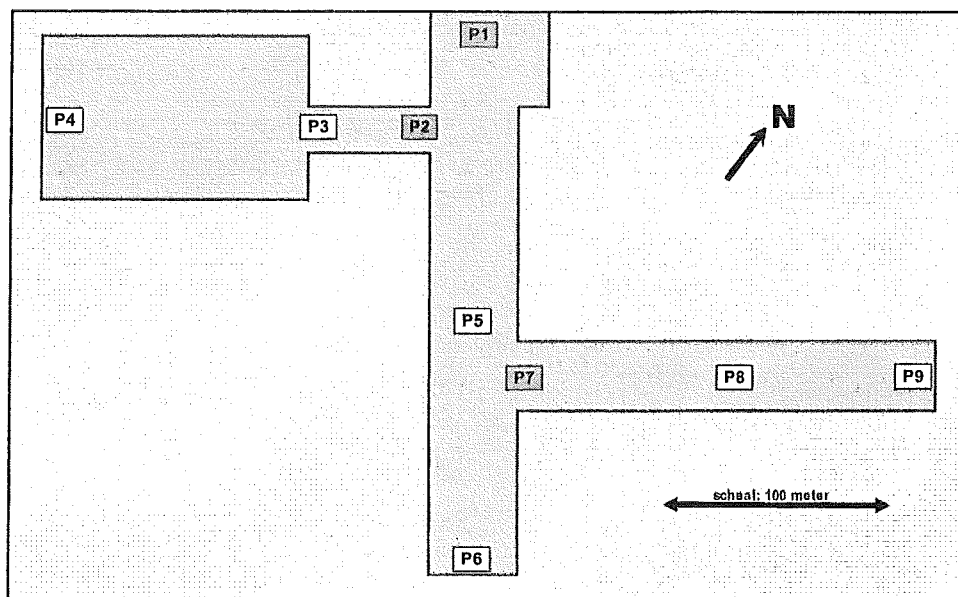
## Golfindringing nul-alternatief

Voor de berekening van de maatgevende golfhoogten in de haven worden allereerst de maatgevende windrichtingen met bijbehorende waarden voor de berekening gegeven in onderstaande tabel.

Windrichting	West	NW	Noord
H <sub>s</sub> (m)	0,74	0,61	0,64
T <sub>s</sub> (s)	3,11	3,11	3,11
L <sub>o</sub> (m)	14,1	11,5	12,4
L (m)	11,4	9,8	10,4

Tabel 1: maatgevende windrichtingen

Voor het havenbekken is er een schematisatie gemaakt zoals in Figuur 1 is weergegeven. Bij deze schematisatie is het stuk tussen P7 en P6 evenwijdig verondersteld. Ook zit in werkelijkheid een houten beschoeiing loodrecht op de kade ter plaatse van P5 aan de westoever tot halverwege de havenbreedte, die hier verwaarloosd is.



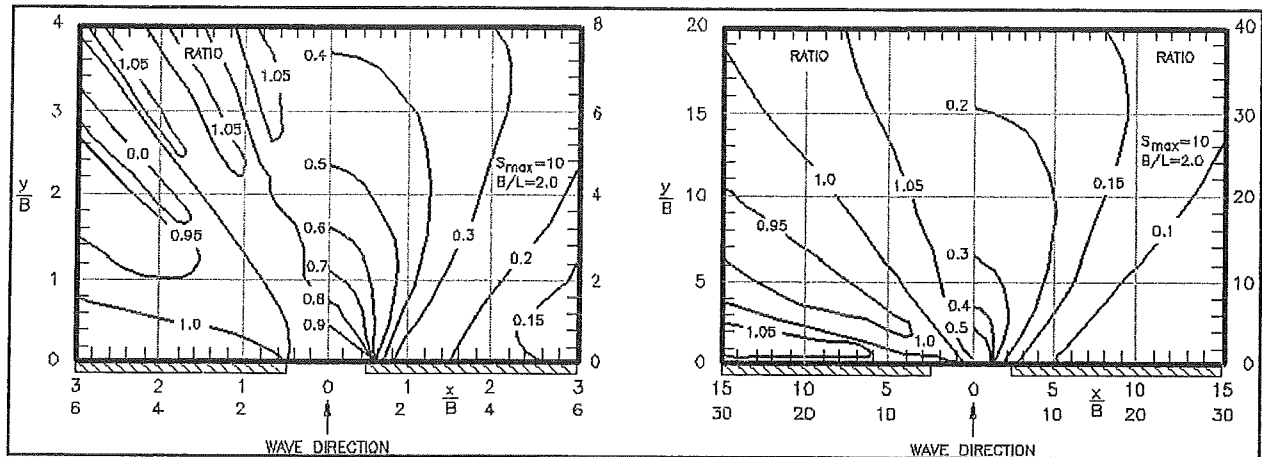
Figuur 1: Schematisatie van havenbekken

Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van de figuren van hoofdstuk 7 van de "Coastal Engineering Manual – Part II" (lit 28). In deze figuren zijn verschillende reductiefactoren af te lezen, die bij een gegeven plaats de reductiefactor van de inkomende golf weergeven bij een golfbreker afhankelijk van de golflengte en de breedte van de opening tussen de golfbrekers.

Voor de jachthaven bij Elahuizen wordt gerekend met een factor van  $B/L = 2,0$  dit uitgaande van een havenbreedte van 27 meter en een waterdiepte van 2,0 meter. Daarnaast moet er een richtingsverspreiding ( $S_{max}$ ) worden gekozen, hiervoor zijn er twee mogelijkheden:

- Diagrammen met grote richtingsverspreiding ( $S_{max} = 10$ ) zijn van toepassing bij een golfveld dat gedomineerd wordt door lokaal opgewekte golven.
- Diagrammen met kleine richtingsverspreiding ( $S_{max} = 75$ ) zijn van toepassing bij een golfveld dat gedomineerd wordt door deininggolven.

Aanbevolen wordt om de diagrammen met grote richtingsverspreiding ( $S_{max}=10$ ) aan te houden en dit zal dan ook gedaan worden. De hierbij behorende figuren zijn te zien in **Figuur 2: diffractie figuren**.



*Figuur 2: diffractie figuren*

Voor de verschillende punten in de haven dienen waarden van  $Y/L$  en  $X/L$  te worden berekend. Om de golfdoordringing in de twee havenbekkens aan beide zijden te kunnen berekenen wordt er aangenomen dat op de punten P2 en P7 de daar geldende golfhoogte volledig doordringt in de langsricting van het havenbekken richting de punten P3-P4 en respectievelijk P8-P9. De op deze manier berekende waarden van  $Y/L$  en  $X/L$  zijn te vinden in Tabel 2: **waarden van  $X/L$  en  $Y/L$  bij de verschillende windrichtingen**.

Meetpunten	X(m)	Y(m)	West		Noord-West		Noord	
			X/L	Y/L	X/L	Y/L	X/L	Y/L
P1	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
P2	13,5	11,5	1,2	1,0	1,4	1,2	1,3	1,1
P3	0	40	0,0	3,5	0,0	4,1	0,0	3,8
P4	0	90	0,0	7,9	0,0	9,2	0,0	8,7
P5	0	100	0,0	8,8	0,0	10,2	0,0	9,6
P6	0	190	0,0	16,7	0,0	19,4	0,0	18,3
P7	11,5	110	1,0	9,6	1,2	11,2	1,1	10,6
P8	0	96	0,0	8,4	0,0	9,8	0,0	9,2
P9	0	192	0,0	16,8	0,0	19,6	0,0	18,5

*Tabel 2: waarden van  $X/L$  en  $Y/L$  bij de verschillende windrichtingen*

Aan de hand de waarden uit tabel 2 kan voor elke locatie een golfreductie-coëfficiënt worden bepaald. Door de aanname dat de haveningang een golfbreker zou zijn, worden de berekende waarden lager dan in werkelijkheid omdat in de haven niet alle energie wordt verspreid achter de golfbreker. De berekende golfhoogten zitten dan ook aan de onveilige kant.

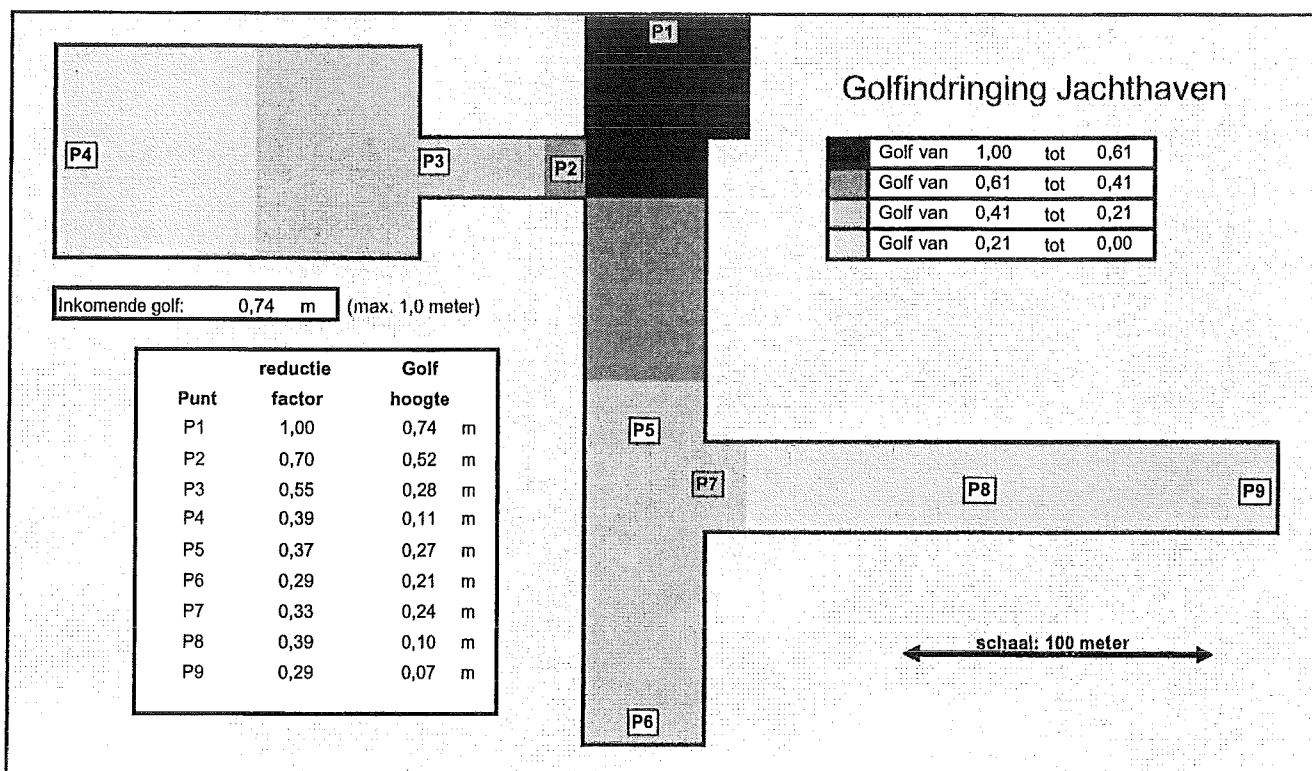
Door de complexe plattegrond zou de golfindringing eigenlijk berekend moeten worden met een numeriek programma. Gangbare geavanceerde (numerieke) modellen zijn het numerieke diffractiemodel DIFFRAC en het numerieke golfdoordringingsmodel PHAROS. Bij het gebruik van een geavanceerd model zullen ook de processen diffractie, transmissie, refractie, golf-golf interactie, reflectie en lokale golfgroei in de berekeningen meegenomen moeten worden.

Gezien de complexiteit van deze programma's en omdat dit programma voor ons onderzoek niet ter beschikking is, wordt er gebruik gemaakt van deze eenvoudige benadering.

Uit het aflezen van de verschillende waarden van Y/L en X/L in de lijnen van figuur 2 volgen voor de verschillende optredende windrichtingen en golflengten de reductiecoëfficiënten. Deze staan in tabel 3 weergegeven. In de tweede kolom is de maximaal optredende golfhoogte weergegeven. In figuur 3 zijn de waarden van deze maximale golfhoogte gevisualiseerd.

Nul-alternatief		West		Noord-West		Noord	
Meetpunt	Maximale golfhoogte	Reductie factor	Golf hoogte	Reductie factor	Golf hoogte	Reductie factor	Golf hoogte
P1	0,74	1,00	0,74	1,00	0,27	1,00	0,38
P2	0,52	0,70	0,52	0,65	0,18	0,70	0,27
P3	0,28	0,55	0,28	0,55	0,10	0,55	0,15
P4	0,11	0,39	0,11	0,36	0,04	0,37	0,05
P5	0,27	0,37	0,27	0,36	0,10	0,36	0,14
P6	0,21	0,29	0,21	0,26	0,07	0,27	0,10
P7	0,24	0,33	0,24	0,33	0,09	0,33	0,13
P8	0,10	0,39	0,10	0,36	0,03	0,37	0,05
P9	0,07	0,29	0,07	0,26	0,02	0,27	0,03

Tabel 3: berekende reductiefactoren en bijbehorende golfhoogten in meters



Figuur 3 weergaven van de maximale golfhoogten in de jachthaven van Elahuizen

## Golfindringing alternatief 1: een golfbreker

Voor het ontwerp van de golfbreker is rekening gehouden met een doorvaartbreedte (B) van minimaal 40 meter. In Tabel 4 staan de maatgevende windrichtingen met de bijbehorende waarden. Hieruit volgt voor de gemiddelde waarde van  $B/L \approx 4,0$ . Voor de richtings spreiding wordt weer  $S_{\max} = 10$  gekozen.

Windrichting	West	NW	Noord
Hs (m)	0,74	0,61	0,64
T <sub>s</sub> (s)	3,11	3,11	3,11
L <sub>o</sub> (m)	14,1	11,5	12,4
L (m)	11,4	9,8	10,4
B/L	3,5	4,1	3,8

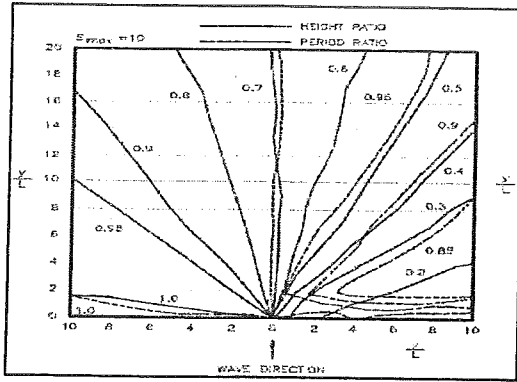
Tabel 4: maatgevende windrichting

Berekend moet worden wat de maatgevende golfhoogte wordt op punt P2, in de ingang van het havenbekken aan de zuid-westzijde. Hiertoe moet de reductiewaarde op dit punt worden afgelezen in de figuren uit de "Coastal Engineering Manual – Part II" (lit [28]), voor de duidelijkheid zijn deze weergegeven in Figuur 4 en Figuur 5 op de volgende pagina. Voor deze waarden is er per windrichting een verschillend figuur nodig, zie Tabel 5. In deze tabel staan ook de gevonden reductiefactoren en de waarden van de nieuwe golfhoogte op P1 en P2. Uit de berekeningen volgt dat noordenwind maatgevend is.

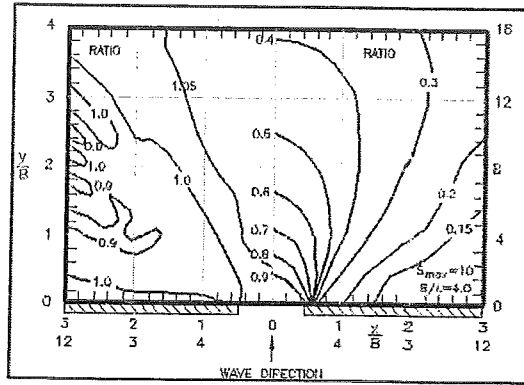
Voor de punten P3 tot P9 volgen uiteraard lagere waarden voor de golfhoogte die berekend kunnen worden met de reductiefactoren die gevonden zijn in "Golfindringing bij het nul-alternatief". Deze waarden staan in Tabel 6 en visueel weergegeven in Figuur 6 op de volgende bladzijde.

Windrichting	West	Noord-West	Noord
Aantal golfbrekers	1	2	2
Gebruikt figuur	1	2	2
Y (m)	55	80	35
Y/L	4,8	8,2	3,4
X (m)	65	20	5
X/L	5,7	2,0	0,50
Afgelezen factor	0,30	0,45	0,60
Gereduceerde golfhoogte P1 (m)	0,22	0,27	0,38
<b>Golfhoogte op P2 (m)</b>	<b>0,16</b>	<b>0,18</b>	<b>0,27</b>

Tabel 5: resultaten golfhoogte berekening met een golfbreker



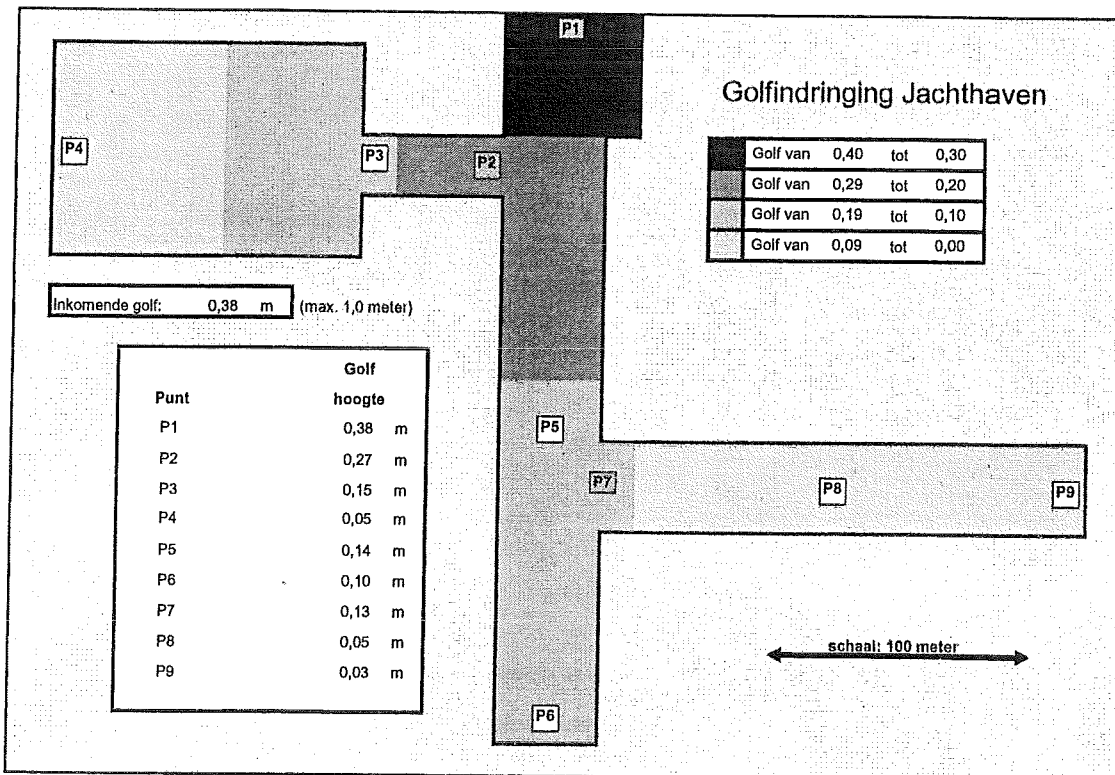
Figuur 4: diffractie bij 1 golfbreker



Figuur 5: diffractie bij 2 golfbrekers

Meetpunt	Golfbreker Maximale golfooogte	West		Noord-West		Noord	
		Reductie factor	Golf hoogte	Reductie factor	Golf hoogte	Reductie factor	Golf hoogte
P1	0,38	1,00	0,22	1,00	0,27	1,00	0,38
P2	0,27	0,70	0,16	0,65	0,18	0,70	0,27
P3	0,15	0,55	0,09	0,55	0,10	0,55	0,15
P4	0,05	0,39	0,03	0,36	0,04	0,37	0,05
P5	0,14	0,37	0,08	0,36	0,10	0,36	0,14
P6	0,10	0,29	0,06	0,26	0,07	0,27	0,10
P7	0,13	0,33	0,07	0,33	0,09	0,33	0,13
P8	0,05	0,39	0,03	0,36	0,03	0,37	0,05
P9	0,03	0,29	0,02	0,26	0,02	0,27	0,03

Tabel 6: golfooogten in meters bij toepassing van een golfbreker in de havenmond



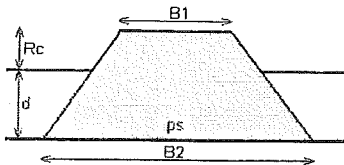
Figuur 6 weergaven van de maximale golfooogten met een golfbreker

## **Bijlage L**

Stabiliteitsberekening en kostenindicatie havendammen jachthaven Elahuizen

# Berekening stabiliteit en kosten havendammen

Dimensionering golfbreker	Symbol	Eenheid	Hoeveelheid
<b>Golfbreker zonder zandkern</b>			
Lengte golfbreker (gemeten op de kruin)	L	m	35
Kruinhoogte golfbreker boven waterstand	Rc	m	1,35
Bodemligging ten opzichte van waterstand	d1	m	2
Kruinbreedte	B1	m	1
Taludhelling meerzijde (1:x)	a;meer	-	3
Taludhelling havenzijde (1:x)	a;haven	-	3
Soortelijk gewicht stortsteen	ps	kg/m <sup>3</sup>	2500
Totaal volume stortsteen per m1	Vstortsteen	m <sup>3</sup> /m	37
Bodembreedte golfbreker	B2	m <sup>2</sup>	21,1
Benodigde oppervlakte kraagstuk	Akraag	m <sup>2</sup>	951



## Golfbreker met binnenkern

Benodigde oppervlakte geotextiel	Ageo	m <sup>2</sup>	693
Bestortingsdichtheid buitenlaag stortsteen 10-60 kg		kg/m <sup>3</sup>	25526
Totaal benodigde hoeveelheid stortsteen 10-60 kg	S	ton	893
Volume kern stortsteen 50-150 mm	Vkern	m <sup>3</sup> /m	20
Bestortingsdichtheid kern stortsteen 50-150 mm		kg/m <sup>3</sup>	30000
Totaal benodigde hoeveelheid stortsteen 50-150 mm	S	ton	1050

## Belastingen op golfbreker

Belastingen op golfbreker	Symbol	Eenheid	Hoeveelheid
<b>Optredende golven onder extreme omstandigheden</b>			
Significante golfhoogte voor de golfbreker	Hs	m	0,75
Piekperiode	Tp	s	3,309
Gemiddelde periode	Tm	s	3,008
Stellheid van de golf in diep water gerelateerd aan de piekperiode	s0p	-	0,023
Reductiewaarde dn50 voor lage kruinen	Red	-	1,000 0,8<Red<1,0
<b>Benodigde steenklasse (Van der Meer vergelijkingen)</b>			
Dooralendheid parameter (dooralende kern)	P	-	0,1
Relatieve dichtheid t.o.v. dichtheid water in meer	Δ	-	1,5
Aanvaarbaar schadegetal	S	stenen	2
Aantal golven gedurende een storm	N	golven	3000
Golfbrekertype gerelateerd aan de gemiddelde golfperiode	ζm	-	1,50

$$\xi_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} \quad L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

Overgangswaarde Irribarren getal	ξtrans	-	2,55 Plunging breakers
----------------------------------	--------	---	------------------------

$$\xi_{transition} = \left[ 6, 2P^{0,31} \sqrt{\tan \alpha} \right]^{\left( \frac{1}{P+0,5} \right)}$$

Hs / delta * dn50;ben			1,72
-----------------------	--	--	------

$$\frac{H_{sc}}{\Delta d_{n50}} = 6, 2P^{0,18} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \xi^{-0,5} \text{ (ging breakers)}$$

$$\frac{H_{sc}}{\Delta d_{n50}} = 1, 0P^{-0,13} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \xi^P \sqrt{\cot \alpha} \text{ (akers)}$$

Benodigde karakteristieke steendiameter	dn50;ben	m	0,29
Bestortingsdichtheid		kg/m	55526,25 Aflezen in fig A-2 (Schlreck)
Totaal benodigde hoeveelheid stortsteen		ton	1943,42

Kosten golfbreker	Eenheid	Eenheidsprijs	Hoeveelheid	Totale kosten
<b>Samenstellen kraagstuk (52.01.12)</b>	m2	€ 12,23	950,555	€ 11.625,29
Kraagstuk met kunststofzool, met riemmat, projectgrootte 1000m2				
<b>Slepen samengestelde stukken (52.01.41)</b>	m2	€ 0,48	950,555	€ 456,27
vaarafstand 1000m, projectgrootte 5000m2				
<b>Afzinken, aanbrengen zinkstuk (52.01.51)</b>	m2	€ 0,51	950,555	€ 484,78
Zinkstuk van rijshout, waterdiepte 3m, projectgrootte 1000m2				
<b>Aanbrengen bestorting (52.11.01-c)</b>	ton	€ 23,10	1943,42	€ 44.892,97
450kg/m2, 70% onder water, projectgrootte 1000ton				
			<b>subtotaal</b>	<b>€ 57.459</b>
<b>Aantal golfbrekers</b>			<b>2</b>	<b>€ 114.919</b>

Kosten golfbreker met kern	Eenheid	Eenheidsprijs	Hoeveelheid	Totale kosten
geotextiel	m2	€ 0,65	693	€ 450,60
aanbrengen geotextiel	m2	€ 0,51	693	€ 353,55
aanbrengen stortsteen 50-150 mm	ton	€ 20,70	1050	€ 21.735,00
<b>Aanbrengen bestorting (52.11.01-c)</b>	ton	€ 23,10	893	€ 20.637,97
450kg/m2, 70% onder water, projectgrootte 1000ton				
			<b>subtotaal</b>	<b>€ 43.177</b>
<b>Aantal Golfbrekers</b>			<b>2</b>	<b>€ 86.354</b>