

Schoon en veilig zwemwater Bergumermeer

Verbetering van zwemwaterlocaties
in het Bergumermeer

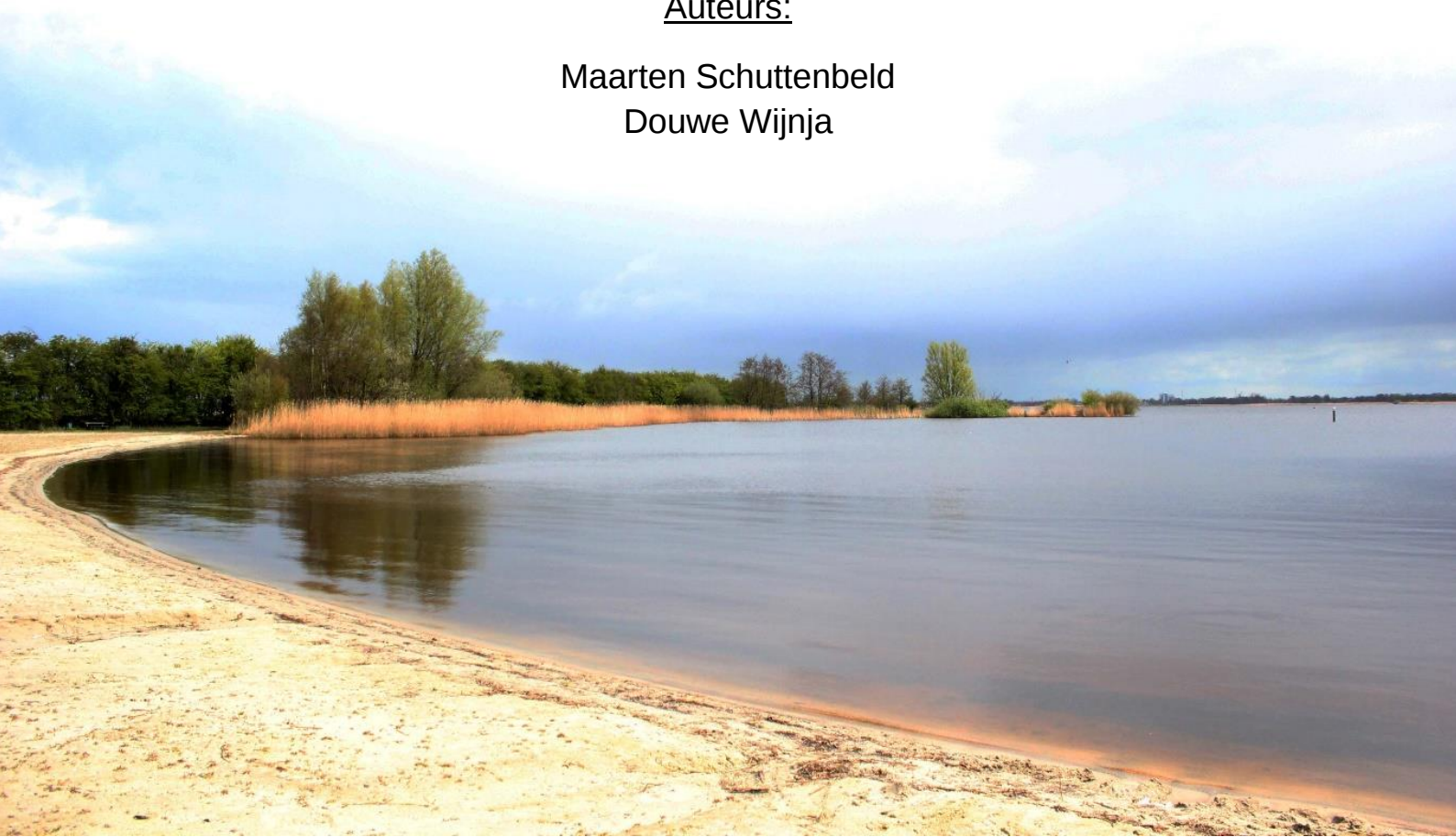


In opdracht van:

Hogeschool van Hall Larenstein
Wetterskip Fryslân

Auteurs:

Maarten Schuttenbeld
Douwe Wijnja



Schoon en veilig zwemwater Bergumermeer

Verbetering van zwemlocaties in het Bergumermeer

Datum: 31 augustus 2016

Opgesteld door: Maarten Schuttenbeld
Douwe Wijnja

Opdrachtgever:

Gemeente Tytsjerksteradiel
Raadhuisweg 7
9251 GH Burgum
14 0511



Betrokken partijen:

Wetterskip Fryslân
Begeleider: Dhr. J. Roelsma

François Haverschmidtwei 2
8914 BC Leeuwarden
M. jroelsma@wetterskipfryslan.nl
T. 0623370164



Hogeschool Van Hall Larenstein
Begeleider: Mevr. S. Eeman

Larensteinselaan
6882 CT Velp
M. sara.eeman@hvhl.nl
T. 026-3695594



Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'Schoon en veilig zwemwater Bergumermeer'. In deze scriptie wordt uiteengezet hoe de zwemlocaties in het Bergumermeer die niet voldoen aan de zwemwaterkwaliteit, verbeterd kunnen worden. Deze scriptie is geschreven in het kader van het afstuderen van Maarten Schuttenbeld en Douwe Wijnja aan de opleiding Land- en Watermanagement aan de Hogeschool Van Hall Larenstein en in opdracht van Wetterskip Fryslân. Van april 2016 tot september 2016 hebben wij aan dit afstudeeropdracht gewerkt.

In dit onderzoek konden wij de vele aspecten en de brede kennis toepassen die wij hebben opgedaan tijdens de opleiding Land- en Watermanagement. Daarnaast konden we voor vragen en ondersteuning aankloppen bij Sara Eeman die ons vanuit school heeft begeleid.

Ook willen we onze begeleider van Wetterskip Fryslân, Jan Roelsma, bedanken voor de begeleiding. Daarnaast zijn we Humphrey Paap erg dankbaar voor zijn hulp bij Sobek tijdens het onderzoek.

Als laatst willen wij Douwe's moeder Geke bedanken voor de tekstuele controle.

Wij wensen u veel leesplezier toe met dit onderzoek.

Maarten Schuttenbeld
Douwe Wijnja

Leeuwarden, 31 augustus 2016

Samenvatting

In het Bergumermeer bevinden zich drie officiële zwemlocaties die in het zwemseizoen gecontroleerd worden op de zwemwaterkwaliteit. De eerste zwemlocatie Blauwhoek voldoet aan de zwemwaterkwaliteit. Zwemlocatie Klein Zwitserland voldoet hier niet aan en krijgt daarom een negatief zwemadvies. Zwemlocatie Eastermar had een probleem met de zwemwaterkwaliteit, waarna hier maatregelen op getroffen zijn. Maar door deze maatregel wordt het strand weg geslagen door golfslag. Het doel van dit onderzoek is het verbeteren van deze zwemwaterlocaties, zodat deze weer voldoen aan de zwemwaterkwaliteit en het strand niet wordt weggeslagen. De hoofdvraag van dit onderzoek voor het verbeteren van de zwemlocaties is: Welke maatregelen kunnen het recreatief gebruik in het Bergumermeer verbeteren met betrekking tot de zwemwaterlocaties Eastermar en Klein Zwitserland.

Na de gebieds- en probleeminventarisatie is er een werksessie gehouden met de gemeente Tytsjerksteradiel met betrekking tot de zwemlocatie Eastermar. Met deze input zijn er vier alternatieven ontworpen die de problemen kunnen verhelpen. Na een Multi-Criteria Analyse is er een advies gegeven voor een voorziening van opgeklampte schotten waarbij de golven worden gebroken, zodat de golven energie verliezen en voor minder strandafslag zorgen, maar water wel vrij onder de voorziening door kan stromen.

Voor Klein Zwitserland ligt het probleem gecompliceerder. Uit eerder onderzoek, die uitgevoerd is door Grontmij, blijkt dat er geen éénduidige bron aan te wijzen is voor de fecale verontreiniging. Wel is de bron van humane afkomst, waardoor lozingen van scheepvaart, vervuiling van de recreanten, lokale overstorten en de RWZI van Bergum de bronnen zijn die overblijven (Kardinaal, 2015), (ir. E.A.J. van der Pouw Kraan, 2013). Daarom is er besloten om een onderzoek te doen naar de stroming met het software programma Sobek, zodat er symptoombestrijding kan worden toegepast.

Allereerst is het stromingsmodel opgezet met de huidige situatie. Vervolgens zijn er drie verschillende alternatieven in het model verwerkt, waarbij een verandering in de stroming ontstaat om te onderzoeken welk alternatief het beste resultaat zal leveren. Hierbij is het doel om de stilstand van water zo klein mogelijk te maken. Uit het onderzoek blijkt dat het verwijderen van de zuidelijke landtong de meeste stroming veroorzaakt. Daarom wordt geadviseerd om voor dit alternatief te kiezen. Punt van discussie hier is dat de landtong een als kade gebruikt wordt.

Het recreatief gebruik van de zwemwaterlocaties kan verbeterd worden door twee factoren: het strand beschermen tegen strandafslag en het water de mogelijkheid bieden om door te stromen. Hier moet een balans in gevonden worden en daarom wordt aanbevolen om het effect van het alternatief bij Eastermar in de praktijk te ondervinden, zodat deze maatregelen wellicht op andere locaties ook kan worden toegepast. Als de gemeente Tytsjerksteradiel dit project inschrijft voor een innovatieprogramma kan er bij goedkeuring subsidie worden verkregen om de voorziening te monitoren, zodat het bij een succesvolle werking ervan op andere zwemlocaties ook kan worden toegepast.

Inhoudsopgave

Voorwoord	4
Samenvatting	5
1 Inleiding	9
1.1 Kader	9
1.2 Probleembeschrijving	9
1.3 Hoofdvraag	10
1.4 Deelvragen	10
1.5 Doel	10
1.6 Werkwijze	10
1.7 Leeswijzer	10
1.8 Doelgroep	11
2 Theoretisch kader	12
2.1 Zwemwaterkwaliteit	12
2.2 Sobek	12
2.3 Multicriteria-Analyse (MCA)	12
2.4 Golven	13
2.5 Stroming en erosiesnelheid	13
2.6 Voorgaande studies	14
2.6.1 Onderzoeksrapport “Bronanalyse Burgumer Mar”	14
2.6.2 Bronopsporing fecale verontreiniging op zwemwaterlocatie Swimplak Eastermar	15
3 Methode	16
3.1 Ontwerp	16
3.1.1 Criteria	16
3.1.2 Golfkrachten en opstuwing	16
3.2 Multi-Criteria Analyse (MCA)	17
3.3 Stromingsmodel	18
3.4 Klein Zwitserland	19
3.5 Sobek-analyse	21
4 Gebiedsinventarisatie Bergumermeer	22
4.1 Beleid	23
4.1.1 Beleidsplan Toerisme en Recreatie	23
4.1.2 Kaderrichtlijn Water	23
4.1.3 Europese Zwemwaterrichtlijn	23

4.1.4	Dagrecreatieterrein Klein Zwitserland	24
4.1.5	Zwemlocaties.....	24
5	Blauwhoek	25
5.1	Knelpunten	25
5.2	Sobek	25
6	Eastermar	27
6.1	Eastermar Knelpunt	27
6.2	Alternatieven Eastermar.....	28
6.3	Criteria.....	28
6.4	Alternatief A	28
6.5	Alternatief B	29
6.6	Alternatief C	30
6.7	Alternatief D	30
6.8	Multi-Criteria Analyse (MCA).....	31
6.9	Effectentabel.....	31
7	Klein Zwitserland.....	34
7.1	Knelpunten	34
7.2	Huidige situatie Klein Zwitserland	35
7.3	Maatregel landtong Noord.....	36
7.4	Landtong zuid	39
7.5	Strekdam	41
8	Discussie	43
8.1	Discussie Eastermar	43
8.2	Discussie Klein Zwitserland	43
8.3	Einddiscussie.....	43
9	Conclusie en aanbevelingen	44
9.1	Conclusie en aanbevelingen Eastermar	44
9.2	Conclusie en aanbevelingen Klein Zwitserland	44
9.3	Eindconclusie.....	45
10	Bibliografie	46
	Bijlage 1 Uitwerking berekening golfkrachten	1
	Bijlage 2 KRW	3
	Het Bergumermeer	4
	Bijlage 3 Zwemwaterprofielen.....	7
	Blauwhoek	7
	Eastermar	10

Klein Zwitserland.....	12
Bijlage 4 Tekening Betonnen Drijvers.....	14
Bijlage 5 Tekening Schanskorven.....	16
Bijlage 6 Tekening Damwand	18
Bijlage 7 Tekening Geklampte Schotten.....	20
Bijlage 8 Kostenramingen alternatieven.....	22
Bijlage 9 Reflectie Douwe Wijnja	23
Bijlage 10 Reflectie Maarten Schuttenbeld	24

1 Inleiding

Naar aanleiding van de problemen die zich voordoen in het Bergumermeer, is vanuit de gemeente Tytsjerksteradiel de vraag aan Wetterskip Fryslân gesteld om tot een oplossing te komen. In dit hoofdstuk staat beschreven: het kader, probleembeschrijving, hoofd- en deelvragen, doel, werkwijze, leeswijzer en doelgroep.

1.1 Kader

Het Bergumermeer, waar veel watersport wordt beoefend, is ten oosten gelegen van Leeuwarden. In en rondom het meer bevinden zich verschillende jachthavens met plezierboten. Verder bevinden er zich drie officiële zwemwateren, die op de zwemwaterkwaliteit worden getest: Blauwhoek, Eastermar en Klein Zwitserland. Bij deze officiële locaties moet de zwemwaterkwaliteit minimaal aanvaardbaar zijn op een schaal van: slecht, aanvaardbaar, goed en uitstekend. Dit is echter op de locatie Klein Zwitserland niet het geval, met als gevolg dat er een negatief zwemadvies geldt. Bij Eastermar speelt er een probleem met strandafslag en waterkwaliteit. De genomen maatregelen ter bevordering van de waterkwaliteit hebben als gevolg dat het strand wordt weggeslagen door golfslag. De gemeente Tytsjerksteradiel heeft Wetterskip Fryslân gevraagd om voor beide problemen te onderzoeken hoe deze opgelost kunnen worden.

1.2 Probleembeschrijving

Er spelen twee problemen in het Bergumermeer die betrekking hebben op de zwemlocaties Eastermar en Klein Zwitserland.

Bij de locatie Eastermar is het probleem van afkalving van het strand in een eerder stadium aangepakt door het slaan van palenrijen, zodat het strand beschermd was tegen golfslag. Het probleem dat in de zomer volgde, was dat de waterkwaliteit slecht werd doordat er te weinig doorstroming plaats vond. Om de doorstroming te bevorderen is vervolgens een van de palenrijen verwijderd, waardoor de waterkwaliteit aanvaardbaar was. Door het ontbreken van een van de palenrijen was er echter wederom sprake van strandafslag door golfslag in voornamelijk het winterseizoen, (afbeelding 1). Hiervoor moet een geschikte oplossing ontworpen worden, die in het winterseizoen de strandafslag tegengaat en in het zomerseizoen voor een doorstroming zorgt waardoor de waterkwaliteit niet verslechtert.



Afbeelding 1 Eastermar na onderhoud(links), Eastermar na winterseizoen(rechts)

Bij zwemlocatie Klein Zwitserland speelt een ander probleem. Elk jaar wordt zwemwater gecontroleerd op de poepbacterie E. Coli bacterie, waarna het een kwaliteitsklasse krijgt: slecht, aanvaardbaar, goed of uitstekend. Het gemiddelde van de vier voorgaande jaren bepaalt de klasse van het zwemwater voor het komende jaar. Deze locatie valt dit jaar (2016) in de kwaliteitsklasse 'slecht', wat dus betekent dat er een bord met 'negatief zwemadvies' staat bij deze locatie. Dit heeft tot gevolg dat het recreatief gebruik van de locatie Klein Zwitserland als zwemlocatie niet in trek is en dat de uitbater van het vakantiepark hierdoor economisch nadelige effecten ondervindt. Doormiddel van een DNA-analyse is vastgesteld dat de fecale verontreiniging van humane afkomst is. Mogelijke bronnen zijn de RWZI (rioolwaterzuiveringsinstallatie) die een aantal honderd meters stroomopwaarts het kanaal zit, lozingen van de scheepvaart, recreanten op het strand en lokale overstorten.

1.3 Hoofdvraag

Om dit onderzoek goed af te bakenen wordt de volgende hoofdvraag opgesteld:

- Welke maatregelen kunnen het recreatief gebruik in het Bergumermeer verbeteren met betrekking tot de zwemwaterlocaties Eastermar en Klein Zwitserland?

1.4 Deelvragen

Om deze hoofdvraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- Hoe zit het systeem 'Bergumermeer' in elkaar?
- Wat zijn de knelpunten in het Bergumermeer met betrekking tot zwemlocaties?
- Wat zijn mogelijke maatregelen?

1.5 Doel

Het doel van dit onderzoek is het onderzoeken van mogelijke oplossingen om de problemen in het Bergumermeer te verhelpen. Uit deze mogelijke oplossingen dient voor beide problemen een geschikte maatregel te komen. Deze geschikte maatregelen worden als een advies gegeven aan de gemeente Tytsjerksteradiel en Wetterskip Fryslân. Voor Eastermar zal dit in de vorm van een ontwerptekening zijn. Het advies en de beste maatregel voor Klein Zwitserland vloeit voort uit de resultaten van het stromingsonderzoek.

1.6 Werkwijze

Om tot een eindconclusie te komen voor de problemen in het Bergumermeer, wordt er in drie fases gewerkt: fase A, B en C. Fase A is de inventarisatie van het Bergumermeer, fase B bestaat uit het onderzoeken van de maatregelen voor Eastermar en Klein Zwitserland en fase C is de eindconclusie met onderbouwingen en uitwerkingen van de uiteindelijke oplossingen. In fase A zullen de data met name vergaard worden door bureauonderzoek, en daarnaast door veldbezoek. In fase B worden de mogelijke oplossingen om de strandafkalving bij de locatie Eastermar tegen te gaan uitgewerkt en worden mogelijke oplossingen voor het verbeteren van de zwemkwaliteit bij de locatie Klein Zwitserland onderzocht. Fase C van het project wordt de afrondingsfase. In deze fase worden conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

1.7 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de theorie geïntroduceerd die als basis is gebruikt voor het onderzoek. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 behandeld hoe we het onderzoek uitgevoerd hebben en welke methoden we gebruikt hebben. Hoofdstuk 4 behandelt de gebiedsinventarisatie, waarna in

hoofdstuk 5 de eerste zwemlocatie wordt besproken: Blauwhoek. Hierna volgt in hoofdstuk 6 Eastermar, waarin ook de alternatieven en Multi-criteria analyse aanbod komt. In hoofdstuk 7 wordt de zwemlocatie Klein Zwitserland besproken met daarin het onderzoek met Sobek, de resultaten daarvan en de maatregelen. Daarna worden in hoofdstuk 8 de discussie punten behandeld en zijn in hoofdstuk 9 de conclusies getrokken.

1.8 Doelgroep

Dit rapport is geschreven door studenten van Hogeschool Van Hall Larenstein in opdracht van Wetterskip Fryslân. Het is bestemd voor de gemeente Tytsjerksteradiel, Wetterskip Fryslân en docenten van Hogeschool Van Hall Larenstein. Daarnaast kan het voor medestudenten van de opleiding Land- en Watermanagement een interessant rapport zijn.

2 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk wordt de theorie beschreven die als basis wordt gebruikt voor het onderzoek. Tevens worden voorgaande onderzoeken over de zwemlocaties hier samengevat en besproken.

2.1 Zwemwaterkwaliteit

Officiële zwemwateren kunnen ingedeeld worden in vier verschillende klassen: slecht, aanvaardbaar, goed en uitstekend, volgens de bepalingen uit de Zwemwaterrichtlijn van de Europese Unie. In het zwemseizoen (van 1 mei tot 1 oktober) worden tweewekelijks de zwemwaterlocaties bemonsterd. De waardes die bepalen in welke klasse de locatie wordt ingedeeld gaan over metingen van de vier voorgaande badseizoenen. De indicatorparameters voor de zwemwaterkwaliteit zijn de bacteriën E. coli en intestinale enterococci.

2.2 Sobek

Sobek is een softwarepakket, waarmee complexe stromen en verlopen van waterbeweging gesimuleerd kunnen worden. Dit maakt het een geschikt programma voor het onderzoek bij Klein Zwitserland, omdat er veranderingen in kunnen worden aangebracht en hiermee geanalyseerd kan worden wat de invloed van een maatregel zal zijn. Wetterskip Fryslân heeft op dit moment beschikking tot een 1D-model van het Bergumermeer(slechts aan- en afvoer van het meer). Deze is omgezet naar een 2D model, zodat de stroming binnen het meer ook in kaart is gebracht.

2.3 Multicriteria-Analyse (MCA)

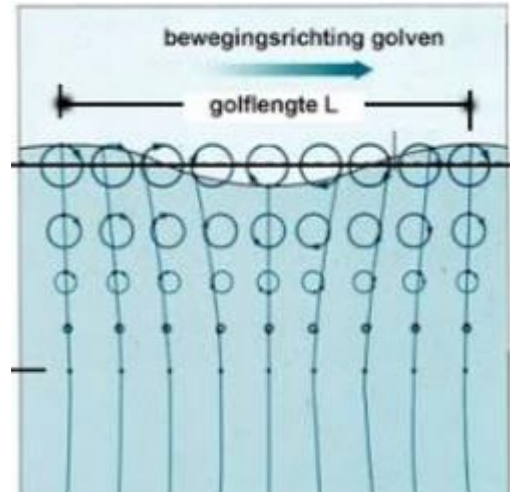
De Multicriteria-Analyse is een methode waarmee diverse alternatieven afgewogen kunnen worden op rationele wijze, waarbij meer dan één criterium mee wordt genomen. Waar een maatschappelijke kosten-batenanalyse slechts in monetaire eenheden kan worden uitgedrukt, kan een MCA-criterium ook in punten of scores worden uitgedrukt, zodat zaken die niet in geld uit te drukken zijn (bijvoorbeeld, sociale- of duurzaamheidscriteria) mee gerekend kunnen worden.

Er bestaan meerdere MCA-modellen die elk hun voor- en nadelen hebben, waardoor het van belang is om per project na te gaan welke model het best passend is. Voor dit onderzoek is gekozen voor een 'Gewogen Somming', omdat deze methode relatief simpel is en toch een betrouwbaar middel is bij het maken van een rationele keuze. (Reinshagen, 2007)

2.4 Golven

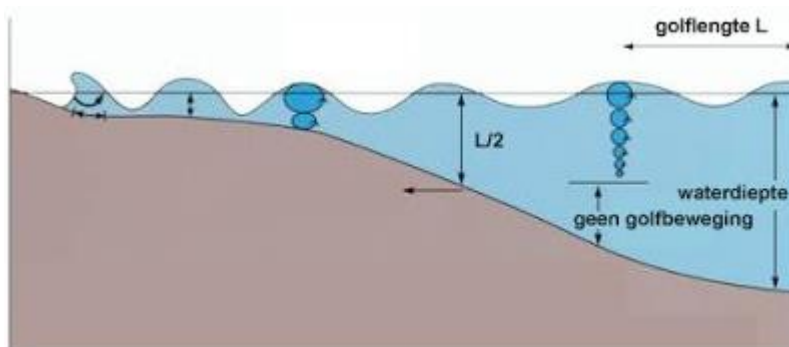
De definitie van een golf is 'een verstoring in een medium(bijvoorbeeld water) waarin deze voortbeweegt en haar energie verspreidt, zonder daarbij de deeltjes van het medium effectief te verplaatsen (Zee, 2016). Golven worden veroorzaakt als gevolg van de wind of schepen. In de waterbouw zijn de windgolven maatgevend.

In afbeelding 2 is de situatie weergegeven die momenteel speelt bij Eastermar: windgolven komen van het meer richting het strand. Het water verplaatst zich echter niet of nauwelijks. De waterdeeltjes maken een orbitale beweging, waardoor deze op de zelfde plaats blijft, mits er geen stroming is. De waterdeeltjes zullen zich alleen verplaatsen als de golf breekt. Het water richting strand wordt steeds ondieper, waardoor de bodem meer grip op de golf krijgt. Als gevolg hier van breekt de golf op het strand en wordt er bij elke golf een beetje zand weg gespoeld.



Afbeelding 2 Noël Hoste

Er geldt dus: geen waterverplaatsing, wel golfverplaatsing. Dit is weergegeven in afbeelding 3. Daarnaast geldt dat de straal van de baan van een waterdeel gehalveerd is bij een diepte van $\frac{1}{9}$ golflengte en bij een $\frac{1}{2}$ golflengte verwaarloosbaar is.



Afbeelding 3 Bron: Noël Hoste

De voorziening die de strandafslag moet voorkomen bij Eastermar, zal de golfkrachten op moeten kunnen nemen. De maatgevende golf in het Bergumermeer komt van windgolven. Deze golven en krachten zullen berekend worden volgens het boek 'Toegepaste vloeistofmechanica' van I.W. Nortier.

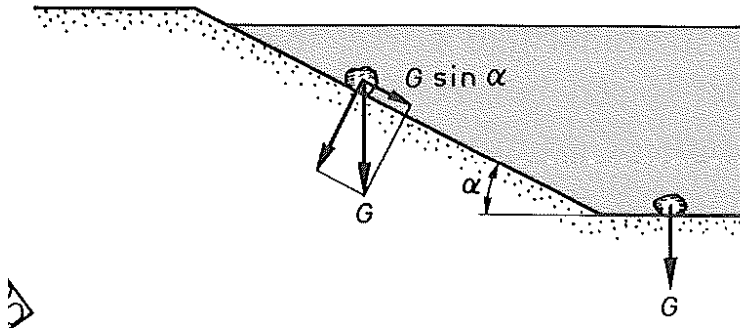
2.5 Stroming en erosiesnelheid

Stroming is de verplaatsing van een grote hoeveelheid binnen een waterlichaam. Stroming binnen een waterlichaam ontstaat doordat er ergens een verschil in waterhoogte is. De stroming in het Bergumermeer ontstaat door de aan- en afvoer van water door het kanaal en de Lits/Kûkherstervaart.

Het water binnen het Bergumermeer verplaatst zich met een bepaalde snelheid. Bij een bepaalde snelheid kan het water materiaal meenemen van de bodem: in dit geval zand van het strand. Dit wordt uitschuring genoemd en is afhankelijk van een aantal factoren:

- Korrelgrootte van het bodemmateriaal(d_{50})
- Waterdiepte (hydraulische straal)
- Turbulentie
- Taludhelling(t)
- Cohesie
- De snelheidsgradiënt

De snelheid waarbij een korrel wordt meegevoerd kan berekend worden met de formule: $v_{et} = t * a * C_k \sqrt{d_{50}}$, waarbij $t = \sqrt[4]{1 - (\sin^2 \alpha) / (\sin^2 \phi)}$ (Afbeelding 4).



Afbeelding 4 Weergave principe

2.6 Voorgaande studies

De problematische zwemwaterkwaliteit speelt al langer in het Bergumermeer. Er zijn al meerdere onderzoeken gedaan naar de bron van de fecale verontreiniging. Deze onderzoeken zijn belangrijk voor dit onderzoek, omdat nu bekend is dat de verontreiniging niet naar één bron terug is te leiden.

2.6.1 Onderzoeksrapport “Bronanalyse Burgumer Mar”

Naar aanleiding van de onderzoeksresultaten uit het onderzoeksrapport “OAS Burgum ‘Nieuwe Stijl’” van Royal Haskoning heeft Wetterskip Fryslân Grontmij in 2013 opdracht gegeven om een onderzoek te doen naar de fecale verontreinigingen op de zwemlocaties Klein Zwitserland en Eastermar. In dit onderzoek zijn alle mogelijke bronnen van de fecale verontreiniging geïnventariseerd.

De conclusie uit het rapport is dat het weer invloed lijkt te hebben op de microbiologische waterkwaliteit. Hevige regenbuien en hoge temperaturen met lange zonneschijnduur lijken in vloed te hebben op de hoge waarden van de E. Coli en intestinale enterococcen. Daarnaast is er bij aanlandige wind de kans dat het water blijft hangen op de desbetreffende locatie. Een waterdicht resultaat is dit niet, want de bovengenoemde weersbeelden leiden niet altijd tot de verhoogde waarden van de E. Coli en intestinale enterococcen.

Conclusies en aanbevelingen uit het rapport

Binnen de 24-uurs contour liggen de kernen van Bergum en Oostermeer. De potentiële bronnen (afbeelding 5) van de verontreiniging zijn de overstorten, recreatievaart, RWZI en veeteelt. De overstorten, RWZI, bezoekers van de zwemlocatie en recreatievaar zijn de grootste bronnen. Aanbevelingen die gedaan worden in het rapport zijn:

- DNA-analyse;
- Onderzoek naar overstort volumes en frequenties;

- Tijdens een evenement metingen verrichten;
- Controle naleving lozingsverbod vuilwater en voorlichting.

(ir. E.A.J. van der Pouw Kraan, 2013)

Soort bron	Geen bron	Bijdrage bron "nihil". Verder onderzoek niet nodig	Bijdrage bron "aanwezig", onderzoek gewenst
Honden	x		
Vogels	x		
Bezoekers			x
Agrarisch achterland		x	
Afspoeling fecale bacteriën		x	
RWZI Burgum			x
Beroeps- en recreatievaart			x
Jachthavens	x	x	
Overstorten Burgum			x
Overige overstorten		x	

Afbeelding 5 Potentiële bronnen

2.6.2 Bronopsporing fecale verontreiniging op zwemwaterlocatie Swimplak Eastermar

In 2015, tussen mei en september, is op de zwemlocatie Eastermar onderzoek gedaan naar de herkomst van de fecale verontreiniging. Met behulp van DNA-technieken zijn de potentiële bronnen humaan, herkauwers, honden en vogels onderzocht, waaruit blijkt dat de DNA afkomstig is van humaan en honden. DNA van herkauwers en vogels is niet gevonden.

Deze uitkomst is enigszins onverwacht, want de gemeente Tytsjerksteradiel heeft als maatregel tegen de fecale verontreiniging de steigerplanken verwijderd, zodat vogels daar niet meer kunnen zitten.

(Kardinaal, Bronopsoring fecale verontreiniging op zwemwaterlocatie Swimplak Eastermar, met behulp van DNA technieken, 2015)

3 Methode

Om tot een onderbouwde conclusie te komen zijn verschillende methodes van modellen en programma's gebruikt. In dit hoofdstuk komt de werking van deze modellen en programma's aan de orde en wordt uiteengezet welke gegevens nodig zijn om tot een gedegen conclusie te komen.

3.1 Ontwerp

Om tot een goed ontwerp te komen voor de alternatieven bij Eastermar worden verschillende methodes gebruikt. Uitgangspunten zijn de hieronder omschreven criteria, afkomstig van de gemeente Tytsjerksteradiel. Het ontwerp dient aan deze eisen te voldoen om te worden gerealiseerd. Tegelijkertijd dient het ontwerp/te worden getoetst op golfkrachten, opstuwing en doorstroom.

3.1.1 Criteria

De criteria op basis waarvan de alternatieven worden ontworpen en getoetst zijn afkomstig van de opdrachtgever, de gemeente Tytsjerksteradiel. De criteria zijn als volgt:

Criteria	Toelichting
<i>Functionaliteit</i>	<i>Functionaliteit is het belangrijkste criterium waar de 3 alternatieven op worden beoordeeld. Het uiteindelijke ontwerp moet voldoen aan de criteria en het probleem verhelpen.</i>
<i>Kosten</i>	<i>Bij het aandragen van oplossingen dient het kostenaspect nauwlettend in de gaten te worden gehouden, omdat het hier om gemeenschapsgeld gaat. Doel is de kosten zo laag mogelijk te houden.</i>
<i>Onderhoudsarm</i>	<i>Hoe makkelijker de voorziening te onderhouden is, hoe hoger de score is.</i>
<i>Milieu/duurzaamheid</i>	<i>De maatregelen mogen geen afbraak doen aan de natuur en niet vervuilend zijn. De maatregel moet worden gerealiseerd met materialen die een lange levensduur in het water hebben.</i>
<i>Gebruiksvriendelijkheid</i>	<i>De gebruiksvriendelijkheid is voornamelijk van belang bij Eastermar. Als elk jaar de voorziening geplaatst en verwijderd moet worden is de handzaamheid van belang.</i>
<i>Esthetica</i>	<i>De voorziening moet opvallen in de zin dat het de afbakening van de zwemlocatie is, maar wegvallen in zijn functionaliteit, oftewel, het moet geen doorn in het oog worden.</i>

3.1.2 Golfkrachten en opstuwing

De alternatieven moeten voldoen aan een bepaalde sterkte om de golfkrachten te kunnen weerstaan in het Bergumermeer. Daarnaast dient er rekening mee te worden gehouden met een veranderend waterpeil en opstuwing door wind. Bij de constructie van het Eastermar is een vereiste dat er stroming onder moet gaan om het water bij de zwemlocatie te blijven verversen.

Golfkrachten

Het is belangrijk om te weten of de te realiseren constructie bestendig is tegen de golfkrachten die op de constructie komen. De golven in het meer zijn windgolven. Uitgangspunt bij het ontwerp is een zeer zware storm met windsnelheden van 30m/s, waarbij de kracht op de constructie zeer groot is.

Om tot een uiteindelijke “sterkste” golfkracht te komen zijn er vier basisgegevens nodig. Dit zijn diepte, strijklengte, golfhoogte en golflengte. De diepte en strijklengte zijn de “basisgegevens” van het meer. De gemiddelde diepte van het meer is 2 meter en de maximale strijklengte die mogelijk is in het meer is 1000 meter. Met deze twee gegevens kan er in de grafiek, bijlage 5, zeer zware storm (Nortier & De Koning, 1996) afgelezen worden wat de maximale golfhoogte en –lengte is bij een zeer zware storm. De gebruikte berekeningen zijn afkomstig uit het boek Toegepaste vloeistofmechanica (Nortier & De Koning, 1996). De formules die gebruikt worden zijn weergegeven in bijlage 1. De volledige berekening van de maximale golfkracht staat in bijlage 1. De maximale golfkracht die op de constructie komt is 24.98 kN/m².

Variërend waterpeil

In de Friese boezem wordt een streefpeil gehanteerd (-0.52 NAP). Het werkelijke peil kan soms hoger of lager komen te liggen. Door stevige wind kan er binnen een meer verschil in waterstand ontstaan. Doordat het water aan loefzijde wordt afgeblazen richting lijzijde vindt opstuwing plaats. Met deze opstuwing dient rekening te worden gehouden bij ontwerp van de golfbreker, zodat zeker is dat de golven er niet overheen gaan.

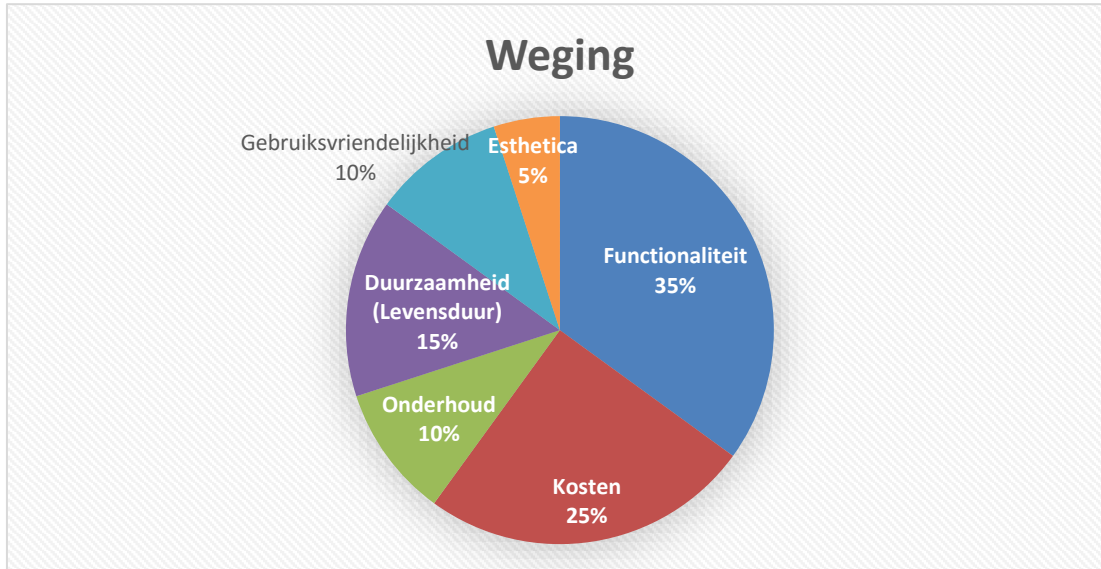
3.2 Multi-Criteria Analyse (MCA)

In deze paragraaf komt aan bod op welke wijze de alternatieven worden beoordeeld op de criteria. Eerst wordt de effectentabel opgezet, waarbij de criteria eenheden krijgen toegewezen en de alternatieven worden beoordeeld. Dit gebeurt in een range van €, -/++, nominaal. Vervolgens worden de criteria gestandaardiseerd op een nieuwe schaal tussen 0 en 1, de ‘maximum gestandaardiseerde effectentabel’. Bij de kostencriteria (nominale criteria) zal het aspect met de hoogste score de hoogste waarde krijgen. Bij ordinale criteria is de standaardisatie als volgt:

- -- → 0.00
- - → 0.25
- 0 → 0.50
- + → 0.75
- ++ → 1.00

Vervolgens worden de criteria op basis van de eisen en wensen van de opdrachtgever gewogen. De weging, bepaald door gemeente Tytsjerksteradiel, is van belang om te voorkomen dat er niet op emotie wordt gekozen, maar op ratio. Bepaalde criteria wegen zwaarder mee in de eindbeoordeling dan relatief onbelangrijke criteria. In diagram 1 is de weging van de criteria weergegeven.

Diagram 1 Weging



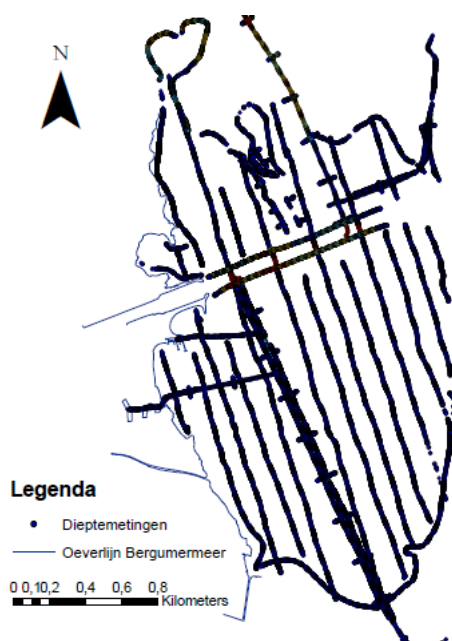
3.3 Stromingsmodel

Het onderzoek is uitgevoerd door een gemengde aanpak, omdat de twee locaties verschillen in omvang en probleem. Het deelonderzoek naar de verbetering van de locatie bij Eastermar omvat een theoretisch onderzoek naar verschillende maatregelen die het probleem kunnen verhelpen. De analyse bij Klein Zwitserland wordt gedaan met software 'Sobek' en 'ArcGIS' bestaat uit een onderzoek naar de stromingspatronen en de wijze waarop het water reageert op de verschillende maatregelen.

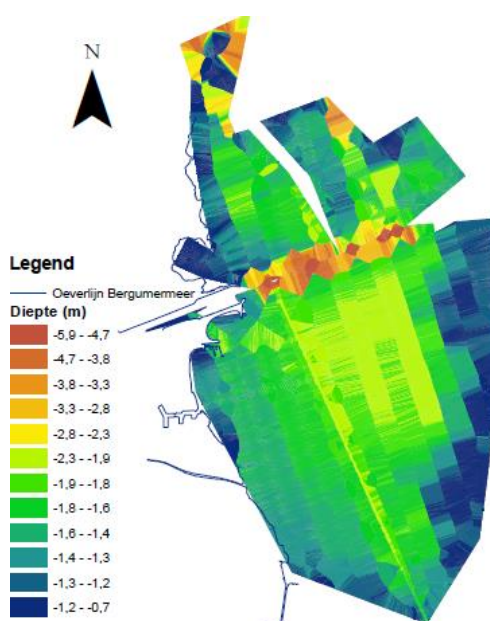
3.4 Klein Zwitserland

ArcGIS is een software programma, waar onder andere analyses mee uitgevoerd worden en kaarten worden gegenereerd. Sobek is een software programma van Deltares waarmee modelleringen en voorspellingen gedaan kunnen worden over hoe het water zich verplaatst in het meer en hoe het reageert op de maatregelen. Dit maakt Sobek een geschikt programma voor dit onderzoek.

De meetpunten met de dieptes van het meer zijn verstrekt door de afdeling 'Gegevensbeheer', waarna deze zijn verwerkt in ArcGIS. In afbeelding 6 zijn de meetpunten weergegeven. Deze meetpunten zijn in afbeelding 7 omgezet naar Thiessen-polygonen(TIN-model), zodat de gehele bodemdiepte van het meer in beeld is gebracht. De dieptes van het meer zijn van belang, omdat aan de hand daarvan de volumes van het meer worden bepaald die nodig zijn als input voor het Sobek-model.

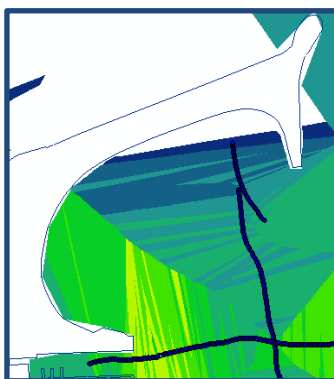


Afbeelding 6 Meetpunten

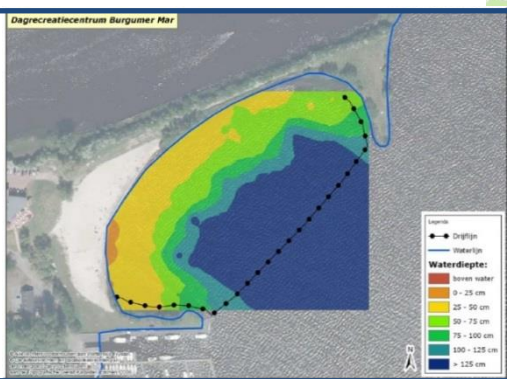


Afbeelding 7 Thiessenpolygoon

De meetpunten uit afbeelding 8 zijn verkregen door raaien, een peilmethode. Dit betekent dat om de 250 meter een strook wordt opgemeten. Voor de bodem midden in het meer is dit een redelijk nauwkeurige manier, omdat daar minder verschillen in dieptes zijn. Voor de zwemlocatie is de nauwkeurigheid niet goed, omdat het schip waarmee de metingen worden verricht maar bij een klein deel van de locatie is geweest en niet bij de wal kan komen (afbeelding 8). Daarom zijn deze dieptes handmatig aangepast aan de hand van de dieptes uit het zwemwaterprofiel van Klein Zwitserland (afbeelding 9).

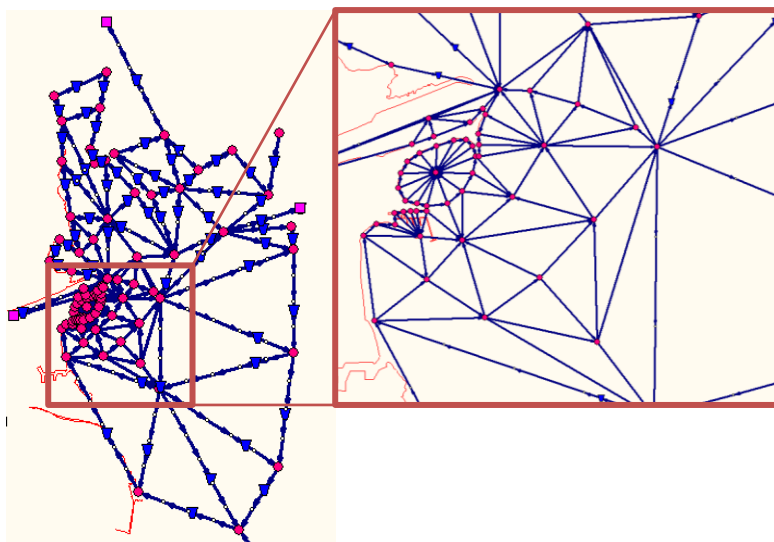


Afbeelding 8 Meetpunten



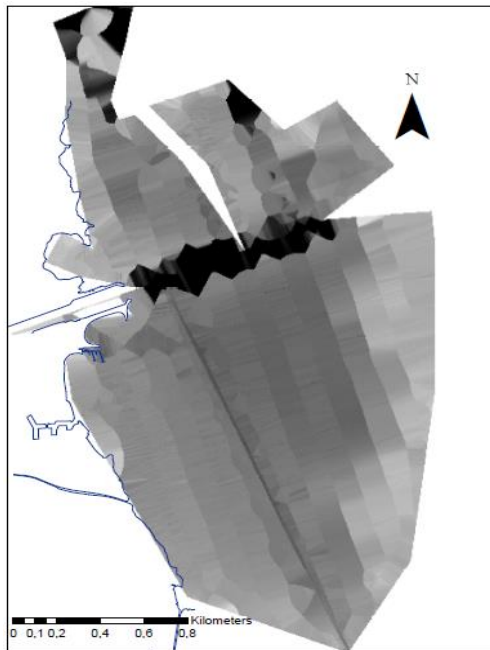
Afbeelding 9 Diepte meting

In afbeelding 10 is de schematische weergave waarmee straks gerekend mee zal worden. Deze schematisatie wordt vanuit Sobek geëxporteerd naar ArcGIS, zodat de schematisatie van Sobek gekoppeld kan worden aan de dieptes en oppervlaktes uit Arcgis.

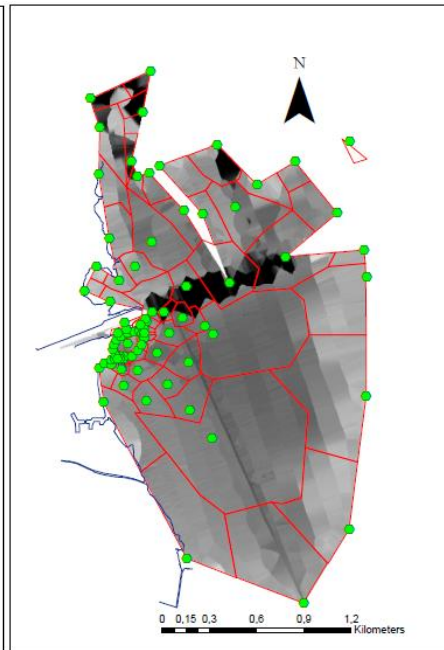


Afbeelding 10 Schematische weergave Sobek

In afbeelding 11 is de kaart met de Thiessenpolygonen uit afbeelding 7 omgezet in een rasterkaart, omdat ArcGIS niet de mogelijkheid heeft om met de Thiessenpolygonen te rekenen. Vervolgens is de schematisatie uit Sobek ingeladen in ArcGIS, (afbeelding 10). De rode lijnen stellen het gebied voor dat bij de groene punten(knopen) hoort. Aan de hand van afbeelding 12 zijn nu de volumes per knoop bepaald die als input worden gebruikt bij de berekening.



Afbeelding 11 Rasterkaart



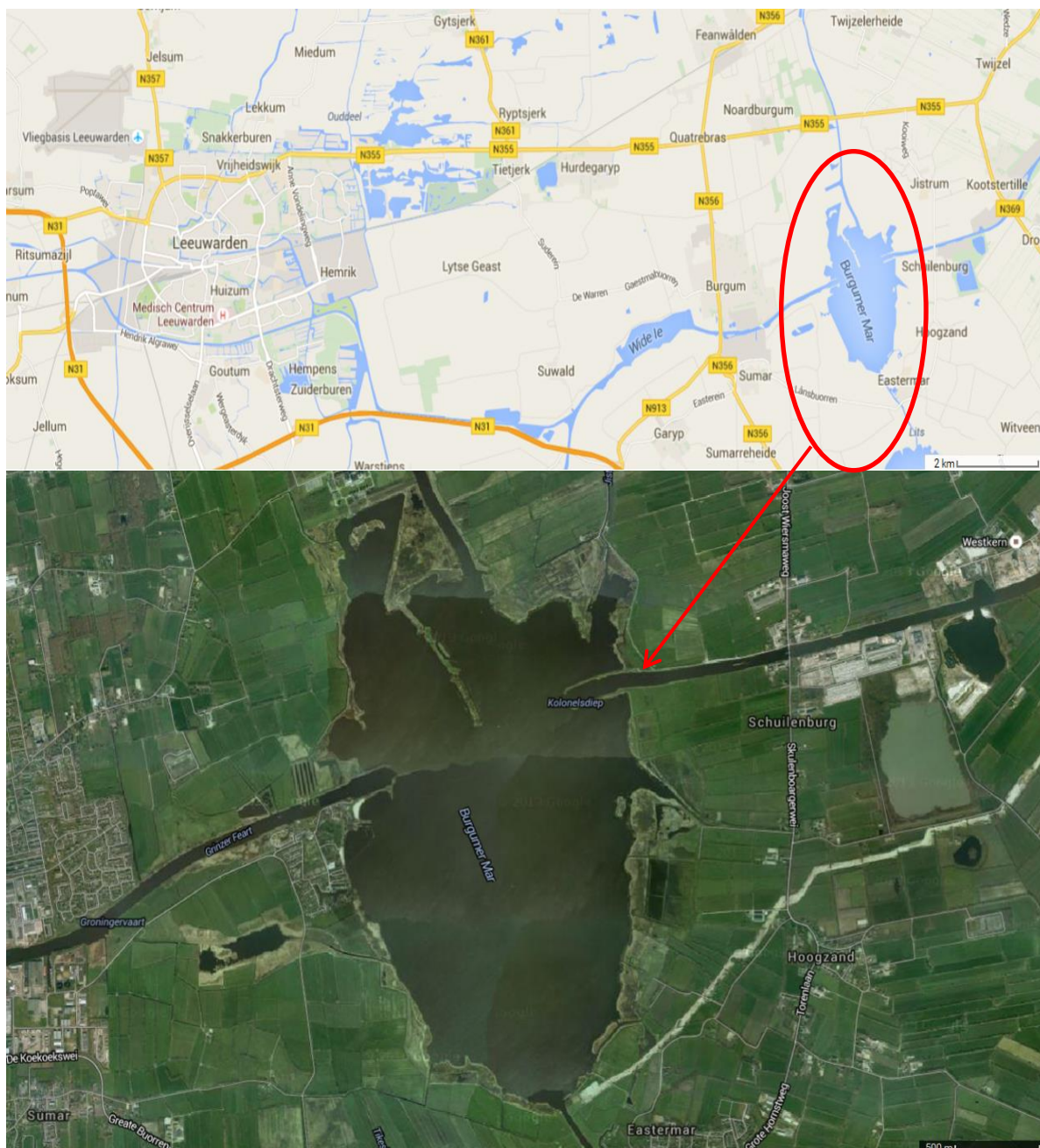
Afbeelding 12 Volumes per knoop

3.5 Sobek-analyse

De resultaten van Sobek worden als volgt geanalyseerd. In Sobek wordt gesimuleerd welke stroomsnelheid(m/s) aanwezig is onder invloed van de windsnelheid en –richting. Vervolgens wordt er drie keer gesimuleerd om te meten welke invloed de toegepaste maatregelen op het stromingspatroon en –snelheid hebben. Elke maatregel wordt apart gesimuleerd, één keer bij het verwijderen van de zuidelijke landtong, één keer bij het verwijderen van de noordelijke landtong en één keer bij het creëren van een doorgang in de strekdam van het Prinses Margrietkanaal. De data van de huidige situatie worden vergeleken met de data van de toegepaste maatregelen. Tenslotte wordt geconcludeerd of de toegepaste maatregel een zodanige invloed heeft op de stroomsnelheid in Klein Zwitserland dat er geen verontreinigingen meer voorkomen.

4 Gebiedsinventarisatie Bergumermeer

Het Bergumermeer (afbeelding 13) bevindt zich in het beheergebied van Wetterskip Fryslân en ligt ten oosten van Leeuwarden. Het is een oud meer dat ontstaan is in het voorlaatste glaciaal (Saalien). Het is vanuit het zuiden gezien het laatste grote meer van Friesland, heeft een oppervlakte van 360 hectare en een gemiddelde diepte van 2 meter. Het meer wordt voornamelijk voor beroeps- en recreatievaart gebruikt en is onderdeel van de Friese boezem. Het Prinses Margrietkanaal doorkruist het Bergumermeer en is voor de beroepsvaart een belangrijke route.



Afbeelding 13 Projectgebied (Google Maps)

Het meer heeft daarnaast een functie voor de industrie. Ten noorden van het meer ligt De Energiecentrale Bergum, die alleen wordt ingezet bij een tekort aan vermogen bij piekvraag. De centrale haalt haar koelwater uit het Bergumermeer.

Naast het Prinses Margrietkanaal als belangrijke handelsroute zijn er de Lits die vanuit het zuiden aansluit op het meer en de vanuit het noorden komende Kûkherster Feart, die voor de recreatievaart belangrijk zijn.

Ook bevinden zich rondom het meer meerdere jachthavens. Daarnaast is in Bergum een iconische zeilboot ontworpen, gebouwd en genoemd naar het Bergumermeer (Bergum): de BM'er, wat nu de grootste klasse is van het Koninklijk Nederlands Watersportverbond is.



Afbeelding 14 De BM'er. Bron: (Aant Wiede)

4.1 Beleid

In het projectgebied gelden een aantal beleidsplannen die voor het project van toepassing zijn. Dit zijn de beleidsstukken 'Toerisme en Recreatie' van Gemeente Tytsjerksteradiel en Kaderrichtlijn Water en de Zwemwaterrichtlijn van de Europese Unie.

4.1.1 Beleidsplan Toerisme en Recreatie

In dit beleidsplan heeft de gemeente haar wensen en ambities beschreven op het gebied van toerisme en recreatie.

Het beleid van de gemeente houdt in dat er ruimte wordt geboden aan nieuwe toeristische en recreatieve faciliteiten die zich onderscheiden van het bestaande aanbod en voldoen aan de kernkwaliteiten landschap, cultuur, water, natuur en ondernemerschap. Daarnaast is het wenselijk dat bestaande voorzieningen een kwaliteitsverbetering ondergaan en worden aangepast op trends en de toerist van morgen. Het toerisme mag dus groeien, maar dit moet wel beheerst gaan (Gemeente Tytsjerksteradiel, 2007).

4.1.2 Kaderrichtlijn Water

De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een Europese richtlijn die ervoor zorgt dat alle landen in de Europese Unie naar de zelfde doelen werken, een kader hebben om in te werken en de aquatische ecosystemen beschermen en verbeteren. Het gaat hier om doelen die voor een goede ecologische en chemische toestand zorgen in alle wateren. Met name Nederland heeft een groot belang bij schoon water in andere landen, omdat het water uit Europa via Nederland wordt afgevoerd naar zee. Alle vervuiling die andere landen in het zelfde stroomgebied veroorzaken, komen Nederland in en kunnen de hier genomen maatregelen te niet doen.

Ook het Bergumermeer behoort tot de wateren waar de KRW geldt. De KRW is onderverdeeld in categorieën, typen en namen. In bijlage 2 wordt beschreven onder welke categorie het Bergumermeer valt en welke eigenschappen bij deze categorie horen.

4.1.3 Europese Zwemwaterrichtlijn

In 2006 is er een nieuwe richtlijn van kracht geworden met betrekking tot zwemwater: de Europese Zwemwaterrichtlijn. Deze richtlijn is opgesteld om zwemwateren te behouden en de gezondheid van de mens te beschermen. Om een goede beeldvorming te krijgen van invloeden op de zwemwateren zijn er per zwemwaterlocatie zwemwaterprofielen opgesteld met daarin de factoren die negatief uitwerken op de zwemwaterkwaliteit. Daarnaast staan de

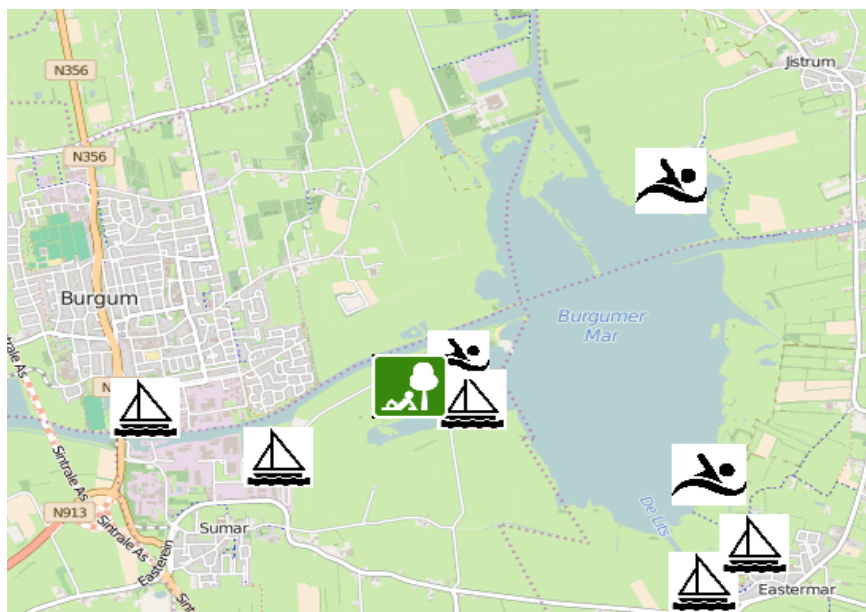
fysische, geografische en hydrologische kenmerken van het zwemwater beschreven in het profiel. In de Zwemwaterrichtlijn staat beschreven dat in 2015 alle zwemwateren minstens in de kwaliteitsklasse 'aanvaardbaar' moesten zitten.

4.1.4 Dagrecreatieterrein Klein Zwitserland

Klein Zwitserland is een recreatieterrein ten westen van het meer. Hier worden onder andere bootjes, ligplaatsen en huisjes verhuurd, er kunnen diverse recreatie(water)sporten worden beoefend en er is een restaurant. Tevens bevindt zich hier een officiële zwemwaterlocatie: Klein Zwitserland.

4.1.5 Zwemlocaties

Er bevinden zich drie officiële zwemlocaties rondom het meer en één onofficiële locatie bij Klein Zwitserland. Deze locaties, op de onofficiële na, zijn van de gemeente en zijn vrij toegankelijk. De drie officiële locaties zijn: Eastermar, Blauwhoek en Klein Zwitserland. Vooral Klein Zwitserland is een druk bezocht strand met op drukke dagen wel zo'n 250 bezoekers. Het onofficiële strand is van Klein Zwitserland zelf en wordt daarom niet gecontroleerd. In afbeelding 15 is een overzichtskaart weergegeven van de recreatieve mogelijkheden in en rondom het Bergumermeer.



Afbeelding 15 Overzichtskaart recreatie

5 Blauwhoek

Het strand Blauwhoek is sinds 2013 een officiële zwemwaterlocatie, die sindsdien tijdens het zwemseizoen met regelmaat gecontroleerd wordt op de waterkwaliteit. De omgeving van Blauwhoek bestaat uit grasland waar extensieve veeteelt plaatsvindt. Ten noorden van Blauwhoek ligt een rietland met als functie vogelbroedgebied. De ligging van het strand ligt zeer ongunstig ten opzichte van de overheersende windrichting, afbeelding 16. Door de overheersende zuidwesten- of westenwind drijft de verontreiniging door de windgolven richting Blauwhoek. Hierdoor kan er ophoping ontstaan van fecale bacteriën, waardoor de waterkwaliteit achteruit gaat. Dit hoeft niet het geval te zijn, omdat het Prinses Margrietkanaal een grote trek veroorzaakt waardoor de verontreiniging niet bij Blauwhoek belandt. Blauwhoek valt onder de kwaliteitsklasse 'Uitstekend'. Voor het volledige zwemwaterprofiel zie bijlage 3. (Wetterskip Fryslân, 2015)



Afbeelding 16 Ongunstige ligging Blauwhoek

5.1 Knelpunten

Bij de zwemlocatie Blauwhoek zijn op het moment geen knelpunten, integendeel, de waterkwaliteit is zelfs uitstekend bij het strand. Hier zal dan ook geen maatregel voor uitgewerkt. Bij het strand zijn al wel eerdere maatregelen getroffen, vlanders met damwanden zijn aangebracht om strandafslag tegen te gaan (afbeelding 17). Met Sobek onderzocht worden waarom er geen vervuilingen zijn aangetroffen bij de zwemwaterlocatie.

Knelpunt: Geen knelpunt

Maatregel: Geen maatregel



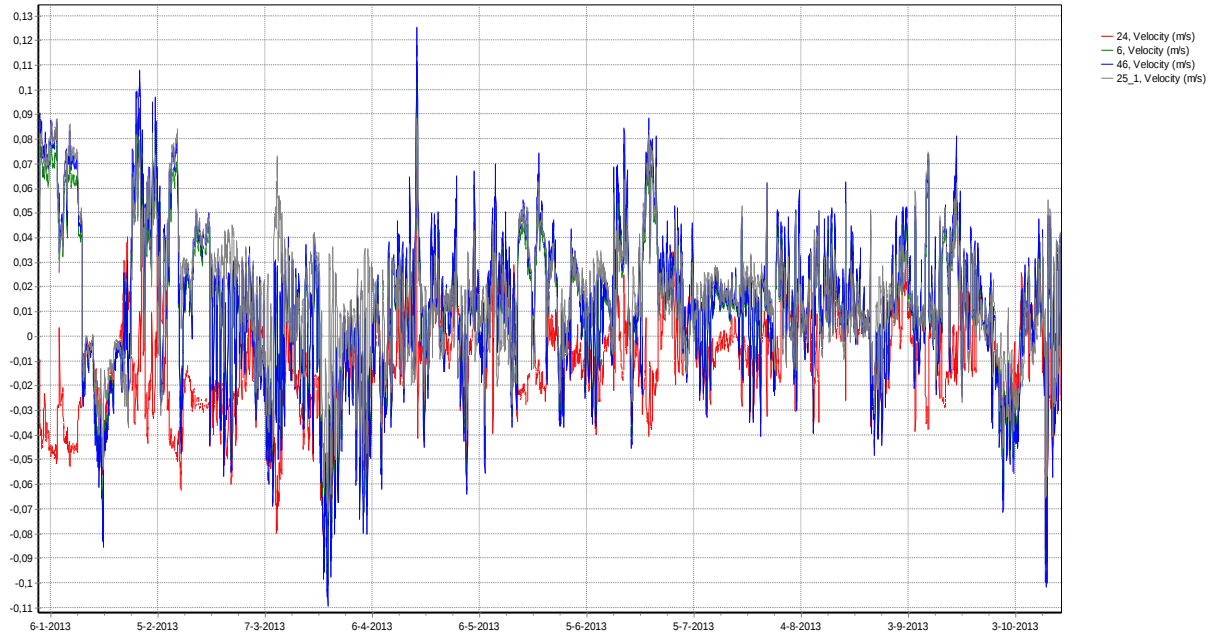
Afbeelding 17 Damwand en vlander, Blauwhoek

5.2 Sobek

Bij de zwemwaterlocatie Blauwhoek treden geen vervuilingen op zoals bij Klein Zwitserland. In deze paragraaf wordt geanalyseerd waarom er geen vervuilingen bij Blauwhoek optreden.

Er zijn 4 meetpunten uit Sobek rondom Blauwhoek genomen. In grafiek 1 zijn deze meetpunten weergegeven. Rondom Blauwhoek is een variërende stroming. Hierdoor is de kans dat vervuilingen blijven hangen laag, omdat het water hier continu in beweging is.

Grafiek 1 Stroomsnelheid rond Blauwhoek



6 Eastermar

Zwemlocatie Eastermar is een officieel zwemwater sinds 1998. Sindsdien wordt er, tijdens het zwemseizoen, geregeld gecontroleerd of de zwemwaterkwaliteit nog minimaal aanvaardbaar is. Rondom het strand is een vogelbroedgebied met rietvelden aanwezig, (afbeelding 18). De ligging van het strand is, net zoals Blauwhoek, ongunstig ten opzichte van de overheersende windrichting. Ieder jaar is het noodzakelijk om nieuw zand aan te brengen door de strandafslag in het winterseizoen. De strandafslag is weergegeven in afbeelding 19. Voor het volledige zwemwaterprofiel zie bijlage 3. (Wetterskip Fryslân, 2015)



Afbeelding 18 Vogelbroedgebied



Afbeelding 19 Strandafkalving Eastermar

6.1 Eastermar Knelpunt

Eastermar kampt met verschillende problemen, te weinig doorstroming, strandafslag, fecale bacteriën en blauwalg, die het recreatieplezier van de bezoeker bederven. Voor deze problemen zijn verschillende maatregelen toegepast, plaatsen van palenrijen, het verwijderen van de rietkraag en het verwijderen van een deel van de palenrij, met als gevolg dat de genomen maatregelen weer andere problemen veroorzaakten. Het probleem wat op dit moment speelt is de strandafslag en, om het strand in stand te houden, is de gemeente Tytsjerksteradiel genoodzaakt om ieder jaar nieuw zand aan te brengen. De strandafslag is goed te zien in afbeelding 20. Hier wordt duidelijk hoe groot de invloed is van de golfkrachten op het strand. In het beleid Recreatie en Toerisme van de gemeente staat dat bestaande recreatie behouden en waar mogelijk verbeterd moet worden.

Knelpunt: Strandafslag

Maatregel: Golfbreker/kering met 's zomers voldoende doorstroming



Afbeelding 20 Eastermar Links: oude situatie, midden: huidige situatie, rechts: strandafslag

6.2 Alternatieven Eastermar

De alternatieven worden in de volgende paragrafen geïntroduceerd en worden getoetst op de criteria. Hieruit zal met de Multi-criteria analyse uiteindelijk het beste alternatief komen.

6.3 Criteria

Zoals reeds in hoofdstuk 3 werd beschreven worden de alternatieven op de volgende door de opdrachtgever aangereikte criteria getoetst:

Criteria	Toelichting
Functionaliteit	Functionaliteit is het belangrijkste criterium waar de 3 alternatieven op worden beoordeeld. Het uiteindelijke ontwerp moet voldoen aan de criteria en het probleem verhelpen.
Kosten	Bij het aandragen van oplossingen dient het kostenaspect nauwlettend in de gaten te worden gehouden, omdat het hier om gemeenschapsgeld gaat. Doel is de kosten zo laag mogelijk te houden.
Onderhoudsarm	Hoe makkelijker de voorziening te onderhouden is, hoe hoger de score is.
Milieu/duurzaamheid	De maatregelen mogen geen afbraak doen aan de natuur en niet vervuilend zijn. De maatregel moet worden gerealiseerd met materialen die een lange levensduur in het water hebben.
Gebruiksvriendelijkheid	De gebruiksvriendelijkheid is voornamelijk van belang bij Eastermar. Als elk jaar de voorziening geplaatst en verwijderd moet worden is de handzaamheid van belang.
Esthetica	De voorziening moet opvallen in de zin dat het de afbakening van de zwemlocatie is, maar wegvallen in zijn functionaliteit, oftewel, het moet geen doorn in het oog worden.

6.4 Alternatief A

Het eerste alternatief bestaat uit betonnen drijvers, afbeelding 21. Voordeel van dit alternatief is dat de drijvers het hele jaar door kunnen blijven liggen en dus tijdens het zwemseizoen niet verwijderd hoeven te worden. Er wordt hier namelijk gebruik gemaakt van het principe dat op een diepte van 1/9 golfhoogte de baan van de waterdeeltjes gehalveerd zijn. Bij de berekening van de golfkrachten is uit gegaan van een zeer zware storm, met golven van 0.60 meter hoog en golfhoogtes van 8.5 meter:

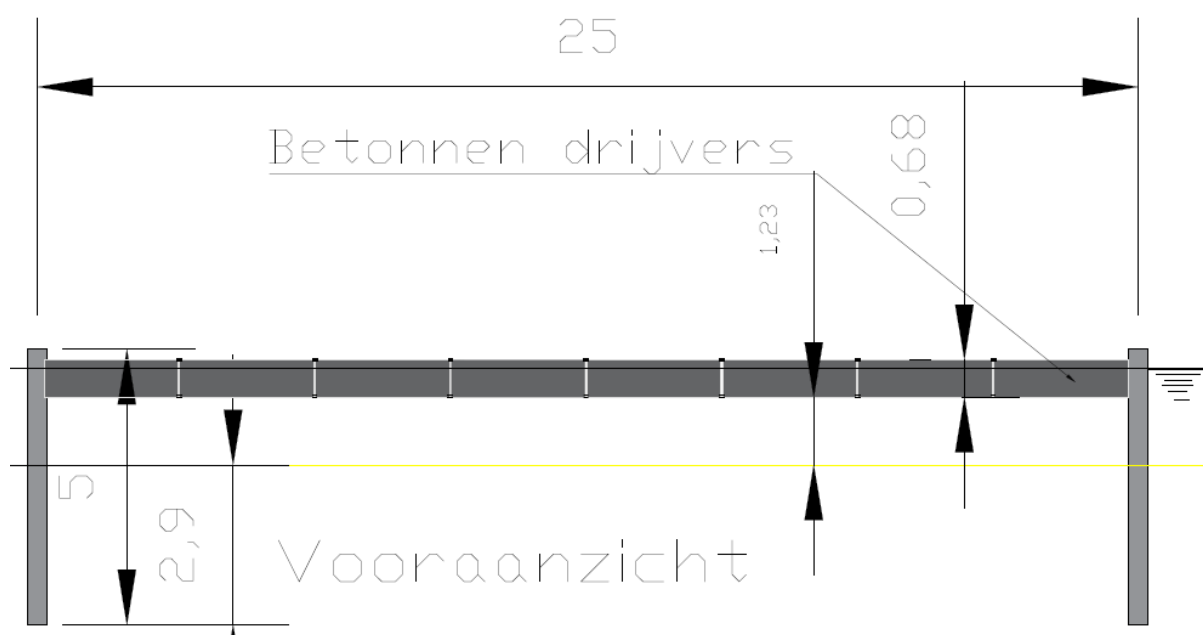
$$\frac{1}{9} * 8.5 = 0.94 \text{ meter.}$$



Afbeelding 21 Betonnen drijvers, Foto: Infra Trading B.V.

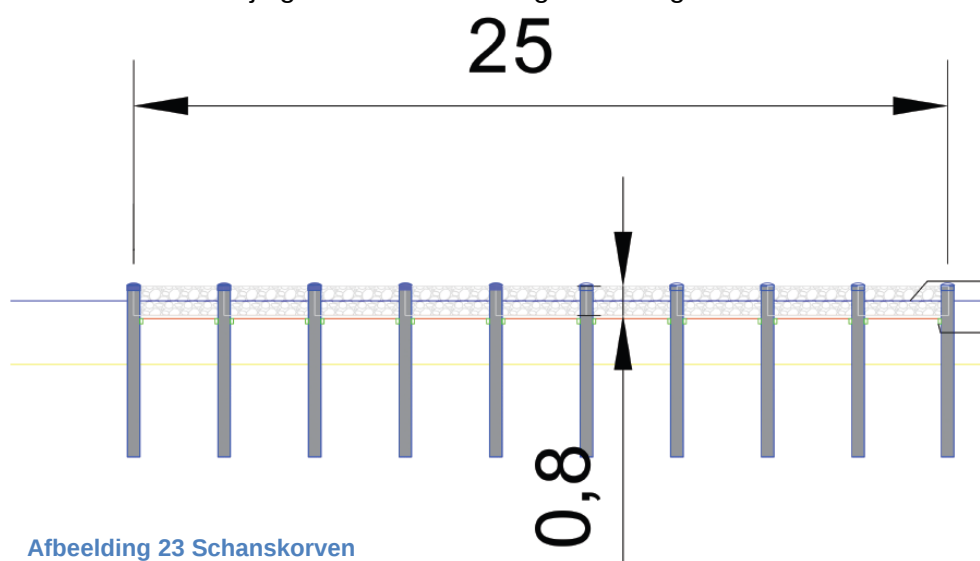
Dus op 0.94 is de straal van de baan van de waterdeeltjes gehalveerd. De drijvers zijn 0.68 meter hoog en liggen voor de helft onder water. Bij dit alternatief wordt minder dan de helft tegengehouden, dit is een nadeel ten opzichte van de strandafslag, maar een voordeel voor de doorstroming.

De betonnen drijvers hebben een levensduur van ruim 20 jaar en zijn onzinkbaar. De drijvers worden aan elkaar gekoppeld, zodat het één geheel wordt. In afbeelding 22 is een tekening van de betonnen drijvers weergegeven. Zie bijlage 4 voor de volledige tekening.



Afbeelding 22 Tekening Betonnen drijvers

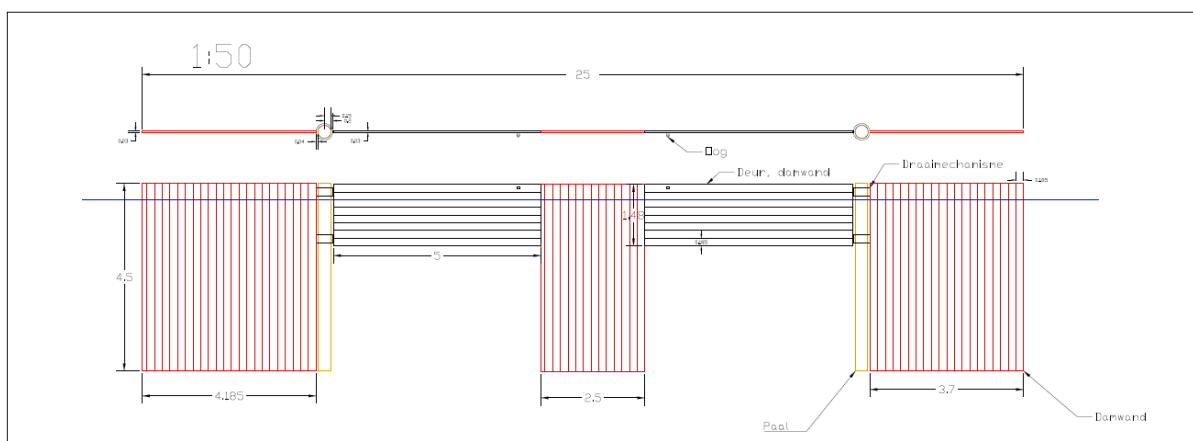
Alternatief B heeft de zelfde functionaliteit als alternatief A, maar dit alternatief bestaat uit schanskorven die steunen op dwarsbalken. Ook hier wordt uit gegaan van het principe dat naar mate de diepte vordert de straal van de baan van de golven afneemt. De golven 'bovenin' het water met de grootste kracht worden door de schanskorven gebroken, zodat de golven 'onderin', met minder energie overblijven. In afbeelding 23 is een weergave van de schanskorven. Zie bijlage 5 voor de volledige tekening.



Afbeelding 23 Schanskorven

6.6 Alternatief C

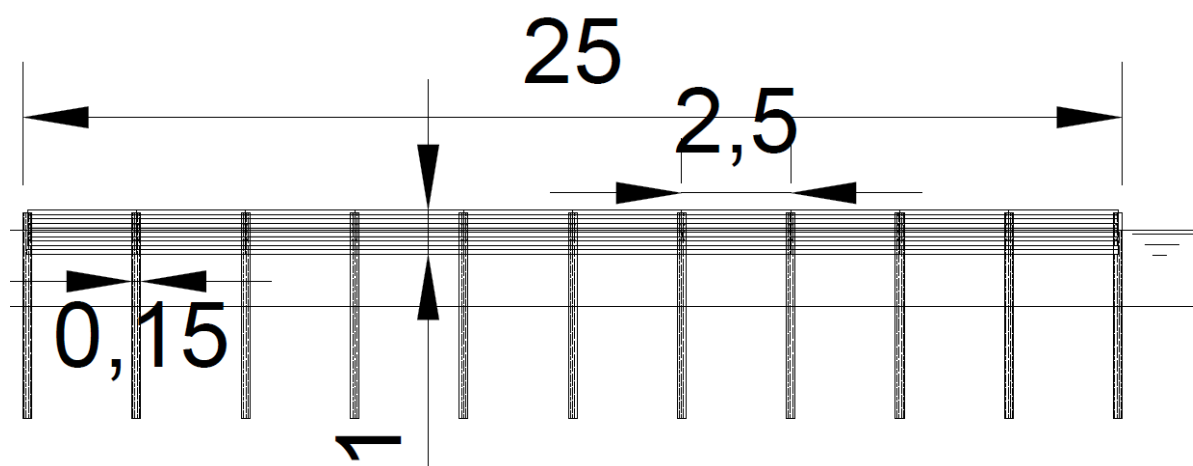
Het derde alternatief bestaat uit damwanden met 2 deuren. Als het zwemseizoen daar is, kan een motorboot de deuren open trekken en tegen de damwanden plaatsen die vast staan in de grond. Hierdoor hoeven de deuren niet verwijderd te worden en kunnen bij de constructie blijven. De golven worden in tegenstelling tot de andere alternatieven, volledig gekeerd. Door de deuren in de zomer te openen wordt er een betere doorstroom gecreëerd, waardoor de kans op vervuilingen verminderd wordt. De complete constructie bestaat uit azobé hout. Azobé heeft valt onder duurzaamheidsklasse I en heeft een levensduur van 25 jaar. Het draaimechanisme is een lager die om een houten paal heen draait, de 'deur' zit vast aan het lagerhuis. In afbeelding 24 en bijlage 6 is de technische tekening weergegeven met de afmetingen van de constructie.



Afbeelding 24 Damwand

6.7 Alternatief D

Alternatief D bestaat uit opgeklampte schotten. Opgeklampte schotten worden normaliter gebruikt als walbeschoeiing. De schotten zijn 2,5 meter lang bij 1 meter breed, waarbij ± 0.45 cm boven water uitsteekt. De schotten kunnen met slotbouten op de palen worden bevestigd. Ook bij dit alternatief wordt er uitgegaan van het principe dat naar mate de diepte vordert de straal van de baan van de golven afneemt. In afbeelding 25 is een weergave van de opgeklampte schotten. Zie bijlage 7 voor een volledige tekening.



Afbeelding 25 Opgeklampte schotten

6.8 Multi-Criteria Analyse (MCA)

De alternatieven zijn in de voorgaande paragrafen geïntroduceerd en worden in deze paragraaf op de 'weegschaal' gelegd door de MCA uit te voeren.

Eerst wordt de effectentabel opgezet. Hierbij worden de criteria toegepast op een alternatief waarin de aspecten eenheden toegewezen krijgen. Dit gebeurt in een range van €, --/++, nominaal. Vervolgens worden de criteria gestandaardiseerd op een nieuwe schaal tussen 0 en 1. Dit heet de 'maximum gestandaardiseerde effectentabel' (Reinshagen, 2007). Bij de kostencriteria (nominale criteria) zal het aspect met de hoogste score de hoogste waarde krijgen. Bij ordinale criteria is de standaardisatie als volgt:

- -- → 0.00
- - → 0.25
- 0 → 0.50
- + → 0.75
- ++ → 1.00

Vervolgens worden de criteria gewogen. De gewichten zullen worden toegekend aan de criteria op basis van de eisen en wensen van de opdrachtgever. Uit deze analyse zal één alternatief als 'beste' uit de bus komen. Deze is wordt uiteindelijk geadviseerd aan de opdrachtgever.

6.9 Effectentabel

In tabel 2 is de beoordeling per criterium weergegeven voor de verschillende alternatieven.

Tabel 1 Effectentabel

Criteria	Schaal	A	B	C	D
<i>Functionaliteit</i>	(--/++)	+	++	++	++
<i>Kosten (totaal)</i>	(€)	€ 8500,-	€ 6000,-	€ 4500,-	€ 3420,-
<i>Onderhoud</i>	(--/++)	++	+	+	++
<i>Duurzaamheid (Levensduur)</i>	(jaar)	25>	25>	20	20
<i>Esthetica</i>	(--/++)	-	-	-	-

In bijlage 8 is weergegeven hoe de kosten tot stand zijn gekomen per alternatief.

Standaardisatie tabel

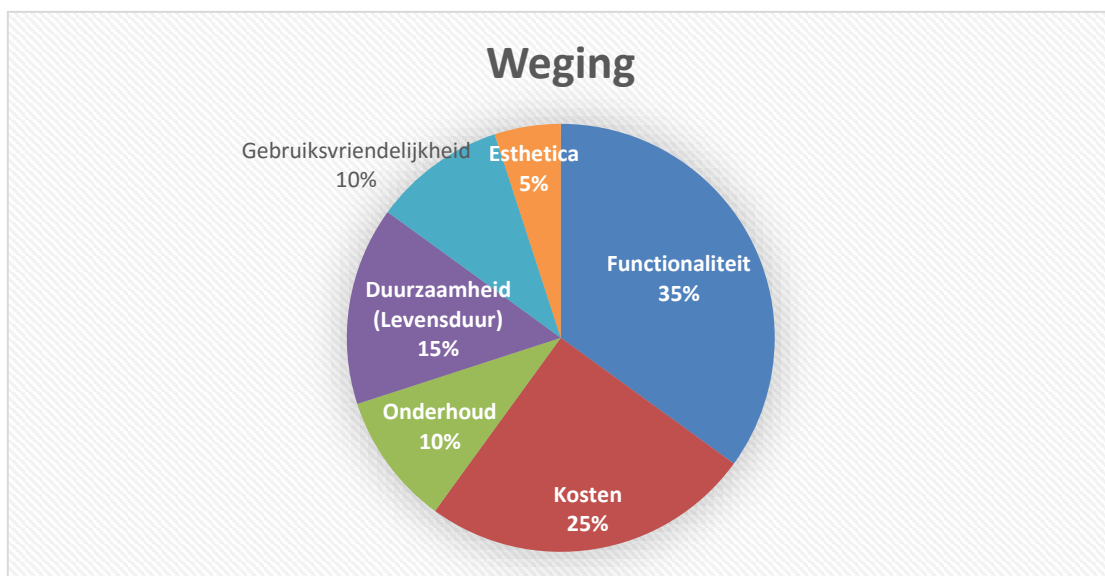
In tabel 2 zijn de scores uit tabel 1 gestandaardiseerd op een schaal van 0 tot 1.

Tabel 2 Standaardisatietabel

Criteria	A	B	C	D
<i>Functionaliteit</i>	0,75	0.75	1	1
<i>Kosten</i>	0	0,29	0,24	0.52
<i>Onderhoud</i>	1	1	0,75	1
<i>Duurzaamheid/(Levensduur)</i>	1	1	0,75	0.75
<i>Gebruiksvriendelijkheid</i>	1	1	1	1
<i>Esthetica</i>	0,5	0,5	0.5	0.75

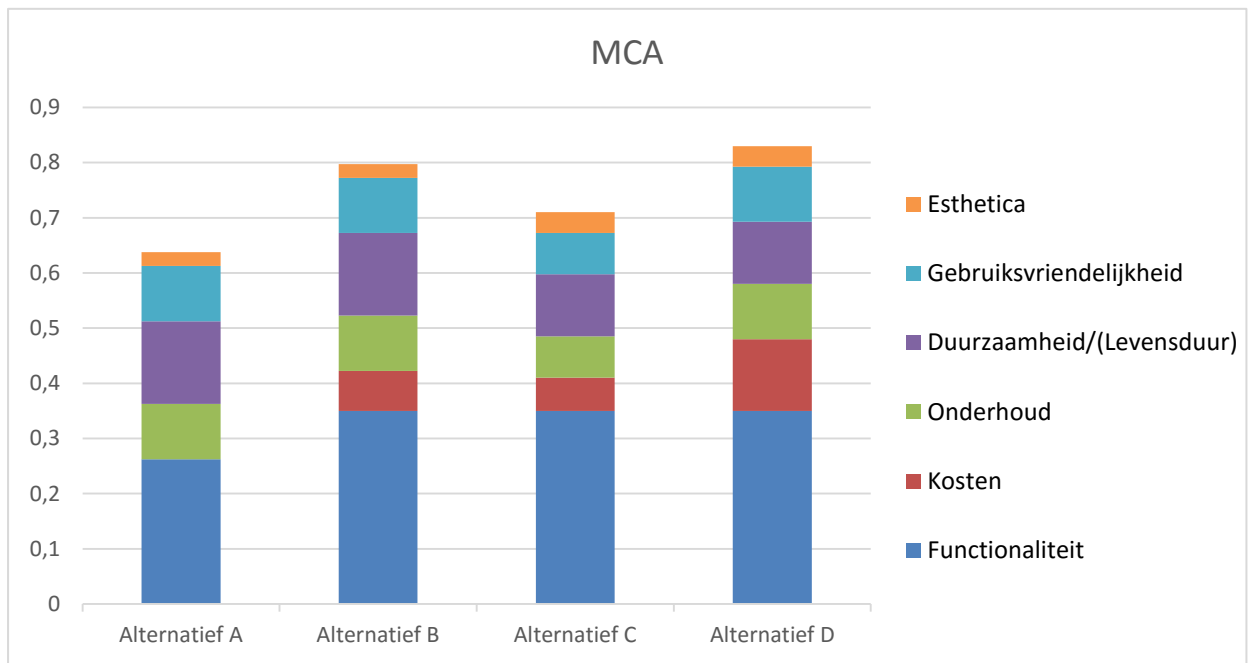
In overleg met de opdrachtgever zijn de gewichten per criterium vastgesteld. Deze zijn weergegeven in diagram 2.

Diagram 2 Weging



In diagram 3 is de eindscore weergegeven. Hierin is elke criteria per alternatief vermenigvuldigd met de weging uit diagram 1. Uit de MCA blijkt dat alternatief D, de opgeklampte schotten, het beste scoort. Dit alternatief wordt nu verder uitgewerkt.

Diagram 3 Eindresultaat MCA



7 Klein Zwitserland

Zwemlocatie Klein Zwitserland is sinds de jaren '60 een zwemwater en ligt aan de westkant van het Bergumermeer. Aan de noordkant van het strand stroomt het Prinses Margrietkanaal het meer binnen. Verder bestaat de omgeving uit een vakantiepark met camping. De ligging van Klein Zwitserland ligt gunstig ten opzichte van de overheersende windrichting. Het strand ligt in een luwte door de strekdam van het Prinses Margrietkanaal, (afbeelding 26). Een mogelijk gevolg hiervan is dat er weinig doorstroming bij het strand plaats vindt, waardoor het water niet wordt 'ververst' en de locatie in de kwaliteitsklasse 'slecht' valt. Het strand is gesitueerd naast een recreatiepark van waaruit veel activiteiten georganiseerd wordt. Deze activiteiten worden gehouden op het strand en vanuit de jachthaven ten zuiden van de zwemlocatie. Voor het volledige zwemwaterprofiel zie bijlage 3. (Wetterskip Fryslân, 2015)



Afbeelding 26 Strand Klein Zwitserland

7.1 Knelpunten

Klein Zwitserland alleen kampt alleen met de slechte waterkwaliteit. Een knelpunt bij Klein Zwitserland is onder andere dat de locatie in een luwte ligt door de strekdam (afbeelding 26) van het Prinses Margrietkanaal. Door de strekdam wordt een stilstaand water gecreëerd, waardoor er waarschijnlijk onvoldoende doorstroom is om het zwemwater te 'verversen'. Daarnaast kan het zijn, dat het water dat wel aangevoerd wordt op de locatie, incidenteel ernstig vervuild kan zijn door water uit het PM-Kanaal, waar een RWZI en overstorten (incidenteel) hun water op loost. Er zijn een aantal scenario's die zich voor kunnen doen waardoor een hoge concentratie fecale bacteriën kan ontstaan.

Voorbeeld 1: een hevige bui doet zich voor, waardoor de RWZI minder rendabel werkt en overstorten lozen water. Daarnaast spoelen fecale bacteriën van dieren uit op het boezemwater. Dit zou leiden tot een hoge concentratie bacteriën.

Voorbeeld 2: een zonnige periode met hoge temperaturen en weinig wind. Weinig doorstroming, waardoor de fecale bacteriën kunnen groeien. Daarnaast is er tijdens zo'n periode veel recreatievaart die hun vuilwater lozen.

Maar uit onderzoek van Grontmij blijkt dat er geen éénduidige conclusie te trekken valt, omdat deze relaties niet áltijd te vinden zijn. De vier bronnen met de meeste invloed zijn: beroeps- en recreatievaart, RWZI Burgum, overstorten en bezoekers van de zwemlocatie. Uit een DNA-analyse, uitgevoerd door het KWR Water Research Institute, blijkt dat de bron van humane afkomst is.

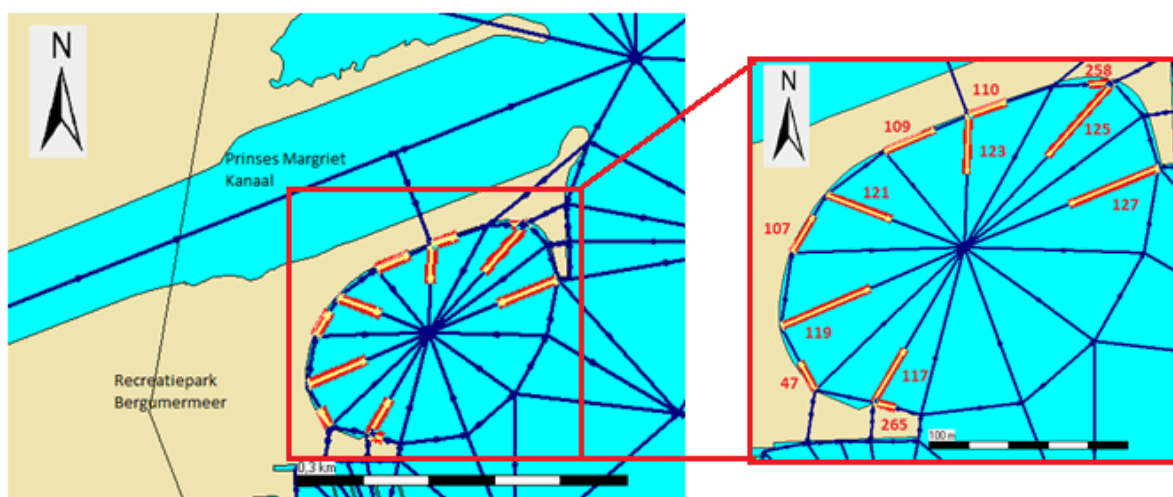
Uit onderzoek met het stromingsmodel Sobek zal moeten blijken of de doorstroming bij de locatie daadwerkelijk minimaal is. Blijkt dit zo te zijn, dan zal onderzocht worden hoe dit verbeterd kan worden.

Knelpunt: Fecale vervuiling

Maatregel: Voorziening die voor meer doorstroming zorgt

7.2 Huidige situatie Klein Zwitserland

Voordat de maatregelen worden toegepast in Sobek wordt eerst de huidige situatie met betrekking tot de stroomsnelheid vastgesteld. De huidige situatie van het stromingsmodel is gebaseerd op een aantal randvoorwaarden. De windrichting en –snelheid gegevens komen uit het jaar 2013 van het KNMI vanaf het weerstation in Leeuwarden. Daarnaast zijn de basisgegevens van de Friese Boezem gebruikt, hierdoor heeft het water al een stroomsnelheid en –richting. Dit is eveneens de basis van het stromingspatroon in het Bergumermeer. In totaal zijn er twaalf takken¹ (afbeelding 27) in de zwemlocatie geanalyseerd. De takken liggen alle twaalf “in” de zwemwaterlocatie, hier moeten de maatregelen invloed hebben op de stroming. In Tabel 3 is de huidige situatie weergegeven. Voor elke tak staan er zes waarden in de tabel, drie positieve en drie negatieve waarden, boven deze waarden is aangegeven welke richting het water stroomt. De drie soorten waarden zijn: minimale stroomsnelheid, maximale stroomsnelheid en gemiddelde stroomsnelheid over de periode 1 mei 2013 t/m 1 oktober 2013.



Afbeelding 27 Stroomtakken met label

¹ Een tak kan 2 kanten opstromen in positieve en negatieve richting. Bij elke tak is weergegeven wat de positieve richting is, hiermee is meteen duidelijk wat de negatieve richting is. In de grafiek staan positieve en negatieve waarden, hiermee wordt aangeduid welke richting het water op stroomt.

Het totaal gemiddelde, in het zwemseizoen, van alle takken ligt tussen de 0.01 m/s en 0.03 m/s. Bepaalde takken hebben nauwelijks een stroomsnelheid, bij deze takken is het de bedoeling om met de maatregelen een stroming te creëren zodat er geen vervuilingen meer blijven hangen. Bij de takken 47, 110 en 121 is de gemiddelde stroomsnelheid duidelijk lager dan bij de overige takken. Hier ligt de gemiddelde stroomsnelheid rond de 0.005 m/s. Deze drie takken liggen langs het strand en volledig in de luwte van de wind, afbeelding 27. Bij deze takken zal er dus een hogere snelheid moeten worden gecreëerd.

Tabel 3 Stroomsnelheid en -richting, Huidige situatie

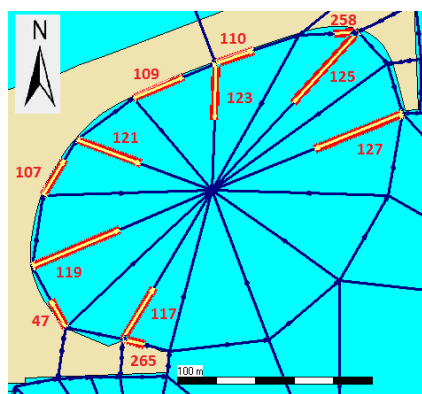
Tak	117	117	119	119	121	121	123	123
Stroomrichting	Noord	Zuid	Oost	West	Oost	West	Zuid	Noord
Min Stroomsnelheid (m/s)	3,066E-05	-0,000126	2,363E-05	-1,7E-05	4,141E-06	-6,11E-06	5,478E-05	-7,17E-05
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,1312207	-0,09503	0,1183821	-0,090971	0,022552	-0,040458	0,0906507	-0,097073
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0331284	-0,026411	0,0308836	-0,02	0,0037093	-0,007326	0,0244321	-0,025412
Tak	47	47	107	107	265	265	109	109
Stroomrichting	West	Oost	Noord	Zuid	West	Oost	Oost	West
Min Stroomsnelheid (m/s)	2,114E-06	-7,11E-07	6,474E-05	-4,11E-05	2,605E-05	-1,7E-06	2,846E-05	-3,91E-06
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,0158723	-0,024542	0,059972	-0,088918	0,1059717	-0,08284	0,0502247	-0,076875
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0028974	-0,004712	0,0157334	-0,021997	0,0257921	-0,023901	0,0139314	-0,018039
Tak	110	110	258	258	125	125	127	127
Stroomrichting	Oost	West	Oost	West	Zuid	Noord	Oost	West
Min Stroomsnelheid (m/s)	2,202E-05	-3,1E-06	8,718E-06	-2,22E-05	5,748E-06	-2,81E-07	2,295E-05	-5,05E-05
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,0341119	-0,044256	0,0583935	-0,074054	0,0718913	-0,10802	0,1011966	-0,120106
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0067129	-0,010639	0,0104455	-0,016616	0,0217722	-0,02733	0,0285947	-0,031648

7.3 Maatregel landtong Noord

De eerste maatregel is het verwijderen van de noordelijke landtong, met rood aangegeven in afbeelding 28. De stroming uit het Prinses Margrietkanaal moet na het verwijderen van de noordelijke landtong voor een snelheid zorgen die zich om de strekdam vormt, waardoor er meer turbulentie ontstaat in de zwemwaterlocatie.



Afbeelding 28 Maatregel 1



Afbeelding 29 Overzichtskaart

In tabel 4 zijn de waarden weergegeven van de twaalf takken die eveneens bij de huidige situatie zijn gebruikt. Bij de huidige situatie waren er bij takken 47, 110 en 121 lagere stroomsnelheden dan bij de overige takken. Bij tak 47 is een verhoging van de stroomsnelheid namelijk in zowel westelijke als oostelijke richting wordt een verdubbeling van de stroomsnelheid gemeten. De gemiddelde waarden zijn hier respectievelijk 0.007 m/s en 0.011 m/s. Bij tak 110 is een

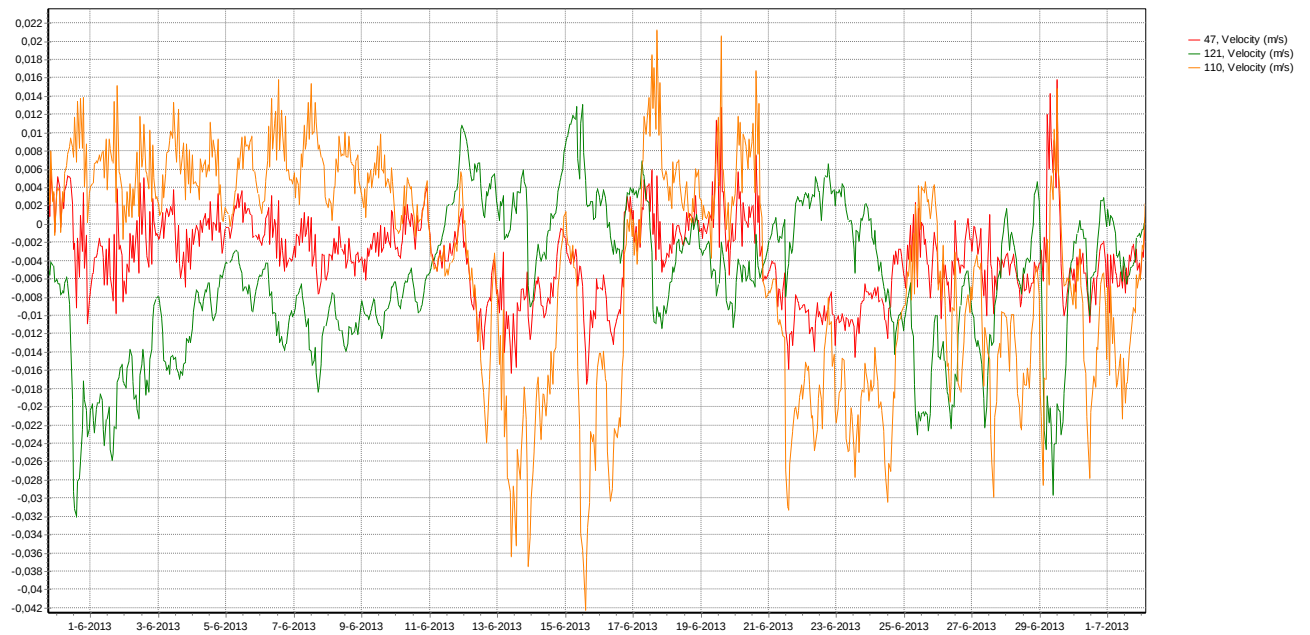
duidelijke verhoging in de stroomsnelheid. In de huidige situatie waren de gemiddelde stroomsnelheden bij tak 110 0.007 m/s en 0.01 m/s. Dit is bij het verwijderen van de noordelijke landtong 0.026 m/s en 0.039 m/s. De stroomsnelheid tak 121 daalt bij deze toegepaste maatregel. Bij de takken 258 en 125 gaat de stroomsnelheid in beide richtingen met 0.01 m/s omhoog. Dit kan worden verklaard door het feit dat deze twee takken “achter” de landtong liggen. De takken lagen in de huidige situatie in een luwte, maar met deze maatregel heeft de stroming vrij spel.

Tabel 4 Stroomsnelheid en -richting, Noord tong verwijderd

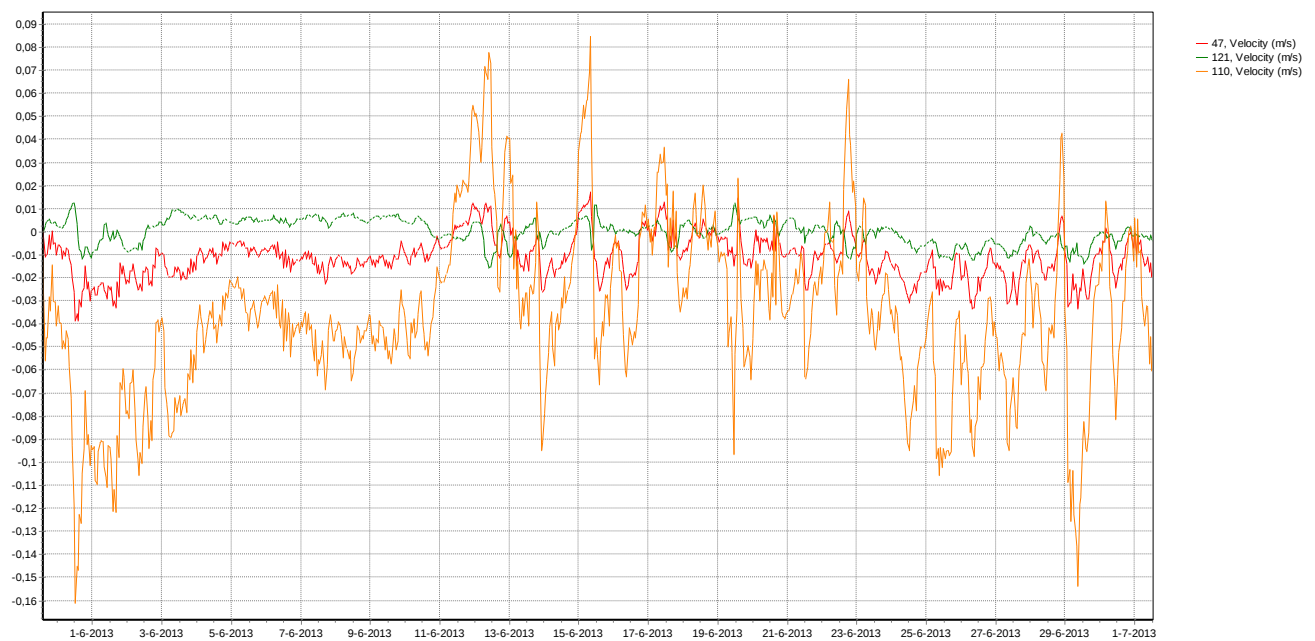
Tak	117		119		121		123	
Stroomrichting	Noord	Zuid	Oost	West	Oost	West	Zuid	Noord
Min Stroomsnelheid (m/s)	7,919E-05	-7,62E-05	8,894E-05	-3,93E-05	1,974E-06	-8,72E-06	1,232E-06	-5,58E-06
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,1310688	-0,095637	0,1180825	-0,091246	0,0126991	-0,021405	0,1081741	-0,101975
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0334076	-0,028041	0,0303636	-0,024491	0,0035272	-0,004378	0,0278413	-0,027014
Tak	47		107		265		109	
Stroomrichting	West	Oost	Noord	Zuid	West	Oost	Oost	West
Min Stroomsnelheid (m/s)	9,662E-06	-1,9E-06	2,998E-05	-8,07E-06	4,384E-06	-1,17E-05	2,521E-05	-9,17E-06
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,042134	-0,053546	0,073452	-0,093977	0,10735	-0,12256	0,0690877	-0,087273
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0068483	-0,011022	0,0154428	-0,022888	0,0279816	-0,031816	0,015365	-0,023626
Tak	110		258		125		127	
Stroomrichting	Oost	West	Oost	West	Zuid	Noord	Oost	West
Min Stroomsnelheid (m/s)	6,383E-05	-2,34E-05	8,751E-05	-1,02E-06	1,36E-05	-1,69E-06	1,92E-05	-2,05E-05
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,1167453	-0,167181	0,1176456	-0,112444	0,1118747	-0,117067	0,0856777	-0,119862
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0268564	-0,039162	0,0257833	-0,026178	0,0292833	-0,030852	0,0251948	-0,030429

In grafiek 2 en grafiek 3 is de stroomsnelheid in de maand juni weergegeven van tak 47, 110 en 121, grafiek 2 is de stroomsnelheid in de huidige situatie af te lezen en grafiek 3 is de situatie na het verwijderen van de noordelijke landtong weergegeven. In de grafieken is af te lezen dat tak 47 en tak 121 langzamer gaan stromen door de ingreep, in tegenstelling tot tak 110. Hier is het effect van de maatregel als eerste merkbaar omdat deze tak dicht tegen de noordelijke landtong aanligt.

Grafiek 2 Stroomsnelheid, Huidige situatie



Grafiek 3 Stroomsnelheid na verwijdering noord tong

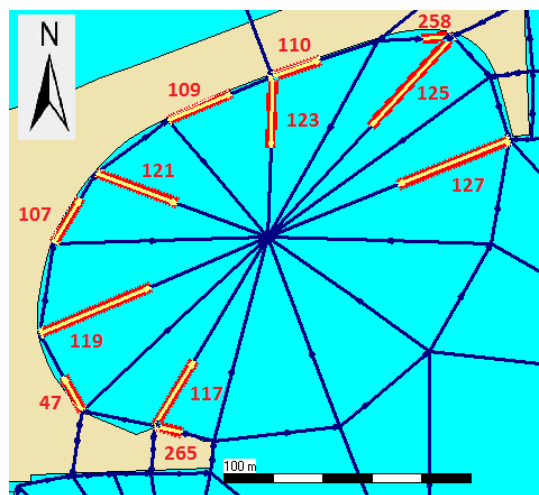


7.4 Landtong zuid

De tweede maatregel is het verwijderen van de zuidelijke landtong, met rood aangegeven in afbeelding 30. De stroming uit het zuiden van het Bergumermeer moet, na het verwijderen van de zuidelijke landtong, voor een hogere snelheid zorgen, waardoor er meer turbulentie ontstaat in de zwemwaterlocatie.



Afbeelding 30 Maatregel 2



Afbeelding 31 Overzichtskaart

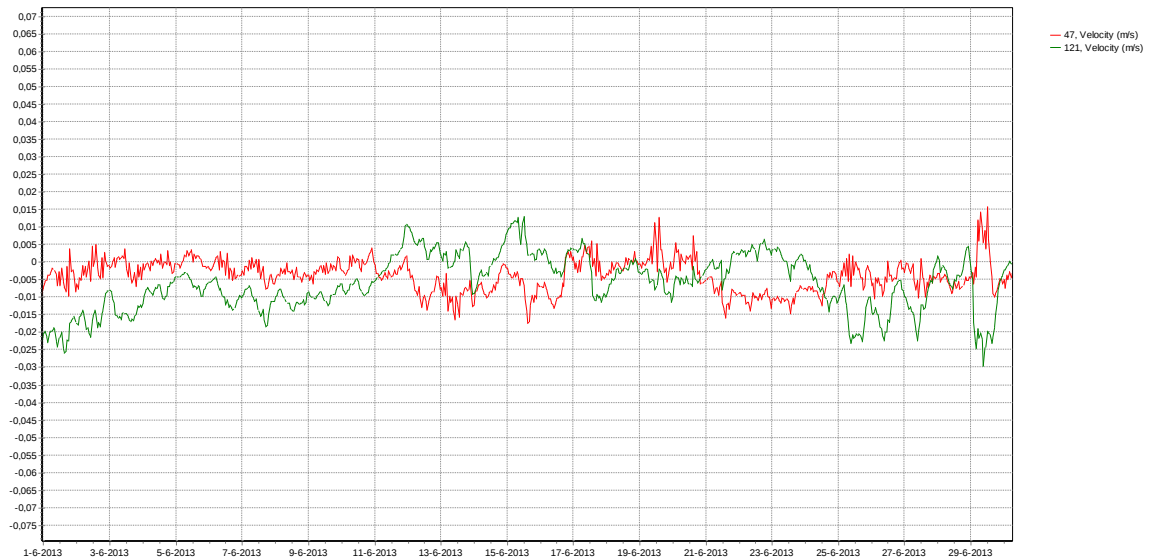
In tabel 5 zijn de stroomsnelheden en -richtingen weergegeven van de twaalf takken bij het verwijderen van de zuidelijke landtong. De stroomsnelheid gaat bij het grootste deel omhoog behalve bij tak 107 en 109. De maatregel heeft bij de takken 47 en 121 (huidige situatie bijna geen stroming) een groot effect. Alleen bij de takken 107, 109 110 en 258 zakt de stroomsnelheid, dit komt doordat deze vier takken verder van de maatregel af liggen. De stroomsnelheid zwakt af naarmate de stroming naar het noorden stroomt.

Tabel 5 Stroomsnelheid en -richting na verwijderen zuid tong

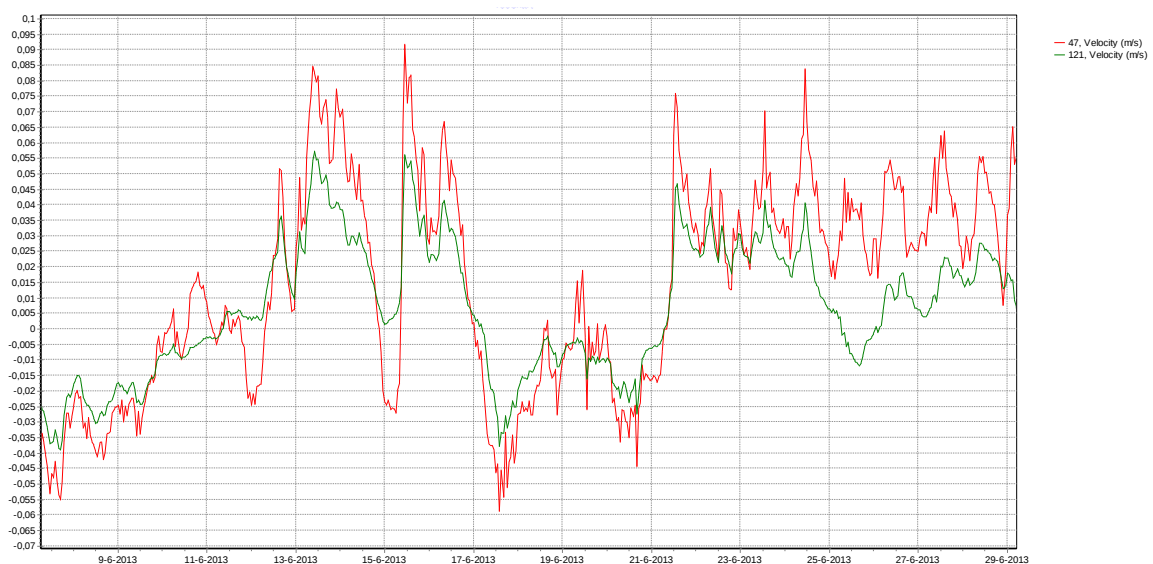
Tak	117	117	119	119	121	121	123	123
Stroomrichting	Noord	Zuid	Oost	West	Oost	West	Zuid	Noord
Min Stroomsnelheid (m/s)	5,767E-05	-0,000202	2,257E-06	-0,000141	2,421E-05	-4,56E-05	2,206E-05	-7,64E-05
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,1383625	-0,098929	0,1329397	-0,099239	0,057222	-0,050427	0,0908381	-0,096787
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0354767	-0,027631	0,0344851	-0,02674	0,0143683	-0,01279	0,024085	-0,025242
Tak	47	47	107	107	265	265	109	109
Stroomrichting	West	Oost	Noord	Zuid	West	Oost	Oost	West
Min Stroomsnelheid (m/s)	2,03E-05	-2,58E-06	6,375E-06	-2,08E-06	3,061E-05	-3,9E-05	4,372E-06	-9,65E-07
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,094226	-0,088955	0,0433293	-0,034014	0,0953053	-0,121328	0,0509347	-0,051578
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0265614	-0,021029	0,006706	-0,006661	0,023339	-0,035853	0,0119539	-0,012587
Tak	110	110	258	258	125	125	127	127
Stroomrichting	Oost	West	Oost	West	Zuid	Noord	Oost	West
Min Stroomsnelheid (m/s)	1,923E-07	-4,52E-07	8,289E-06	-2,53E-05	7,972E-06	-3,97E-05	0,0001619	-1,14E-05
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,0276446	-0,026631	0,0423197	-0,051764	0,0735738	-0,110253	0,0985791	-0,13344
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0049163	-0,004396	0,0096143	-0,013494	0,0223039	-0,028013	0,0300405	-0,034361

In grafiek 4 en grafiek 5 is de stroomsnelheid in de maand juni weergegeven van tak 47 en 121, in grafiek 4 is de stroomsnelheid van de huidige situatie af te lezen en in grafiek 5 is de situatie na het verwijderen van de zuidelijke landtong weergegeven. De grafieken laten een duidelijk verschil zien: bij beide takken gaat de stroomsnelheid aanzienlijk omhoog.

Grafiek 4 Stroomsnelheid huidige situatie



Grafiek 5 Stroomsnelheid na verwijderen zuid tong

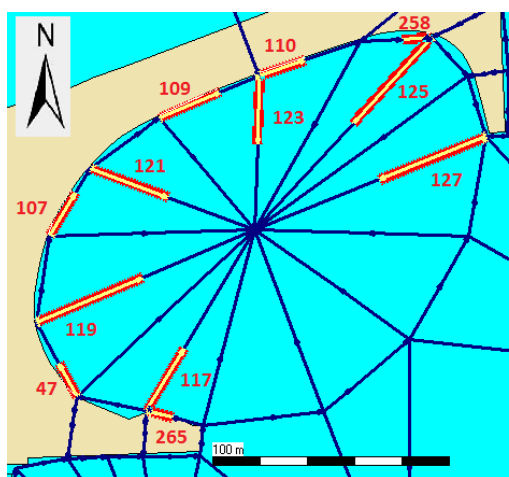


7.5 Strekdam

De laatste maatregel die gesimuleerd wordt in Sobek, is een aangebrachte doorgang in de strekdam. De verwachting hier is dat de stroomsnelheid van het Prinses Margrietkanaal door het aangebrachte "kanaal" doorgegeven wordt aan de zwemlocatie waardoor er een grotere stroming optreedt dan in de huidige situatie, afbeelding 32.



Afbeelding 32 Maatregel 3



Afbeelding 33 Overzichtsk kaart

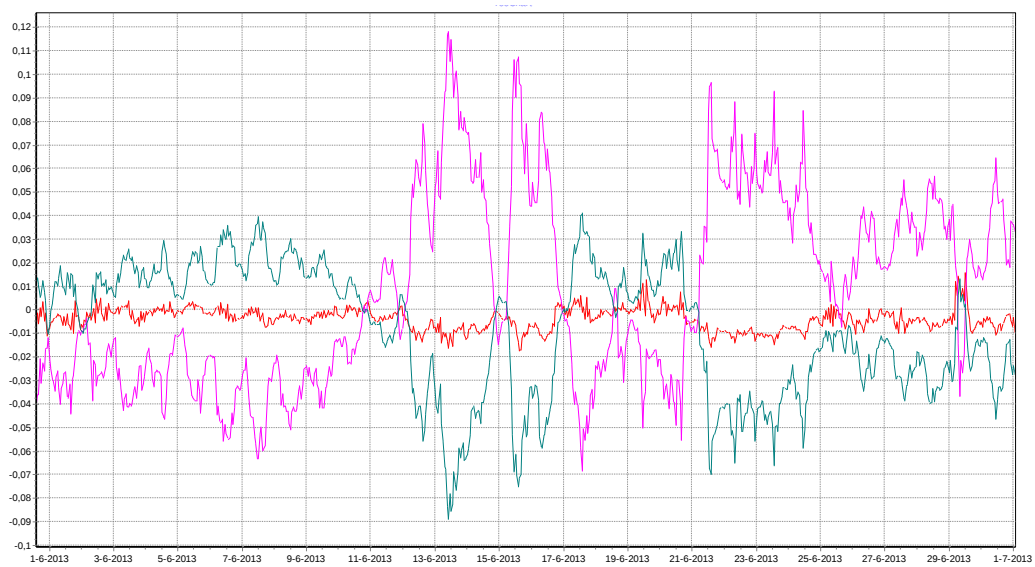
In tabel 6 zijn de waarden weergegeven na het creëren van een doorgang in de strekdam. In de tabel is af te lezen dat deze maatregel nauwelijks tot geen invloed heeft op de stroomsnelheid in de zwemwaterlocatie.

Tabel 6 Stroomsnelheid en -richting na het creëren van een doorgang in de strekdam

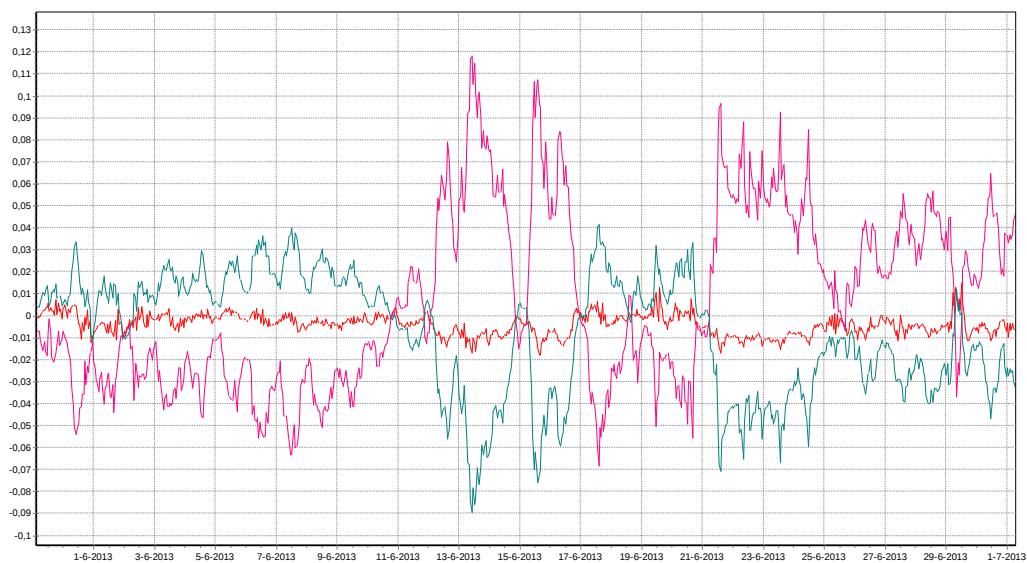
Tak	117	117	119	119	121	121	123	123
Stroomrichting	Noord	Zuid	Oost	West	Oost	West	Zuid	Noord
Min Stroomsnelheid (m/s)	6,4E-05	-2,68E-05	2,522E-05	-0,00013	1,916E-06	-4,98E-07	5,277E-06	-3,31E-05
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,1310277	-0,094883	0,1182536	-0,090968	0,0216784	-0,038916	0,0916477	-0,096031
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,033088	-0,026424	0,0308452	-0,0249	0,0036711	-0,00714	0,0244631	-0,025232
Tak	47	47	107	107	265	265	109	109
Stroomrichting	West	Oost	Noord	Zuid	West	Oost	Oost	West
Min Stroomsnelheid (m/s)	1,886E-06	-1,39E-06	6,076E-06	-3,67E-05	3,424E-05	-1,79E-05	1,207E-05	-3,99E-05
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,0149734	-0,02672	0,0605226	-0,089361	0,1052615	-0,08169	0,054116	-0,079648
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0030006	-0,004975	0,0157576	-0,022171	0,0255745	-0,023939	0,0138829	-0,018361
Tak	110	110	258	258	125	125	127	127
Stroomrichting	Oost	West	Oost	West	Zuid	Noord	Oost	West
Min Stroomsnelheid (m/s)	2,551E-06	-3,26E-07	1,266E-05	-1,59E-05	7,164E-05	-3,65E-06	2,705E-05	-2,09E-05
Max Stroomsnelheid (m/s)	0,0312221	-0,042162	0,0564879	-0,072738	0,0716845	-0,107935	0,1005827	-0,120513
Gem Stroomsnelheid (m/s)	0,0065792	-0,00968	0,0101496	-0,016047	0,021813	-0,027362	0,0285347	-0,031766

In grafiek 6 en grafiek 7 is de stroomsnelheid in de maand juni weergegeven van tak 47, 107 en 119, in grafiek 6 is de stroomsnelheid in de huidige situatie af te lezen en in grafiek 7 is de situatie na het creëren van een doorgang in de strekdam weergegeven. In de grafieken is nauwelijks verschil te bekennen.

Grafiek 6 Stroomsnelheid huidige situatie



Grafiek 7 Stroomsnelheid na creëren van een doorgang in de strekdam



8 Discussie

De resultaten van de onderzoeken worden in dit hoofdstuk geïnterpreteerd. Ook de onzekerheden en beperkingen komen aanbod.

8.1 Discussie Eastermar

De werking van het alternatief met de opgeklampte schotten is zoals beschreven gebaseerd op het feit dat de straal van de baan van de golven kleiner wordt naar mate de diepte vordert. Een punt van discussie is hoe diep de schotten geplaatst moeten worden, zodat de golven dusdanig veel energie verliezen dat ze geen strandafslag veroorzaken. Dit is niet exact meegenomen in dit onderzoek, waardoor dit een onzekerheid is.

8.2 Discussie Klein Zwitserland

Sobek is een geschikt programma om de stroomsnelheid te simuleren, alleen bij de stroomrichting heeft Sobek beperkingen. Dit komt doordat de takken maar 2 richtingen op kunnen stromen. Door deze beperking laat de stromingsrichting zich over tot interpretatie, omdat de stromingsrichting in realiteit alle kanten op kan.

Er valt te discussiëren of de verhoging in stromingssnelheid voldoende is om de vervuiling tegen te gaan. Het feit dat er minder stilstaand water ontstaat zal wellicht meer helpen dan de verhoging van de stroming. Daarnaast is de zwemwaterkwaliteit nog altijd afhankelijk van de RWZI stroomopwaarts, de recreatievaart in het Bergumermeer en overstorten rondom het Bergumermeer, waardoor er tijdelijk verhoogde concentraties van fecale verontreiniging voor kunnen komen.

8.3 Einddiscussie

Het meer zit lastig in elkaar wat betreft de fecale verontreiniging, want het is moeilijk uit te leggen waarom de ene keer de zwemwaterkwaliteit wel voldoet en de andere keer niet. Meer doorstroming gaat hier niet bij helpen, omdat de vervuiling dan alsnog voorkomt. Wel kan de tijd dat de verhoogde concentratie op de zwemlocatie aanwezig is verkort worden door de alternatieven.

9 Conclusie en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de vragen beantwoord en aanbevelingen gedaan over de resultaten en vervolgstappen.

9.1 Conclusie en aanbevelingen Eastermar

Op dit moment heeft de zwemlocatie Eastermar last van strandafslag door golven. Doel van het onderzoek naar de verbetering van de zwemlocatie was een maatregel die 's winters windgolven kan breken of tegenhouden, maar tegelijkertijd water kan doorlaten zodat de zwemwaterkwaliteit op orde blijft. Dit was dan ook het knelpunt dat hier speelde: bij afsluiting door het slaan van palenrijen wordt de zwemwaterkwaliteit slecht en door het verwijderen van de palen hadden de golven vrij spel. Mogelijke maatregelen zijn afsluitbare voorzieningen en deels afsluitende voorzieningen die golven tegenhouden of breken, zodat de golven hun energie verliezen en geen grip krijgen op het zand.

Uit de MCA blijkt dat het alternatief 'opgeklampte schotten' het beste resultaat zal geven. Voordeel van dit alternatief is dat het goedkoop is, weinig onderhoud nodig heeft en er niet iemand naar toe hoeft om de voorziening te sluiten of te openen. Dit alternatief wordt dan ook als advies meegegeven aan de gemeente Tytsjerksteradiel.

Omdat er een onzekerheid is met betrekking tot de diepte van de schotten wordt aanbevolen aan de gemeente om bij Wetterskip Fryslân een innovatieprogramma in te dienen. Als dit goedgekeurd wordt, kan de gemeente subsidie krijgen om dit in de praktijk uit te proberen. Dit alternatief zou in aanmerking kunnen komen, omdat er op meerdere zwemlocaties problemen zijn met het dilemma slechte zwemwaterkwaliteit/strandafslag en er vraag naar goedwerkende en goedkope oplossingen is.

9.2 Conclusie en aanbevelingen Klein Zwitserland

De maatregel die het meest geschikt is om de vervuiling tegen te gaan bij de zwemlocatie Klein Zwitserland maakt deel uit van de hoofdvraag:

- Welke maatregelen kunnen het recreatief gebruik in het Bergumermeer verbeteren met betrekking tot de zwemwaterlocaties Eastermar en Klein Zwitserland?

Om de waterkwaliteit te verbeteren bij Klein Zwitserland moet er meer stroming/turbulentie ontstaan in de zwemwaterlocatie. In de huidige situatie is de locatie ingesloten door een strekdam en 2 landtongen en ligt in de luwte van de overheersende windrichting. Er zijn 3 situaties gesimuleerd in Sobek, verwijderen noordelijke landtong, verwijderen zuidelijke landtong en een doorgang creëren in de strekdam. Uit de simulatie blijkt dat het verwijderen van de zuidelijke landtong het gewenste effect heeft. Dode plekken die in een luwte liggen krijgen een grotere stroomsnelheid, hierdoor is de kans op vervuiling minder. Dit komt doordat er een constante aanvoer van vers water uit het zuiden komt.

In de discussie is besproken of de verhoging in stroomsnelheid voldoende is om de vervuiling tegen te gaan. Bij het verwijderen van de zuidelijke landtong wordt er stroming gecreëerd in de luwten. Hier is het risico het grootst op vervuiling. Door al een kleine stroming te creëren kan de vervuiling tegen worden gegaan.

Het advies aan de gemeente Tytsjerksteradiel luidt als volgt:

Om een stroming te creëren in de luwten van de zwemwaterlocatie Klein Zwitserland wordt er geadviseerd om de zuidelijke landtong te verwijderen. Deze maatregel heeft over het geheel een positief effect op de stroomsnelheid. Hierdoor is er minder kans dat er vervuilingen blijven hangen, waardoor de zwemwaterkwaliteit uiteindelijk verbeterd.

9.3 Eindconclusie

Het recreatief gebruik van de zwemwaterlocaties kan verbeterd worden door de aanbevolen alternatieven toe te passen bij Eastermar en Klein Zwitserland. Door deze maatregelen te realiseren wordt bij Klein Zwitserland de tijd dat een verhoogde concentratie vervuiling bij de zwemlocatie verkort en bij Eastermar het strand beschermd tegen strandafslag terwijl er mogelijkheid is voor doorstroming. Hierdoor zal een eventuele verhoogde concentratie fecale verontreiniging korter op de zwemlocatie zijn.

10 Bibliografie

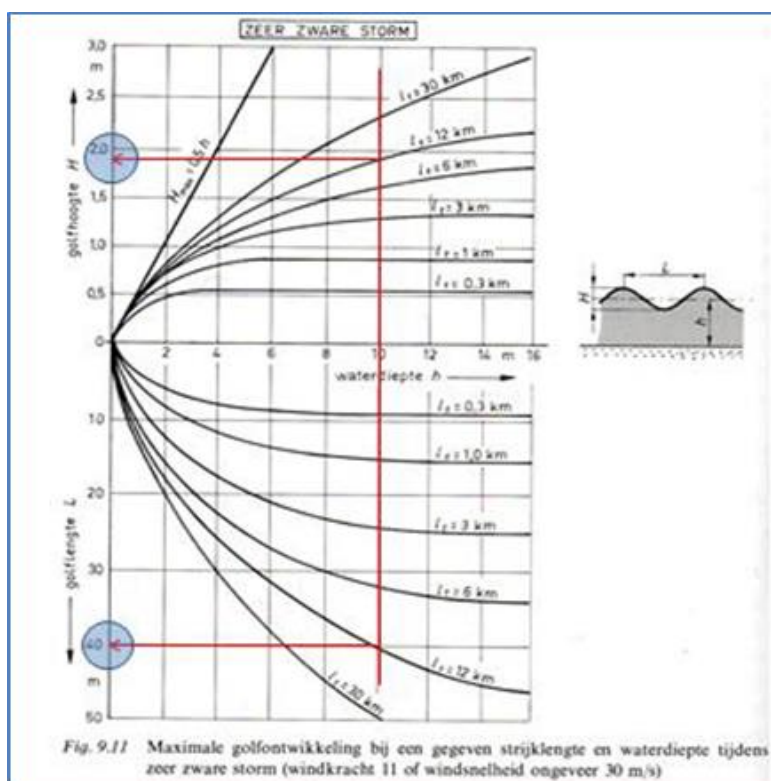
- Aant Wiede. (sd). Opgeroepen op 2016, van <http://www.aantwiede.nl/uploads/19320101181491902.jpg>
- Arcadis Heidemij Advies. (1998). *Bacteriologisch Waterkwaliteit Bergumermeer*. Leeuwarden: Wetterskip Fryslân.
- Gemeente Tytstjerksteradiel. (2007). *Beleidsplan Toerisme & Recreatie*. Bergum: Gemeente Tytstjerksteradiel.
- Gemeente Tytstjerksteradiel. (2010). *Finster op Romte(Structuurvisie)*. Burgum: Tytstjerksteradiel.
- Google Maps. (sd). Opgeroepen op 2016, van <https://www.google.nl/maps/@53.1930736,6.0550811,11.61z?hl=nl>
- Hoste, N. (2016, 08 18). Opgehaald van [www.sites.google.com](http://www.sites.google.com/site/depanneblogt/strand-en-duin/golven-en-zeeweringstechniek): <https://sites.google.com/site/depanneblogt/strand-en-duin/golven-en-zeeweringstechniek>
- ir. E.A.J. van der Pouw Kraan, d. B. (2013). *Bronanalyse Burgumer Mar*. De Bilt: Grontmij Nederland (Sweco).
- Kardinaal, E. (2015). *Bronopsorring fecale verontreiniging op zwemwaterlocatie Swimplak Eastermar, met behulp van DNA technieken*. KWR.
- Kardinaal, E. (2015). *Bronopsporing fecale verontreiniging op zwemwaterlocatie Swimplak Eastermar, met behulp van DNA technieken*. Nieuwegein: KWR.
- Nortier, I., & De Koning, P. (1996). *Toegepaste Vloeistofmechanica*. Stam Techniek.
- Provinsje Fryslân en Wetterskip Fryslân. (2009). *Status, toestand, waterkwaliteitsdoelen en maatregelen KRW-waterlichamen*. Leeuwarden: Provinsje Fryslân en Wetterskip Fryslân.
- Provinsje Fryslân en Wetterskip Fryslân. (2014). *KRW Beslisnota*. Leeuwarden: Provinsje Fryslân en Wetterskip Fryslân.
- Reinshagen, E. (2007). *Formalisering van toekenning van gewichten binnen Multi Criteria Analyse*. Twente: Univeriteit Twente.
- Royal Haskoning. (2012). *OAS Burgum "Nieuwe stijl"*. Leeuwarden: Wetterskip Fryslân en Gemeente Tytstjerksteradiel.
- STOWA. (2007). *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water*. Utrecht: STOWA.
- Stowa. (2012). *Blauwalgenprotocol*. Stowa. Opgeroepen op 4 20, 2016, van Stowa: http://cyanobacterien.stowa.nl/Upload/Blauwalgenprotocol_2012.pdf
- TNO. (2015). *Dinoloket ondergrondgegevens*. Opgeroepen op April 13, 2016, van Dinoloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>

- TNO. (2015). *Dinoloket ondergrondmodellen*. Opgeroepen op april 13, 2016, van Dinoloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondmodellen>
- Water, S. (2013, Juli 9). *Helpdesk Water*. Opgeroepen op April 20, 2016, van Stuurgroep water: <http://www.helpdeskwater.nl/algemene-onderdelen/structuur-pagina'/zoeken-site/@36649/beslisnotitie/>
- Waterkwaliteitsportaal. (2015, november 10). *Waterkwaliteitsportaal*. Opgeroepen op april 14, 2016, van Waterkwaliteitsportaal: https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/Factsheets/December2015Publiek/Oppervlakte water/factsheet_OW_02_Wetterskip_Fryslan_2015-11-10-02-31-25.pdf
- Wetterskip Fryslân. (2015). *Zwemwaterprofiel van het zwemwater dagrecreatieterrein Klein Zwitserland*. Leeuwarden: Wetterskip Fryslân.
- Wetterskip Fryslân. (2015). *Zwemwaterprofiel van het zwemwater swimplak Blauwhoek*. Leeuwarden: Wetterskip Fryslân.
- Wetterskip Fryslân. (2015). *Zwemwaterprofiel van het zwemwater swimplak Eastermar*. Leeuwarden: Wetterskip Fryslân.
- Zee, V. I. (2016, 08 26). *Info over definities*. Opgehaald van [www.vliz.be](http://www.vliz.be/vmdcdata/faq/keywords.php?id=84): <http://www.vliz.be/vmdcdata/faq/keywords.php?id=84>

Bijlage 1 Uitwerking berekening golfkrachten

Het is belangrijk om te weten of de te realiseren constructie bestendig is tegen de golfkrachten die op de constructie komen. In het meer zijn er alleen maar windgolven, d.w.z. dat er geen watertransport plaats vindt. Om de maximale golfkracht te kunnen berekenen is een zeer zware storm genomen met windsnelheden van 30 m/s (windkracht 10).

Er zijn verder nog enkele basisgegevens nodig om uiteindelijk tot een maximale golfhoogte en -kracht te komen. Dit zijn de gemiddelde waterdiepte en strijklengte. De gemiddelde waterdiepte is 2 meter en de strijklengte 1000 meter. Met deze twee gegevens kan met grafiek zeer zware storm (Nortier & De Koning, 1996) de maximale golfhoogte en -lengte vastgesteld worden. Aflezen in de afbeelding 34 geeft een golfhoogte van 0.6 meter en een golflengte van 8.5 meter.



Afbeelding 34 Zeer zware storm Bron: (Nortier & De Koning, 1996)

Tabel 7 Basisgegevens

Diepte	h	2	meter
Strijklengte	l	1000	meter
Golfhoogte	H ₀	0,6	meter
Golflengte	L	8,5	meter

Met deze 4 basis gegevens, tabel 7, kan er een begin worden gemaakt met de berekeningen om tot een uiteindelijke golfkracht te komen. Eerst zal de golfperiode worden berekent, de formule is: $T = (3.5 \dots 4) * \sqrt{H}$, met H als golfhoogte.

Invullen geeft: $T = (3.75) * \sqrt{0.6} = 2,9 \text{ sec}$

Nu moet er gecontroleerd worden of de golf op de plek van de constructie breek of niet. Dit wordt gedaan om dat voor de 2 situaties, niet of wel brekende golf, 2 verschillende berekeningen worden gebruikt. Om dit dus te controleren wordt het volgende gebruikt; als $h > 1.25 * h_b$ dan is het een ongebroken golf, met h de waterdiepte en $h_b = 1.5 * H$ met H als de golfhoogte. Het is een brekende golf als $h < 0.75 * h_b$. Bij deze berekening wordt de waterdiepte (h) bij de constructie genomen, dat is een diepte van 1,5 m.

Invullen geeft: $h_b = 1.5 * 0,6 = 0,9$

Invullen geeft: $1.5 > 1,25 * 0,9 = 1,125$

Het is dus een ongebroken golf, nu kunnen de dynamische druk (P_{dyn}) en de hydrostatische druk (P_{hyd}) worden berekend. Hier uit volgt dan P_{totaal} wat de uiteindelijke golfkracht op de constructie is.

De formule voor de dynamische druk is: $P_{dyn} = \frac{\rho g H}{\cosh \frac{2\pi H}{L}}$

De formule voor de hydrostatische druk is: $P_{hyd} = \rho * g * h$

Invullen P_{dyn} geeft:

$$P_{dyn} = \frac{1000 * 9,81 * 0,6}{\cosh \frac{2\pi * 0,6}{8,5}} = 5,35 \text{ kN/m}^2$$

Invullen P_{hyd} geeft:

$$P_{hyd} = 1000 * 9,81 * 2 = 19,62 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{tot} = P_{dyn} + P_{hyd} = 5,35 + 19,62 = 24,97 \text{ kN/m}^2$$

Uit de berekening volgt een totaal kracht van 24,97 kN/m² die de constructie moet kunnen weerstaan. Bij de 3 alternatieven wordt gebruik gemaakt van 3 verschillende materialen, beton, azobé en basalt. In tabel 8 is weergegeven of deze 3 materialen de golfkracht kunnen weerstaan.

Tabel 8 Krachten

Krachten Materiaal	Drukkracht in kN/m ²	Buigkracht in kN/m ²	Kracht op constructie in kN/m ²	Voldoet wel/niet
Azobe	72000	157000	24,97	Wel
Basalt	98000	16700	24,97	Wel
EPS Beton	10000	12000	24,97	Wel

Alle 3 de materialen kunnen de golfkrachten in het Bergumermeer ruim aan. Voor azobé en basalt zijn standaard waarden gebruikt, beton daar in tegen is onderverdeeld in klassen volgens de NEN-EN 206:2014. De laagste klasse, C8/10 voldeed al ruim om de golfkrachten te weerstaan, er is er dus voor gekozen om het beton volgens deze klasse toe te passen.

Bijlage 2 KRW

De Kaderrichtlijn Water (KRW) is een Europese richtlijn die ervoor zorgt dat alle landen in de Europese Unie naar de zelfde doelen werken, een kader hebben om in te werken en de aquatische ecosystemen beschermen en verbeteren. Het gaat hier om doelen die voor een goede ecologische en chemische toestand zorgen in alle wateren. Met name Nederland heeft een groot belang bij schoon water in andere landen, omdat het water uit Europa via Nederland wordt afgevoerd naar zee. Alle vervuiling die andere landen in het zelfde stroomgebied veroorzaken, komen Nederland in en kunnen de hier genomen maatregelen te niet doen.

Ook het Bergumermeer behoort tot de wateren waar de KRW geldt. De KRW is onderverdeeld in categorieën, typen en namen:

Geografie

Matig grote, vlakvormige, vrij ondiepe, gebufferde zoete wateren. De meren kennen hun oorsprong door invloeden van de mens en worden gevonden in laagveengebieden. (STOWA, 2007)

Hydrologie

Voeding door regen- en grondwater en/of instromend oppervlaktewater. Variatie van voeding zorgt voor variatie in verblijftijd en nutriëntenbelasting.



Afbeelding 35 Referentiebeelden ondiepe gebufferde meren (STOWA, 2007)

Van nature is er een peilfluctuatie aanwezig met een verschil van waterstanden dat varieert en afhankelijk is van de omgeving. Grote vloedvlaktes kunnen ontstaan door deze waterpeilfluctuatie. De wind heeft ook een groot aandeel in het meer, zoals waterbeweging en golfwerking, waardoor erosie- en sedimentatieprocessen ontstaan. (STOWA, 2007)

Structuren

De bodem bestaat uit zand, veen <50% en/of klei. Doordat de wind een grote invloed heeft op het water is de bodem in de golfslagzone in veel gevallen stevig en kaal. Aan de lijzijde hoopt sediment zich op dat voornamelijk uit organisch materiaal bestaat en dat door de heersende zuidwestenwind in het zuidwesten van de plas ligt. Aan de noordoostkant vindt juist erosie plaats. (STOWA, 2007)

Chemie

Het water is neutraal tot basisch en kan veranderen van oligotroof tot?, afhankelijk van de voeding. Ondanks de goede zuurstofvoorziening kan in de zuidwesthoek, waar veel slib aanwezig is, een situatie optreden met tijdelijke zuurstofdepletie aan het eind van de avond. (STOWA, 2007)

Biologie

Net als de abiotische samenstelling kan ook de biotische samenstelling variëren. In de oeverzone kunnen uitgestrekte gordels met waterplanten voorkomen. Doordat in de zuidwesthoek verlanding optreedt, is er sprake van zonering met ondiep wortelende soorten naar dieper wortelende drijfbladvegetaties. De fauna die hier domineert is aangepast aan de sterk veranderende zuurstofvoorziening.

De vroeger in Nederland voorkomende conditie is een mesotrofe tot eutrofe conditie: helder, matig voedselrijk tot voedselrijk water met een bodem die, volledig begroeid kan zijn met onderwaterplanten, zoals kranswieren en fonteinkruiden. (STOWA, 2007)

Het Bergumermeer

Het Bergumermeer behoort tot de Friese boezem – overige meren. In tabel 9 is de maatlat weergegeven voor ondiepe, gebufferde meren, waar het Bergumermeer onder valt. In tabel 10 staan de ecologische en chemische toestand in 2009, 2015 en de prognoses voor 2021 en 2027 van onder andere het Bergumermeer (Friese boezem) weergegeven. Zoals te zien is de biologie op macrofauna en overige waterflora erop vooruit gegaan tussen 2009 en 2015. De visstand is in de zelfde tijd wel achteruit gegaan. Dit heeft echter te maken met een verandering van de maatlat tussen 2009 en 2015, waardoor de toestanden van de elementen anders wordt berekend. Ook de algemeen fysische chemie is verslechterd. Het Goed Ecologisch Potentieel(GEP) wordt alleen behaald op zoutgehalte, temperatuur en zuurstofverzadiging. Algemeen kan gesteld worden dat het GEP nog lang niet gehaald is, waarbij met name de biologie te wensen over laat.

Tabel 9 Maatlat algemene fysisch - chemische kwaliteitselementen (STOWA, 2007)

Kwaliteitselement	Indicator	Eenheid	Zeer goed	Goed	Matig	Ontoereikend	Slecht
Thermische omstandigheden	dagwaarde	°C	≤ 23	≤ 25	25 – 27,5	27,5 – 30	> 30
Zuurstofhuishouding	verzadiging	%	60 – 120	60 – 120	50 – 60	40 – 50	< 40
					120 – 130	130 – 140	> 140
Zoutgehalte	chloriniteit	mg Cl/l	≤ 200	≤ 200	200 – 250	250 – 300	> 300
Zuurgraad	pH	-	5,5–8,5	5,5–8,5	8,5 – 9,0 < 5,5	9,0 – 9,5	> 9,5
Nutriënten	totaal-P	mgP/l	≤ 0,04	≤ 0,09	0,09 – 0,18	0,18 – 0,36	> 0,36
	totaal-N	mgN/l	≤ 1,0	≤ 1,3	1,3 – 1,9	1,9 – 2,6	> 2,6
Doorzicht	SD	m	> 2,0	≥ 0,9	0,6 – 0,9	0,45 – 0,6	< 0,45

Tabel 10 Toestand en prognose van ecologie en chemie van Friese boezem, (Waterkwaliteitsportaal, 2015)

Biologie	GEP	Toestand 2009	Toestand 2015	Prognose 2021	Prognose 2027
Macrofauna (EKR)	$\geq 0,50$	 *			
Overige waterflora (EKR)	$\geq 0,40$	 *			
Vis (EKR)	$\geq 0,30$	 *			
Fytoplankton (EKR)	$\geq 0,50$	 *			

Algemeen fysische chemie

Fosfor totaal (zomergemiddelde) (mg P/l)	$\leq 0,09$	 *	 A		
Stikstof totaal (zomergemiddelde) (mg N/l)	$\leq 1,30$	 *	 A		
DIN (winterperiode) (mg N/l)	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT
Zoutgehalte (zomergemiddelde) (mg Cl/l)	≤ 200	 *			
Temperatuur (max. waarde) (gr.C)	$\leq 25,0$	 *			
Zuurgraad (zomergemiddelde) (-)	5,5 - 8,5	 *			
Zuurstofverzadiging(sgraad)(zomergemiddelde) (%)	60 - 120	 *			
Doorzicht (zomergemiddelde) (m)	$\geq 0,65$	 *			

Specifieke verontreinigende stoffen (normoverschrijding)	Toestand 2009	Toestand 2015	Prognose 2021	Prognose 2027
ammonium	 *			

Legenda:  blauw = zeer goed / voldoet  groen = goed  geel = matig  oranje = ontoereikend
 rood = slecht / voldoet niet leeg = geen gegevens

*: deze toestandsbeoordeling betreft een expertoordeel.

Afhankelijk van het type KRW-waterlichaam dat gebruikt is voor de toestandsbeoordeling (het doeltyp, hier M14) zijn bepaalde maatlaten niet van toepassing. Deze maatlaten zijn met NVT in de toestandskolommen gemarkeerd.

A: Er is sprake van achteruitgang van de toestand ten opzichte van 2009

Door de lozing van de rioolzuiveringsinstallatie heeft het meer te maken met extra belasting door stikstof en fosfaat, wat een negatief effect kan hebben op de waterkwaliteit. (Waterkwaliteitsportaal, 2015)

Status “Sterk veranderd”

De KRW schrijft voor dat alle wateren in ‘Goede Ecologische Toestand’ (GET) moeten zijn. In sommige gevallen is dit niet meer mogelijk of alleen te bereiken door maatregelen die onevenredig hoge kosten met zich meebrengen, waardoor het doel ‘Goed Ecologisch Potentieel’(GEP) is.

KRW-maatregelen

De referentiebeschrijving M14, waar het Bergumermeer onder valt, omschrijft dat er een peilfluctuatie in de plas is. Maatregelen om tot de GET te komen zijn onder andere: flexibel peilbeheer in boezemwater en verwijderen van waterkeringen. Deze zijn allebei niet uitvoerbaar, omdat de schade aan landbouw, beroepsvaart en stedelijk gebied dusdanig hoge kosten veroorzaakt, dat dit niet gewenst is (STOWA, 2007).

Naast de niet-uitvoerbare maatregelen die hierboven staan beschreven zijn er ook maatregelen die technisch gemakkelijker te realiseren zijn en minder schade en/of kosten met zich meebrengen. Maatregelen die al uitgevoerd worden, zijn:

- Boezemlanden;
- Natuurvriendelijke oevers;
- Uitbreiding waterberging in deelsystemen;
- Vispassages.

(Provinsje Fryslân en Wetterskip Fryslân, 2009)

Bijlage 3 Zwemwaterprofielen

In het zwemwaterprofiel worden de risico's voor de zwemmers en de waterkwaliteit geïnventariseerd. Dit zijn de risico's van fecale bacteriën en blauwalgen voor de zwemmers. Als de zwemlocatie te wensen overlaat komen er ook mogelijke maatregelen aanbod in het zwemwaterprofiel.

In dit hoofdstuk worden de zwemwaterprofielen van de 3 zwemlocaties van het Bergumermeer met elkaar vergeleken. Dit zal uiteindelijk een duidelijker beeld moeten scheppen waarom bepaalde locaties niet aan de richtlijnen voldoen en een ander locatie in het meer wel. Ook wordt er onderzocht wat andere knelpunten zijn, hiervoor wordt een veldbezoek gedaan.

Blauwhoek

Het strand Blauwhoek is sinds 2013 een officiële zwemwaterlocatie, die sindsdien tijdens het zwemseizoen met regelmaat gecontroleerd wordt op de waterkwaliteit. De omgeving van Blauwhoek bestaat uit grasland waar extensieve veeteelt plaatsvindt. Ten noorden van Blauwhoek ligt een rietland met als functie vogelbroedgebied. De ligging van het strand ligt zeer ongunstig ten opzichte van de overheersende windrichting, afbeelding 36. Door de overheersende zuidwesten- of westenwind drijft de verontreiniging door de windgolven richting Blauwhoek. Hierdoor kan er ophoping ontstaan van fecale bacteriën, waardoor de waterkwaliteit achteruit gaat. Dit hoeft niet het geval te zijn, omdat het Prinses Margrietkanaal een grote trek veroorzaakt waardoor de verontreiniging niet bij Blauwhoek belandt. Blauwhoek valt onder de kwaliteitsklasse 'Uitstekend'. (Wetterskip Fryslân, 2015)



Afbeelding 36 Ongunstige ligging Blauwhoek

Fecale verontreiniging

In de twee jaren dat uit het water bij Blauwhoek monsters zijn genomen was de waterkwaliteit goed. Zie tabel 11 waarschuwingen blauwhoek.

Tabel 11 Waarschuwingen Blauwhoek, bron: (Wetterskip Fryslân, 2015)

	Fecaal			Blauwalgen		
	Waar-schuwingen	Negatief zwemadvies	Zwem-verbod	Waar-schuwingen	Negatief zwemadvies	Zwem-verbod
2013	0	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0	0

De tabel is tot stand gekomen door de metingen op *Escherichia coli* en Intestinale enterococci. In tabel 12 zijn de fecale meetgegevens weergegeven van Blauwhoek. De normen zijn vastgesteld in de *Beslisnotitie werkwijze individuele metingen en meetfrequentie microbiologische parameters zwemwaterrichtlijn* van de stuurgroep water (Water, 2013)

De normen zijn als volgt:

- *Escherichia coli*: 1800kve²/100 ml
- Intestinale enterococci: 400kve/100 ml

Uit de tabel blijkt dat, in de twee jaar dat Blauwhoek bemonsterd is, geen overschrijding van de normen is, waardoor het niet noodzakelijk was om een waarschuwing uit te geven. In 2013 was er een dag waar de analyse omhoog schoot met betrekking tot de *Escherichia coli*. De piek lag nog onder de norm waardoor er geen reden was om maatregelen te treffen.

Tabel 12 Meetgegevens fecale verontreiniging, (Wetterskip Fryslân, 2015)

	Locatie	Code meetpunt	Datum bemonstering	Jaar	<i>Escherichia Coli</i> (kve/100ml)	Intestinale enterococci (kve/100ml)
norm					1800	400
1	Jistrum, Blauwhoek	0872	21-5-2013	2013	50	< 15
2	Jistrum, Blauwhoek	0872	3-6-2013	2013	< 15	< 15
3	Jistrum, Blauwhoek	0872	17-6-2013	2013	< 15	< 15
4	Jistrum, Blauwhoek	0872	1-7-2013	2013	60	< 15
5	Jistrum, Blauwhoek	0872	15-7-2013	2013	30	< 15
6	Jistrum, Blauwhoek	0872	29-7-2013	2013	80	20
7	Jistrum, Blauwhoek	0872	12-8-2013	2013	110	20
8	Jistrum, Blauwhoek	0872	26-8-2013	2013	30	< 15
9	Jistrum, Blauwhoek	0872	9-9-2013	2013	1700	30
10	Jistrum, Blauwhoek	0872	28-4-2014	2014	20	< 15
11	Jistrum, Blauwhoek	0872	12-5-2014	2014	80	20
12	Jistrum, Blauwhoek	0872	26-5-2014	2014	30	20
13	Jistrum, Blauwhoek	0872	10-6-2014	2014	< 15	30
14	Jistrum, Blauwhoek	0872	23-6-2014	2014	< 15	30
15	Jistrum, Blauwhoek	0872	7-7-2014	2014	20	20
16	Jistrum, Blauwhoek	0872	21-7-2014	2014	80	20
17	Jistrum, Blauwhoek	0872	4-8-2014	2014	60	30
18	Jistrum, Blauwhoek	0872	18-8-2014	2014	160	60
19	Jistrum, Blauwhoek	0872	1-9-2014	2014	20	90
20	Jistrum, Blauwhoek	0872	15-9-2014	2014	250	30

Blauwalg

Tijdens het zwemseizoen wordt de zwemlocatie ook op blauwalg bemonsterd. Er zijn 2 categorieën waar de blauwalg op getoetst wordt. De categorieën komen uit het Blauwalgenprotocol (Stowa, 2012). In tabel 13 zijn de 2 categorieën weergegeven.

² Kve is het kiemgetal of kolonievormende eenheden d.w.z. het aantal bacteriën dat zich in het monster bevindt. Bij de *e coli* bacterie mogen 1.800.000 bacteriën kiemen in 100 ml.

Tabel 13 Blauwalgenprotocol (bron: (Stowa, 2012))

Risiconiveau	Cyanochlorofyl toxisch (ug/l)	Drijfslaag*	Biovolume (mm ³ /l)	Advies
-	<12,5	Cat. I	<2,5	-
Gering gezondheidsrisico	12,5-75	Cat. II	2,5-15	Waarschuwing
Gezondheidsrisico	>75	Cat. III	>15	Negatief zwemadvies

* Toelichting drijfslaag categorie:

Cat. I: Er zijn (gif)groene bolletjes of draadjes (cellen van blauwalgen) op het oppervlak. In deze situatie is er eigenlijk geen drijfslaag aanwezig, er zijn wel drijvende (clusters van) cellen.

Cat. II: Er zijn veel cellen en dichte plakkaten op het oppervlak. De waterfase is nog regelmatig zichtbaar.

Cat. III: Er zijn veel cellen en dichte plakkaten op het oppervlak. De heldere waterfase is zelden of nooit zichtbaar. De laag heeft enige massa en consistentie en zal niet snel weer mengen in het water.

In Tabel 14 zijn de meetgegevens over blauwalg weergegeven van het strand Blauwhoek. In 2014 is er een keer voorgekomen dat de norm is overschreden. Bij de overschrijding wordt er nog een keer bemonsterd om te onderzoeken of de norm van de toxische hoeveelheid wordt overschreden. Dit was in 2014 niet het geval waardoor er geen waarschuwing/zwemverbod werd afgegeven.

Tabel 14 Meetgegevens blauwalg, (Wetterskip Fryslân, 2015)

	Locatie	Code meetpunt	Datum bemonstering	Jaar	Cyanochlorofyl (totaal)	Cyanochlorofyl (toxisch)	Risiconiveau blauwalg
norm					400		
1	Jistrum, Blauwhoek	0872	21-5-2013	2013	< 7		0
2	Jistrum, Blauwhoek	0872	3-6-2013	2013	< 7		0
3	Jistrum, Blauwhoek	0872	17-6-2013	2013	< 7		0
4	Jistrum, Blauwhoek	0872	1-7-2013	2013	< 7		0
5	Jistrum, Blauwhoek	0872	15-7-2013	2013	< 7		0
6	Jistrum, Blauwhoek	0872	29-7-2013	2013	7,7		0
7	Jistrum, Blauwhoek	0872	12-8-2013	2013	< 7		0
8	Jistrum, Blauwhoek	0872	26-8-2013	2013	< 7		0
9	Jistrum, Blauwhoek	0872	9-9-2013	2013	10,2		0
10	Jistrum, Blauwhoek	0872	28-4-2014	2014	< 7		0
11	Jistrum, Blauwhoek	0872	12-5-2014	2014	< 7		0
12	Jistrum, Blauwhoek	0872	26-5-2014	2014	< 7		0
13	Jistrum, Blauwhoek	0872	10-6-2014	2014	< 7		0
14	Jistrum, Blauwhoek	0872	23-6-2014	2014	< 7		0
15	Jistrum, Blauwhoek	0872	7-7-2014	2014	12,3		0
16	Jistrum, Blauwhoek	0872	21-7-2014	2014	< 7		0
17	Jistrum, Blauwhoek	0872	4-8-2014	2014	20,0	< 7	0
18	Jistrum, Blauwhoek	0872	18-8-2014	2014	< 7		0
19	Jistrum, Blauwhoek	0872	1-9-2014	2014	< 7		0
20	Jistrum, Blauwhoek	0872	15-9-2014	2014	< 7		0

Mogelijke maatregelen

Bij Blauwhoek is waterkwaliteit uitstekend, om deze kwaliteit te kunnen waarborgen is het mogelijk om al maatregelen toe te passen. Op de zwemlocatie kan beter geïnformeerd worden door een informatie bord te plaatsen, deze ontbreekt nog op de locatie. Om geen vogels en/of ongedierte aan te trekken moet afval verwijderd worden. Verder is een maatregel om tijdens het zwemseizoen uitwerpselen van vogels en andere dieren dagelijks te verwijderen. De

laatste maatregel om de waterkwaliteit te waarborgen is het toezien dat het verbod op honden en paarden wordt gehandhaafd. Bij het strand is er geen kans op strandafslag omdat er een steiger voorlangs is geplaatst met weerskanten een houten damwand. (Wetterskip Fryslân, 2015)

Eastermar

Zwemlocatie Eastermar is een officieel zwemwater sinds 1998. Sindsdien wordt er, tijdens het zwemseizoen, geregeld gecontroleerd of de zwemwaterkwaliteit nog minimaal aanvaardbaar is. Rondom het strand is een vogelbroedgebied met rietvelden aanwezig, (afbeelding 37). De ligging van het strand is, net zoals Blauwhoek, ongunstig ten opzichte van de overheersende windrichting. Ieder jaar is het noodzakelijk om nieuw zand aan te brengen door de strandafslag in het winterseizoen. De strandafslag is weergegeven in afbeelding 38. (Wetterskip Fryslân, 2015)



Afbeelding 37 Vogelbroedgebied



Afbeelding 38 Strandafslag

Fecale verontreiniging

Zoals is eerder genoemd wordt er naar de laatste 4 jaar gekeken om een zwemadvies uit te geven. De norm van de hoeveelheid kve/100ml die mag voorkomen in zwemwater met betrekking tot fecale verontreiniging is 400 kve/100ml. De norm is in de afgelopen 4 jaar 5 keer overschreden. Hiervoor is 3 keer een waarschuwing uit gegeven maar het heeft nooit geresulteerd in een zwemverbod. In tabel 15 zijn de meetgegevens van de fecale verontreinigingen weergegeven.

Tabel 15 Meetgegevens fecale verontreiniging Eastermar, (Wetterskip Fryslân, 2015)

2010 – 2014. datum	Intestinale Enterokokken (kve/100ml)	datum	Intestinale Enterokokken (kve/100ml)
10-5-2010	90	29-8-2012	500
19-7-2010	90	3-9-2012	90
16-8-2010	640	15-7-2013	< 15
30-8-2010	250	29-7-2013	50
18-7-2011	80	9-9-2013	110
29-8-2011	230	11-9-2013	30
30-7-2012	20	21-7-2014	970
27-8-2012	2600	1-9-2014	490

Blauwalg

Van 2011 tot en met 2014 zijn er veel waarschuwingen uitgegeven met betrekking op de blauwalg die bij de zwemlocatie aanwezig was. In de 4 jaar dat er gemeten is was er maar 4 keer spraken van dat de kwaliteit niet slecht was. Door deze gegevens heeft Eastermar jarenlang een slechte waterkwaliteit gehad. Afgelopen jaar, 2015, was de waterkwaliteit weer

goed. Dit kwam door de toegepaste maatregel om een palenrij te verwijderen. De blauwalg ontstond door te weinig doorstroming van het zwemwater, omdat die teveel was afgesloten van het Bergumermeer. In tabel 16 zijn de meetgegevens van de aangetroffen blauwalg weergegeven. (Wetterskip Fryslân, 2015)

Tabel 16 Meetgegevens blauwalg Eastermar, (Wetterskip Fryslân, 2015)

2011-2014	Cyanochlorofyl totaal (µg/l)	Cyanochlorofyl toxisch (µg/l)	datum	Cyanochlorofyl totaal (µg/l)	Cyanochlorofyl toxisch (µg/l)
23-5-2011	21	21	15-8-2011	27	27
30-5-2011	38	38	24-8-2011	30	30
6-6-2011	13,5	13,5	29-8-2011	20	20
15-6-2011	28	28	5-9-2011	11,5	-
20-6-2011	31	31	12-9-2011	34	34
27-6-2011	35	35	21-9-2011	38	38
4-7-2011	5,4	-	9-9-2013	24	24
18-7-2011	36	35	11-9-2013	8,8	-
25-7-2011	59	59	16-7-2014	37	37
1-8-2011	33	33	21-7-2014	< 7	-
9-8-2011	24	24			

Mogelijke maatregelen

Mogelijke maatregelen om de waterkwaliteit te verbeteren is onder andere het terugdringen van vogels bij de zwemwaterlocatie. Is dit niet mogelijk dan wordt er geopperd om dagelijks tijdens het zwemseizoen de poep van de vogels te verwijderen. Net zoals bij Blauwhoek moet hier er streng op worden gezien dat honden en paarden het terrein niet betreden. Een laatste mogelijke maatregel is het plaatsen van toiletten, nu zijn er helemaal geen sanitaire voorzieningen aanwezig.

Een mogelijke maatregel om blauwalg tegen te gaan op de zwemlocatie, is het verbeteren van een goede doorstroom waardoor blauwalg geen tijd heeft zich te ontwikkelen in het zwemwater. (Wetterskip Fryslân, 2015)

Klein Zwitserland

Zwemlocatie Klein Zwitserland is sinds de jaren '60 een zwemwater en ligt aan de westkant van het Bergumermeer. Aan de noordkant van het strand stroomt het Prinses Margrietkanaal het meer binnen. Verder bestaat de omgeving uit een vakantiepark met camping. De ligging van Klein Zwitserland ligt gunstig ten opzichte van de overheersende windrichting. Het strand ligt in een luwte door de strekdam van het Prinses Margrietkanaal, (Afbeelding 39). Een mogelijk gevolg hiervan is dat er weinig doorstroming bij het strand plaats vindt, waardoor het water niet wordt 'ververst' en de locatie in de kwaliteitsklasse 'slecht' valt. Het strand is gesitueerd naast een recreatiepark van waaruit veel activiteiten georganiseerd wordt. Deze activiteiten worden gehouden op het strand en vanuit de jachthaven ten zuiden van de zwemlocatie. (Wetterskip Fryslân, 2015)



Afbeelding 39 Strekdam

Fecale verontreinigingen

In de laatste 4 jaar is er 2 keer een overschrijding van de norm geweest, hiervoor is alleen in 2012 een waarschuwing afgegeven, tabel 18. In 2013 is geen waarschuwing afgegeven omdat de 2^e bemonstering niet de norm overschreed. De gegevens gaan maar tot en met 2014, maar in 2015 is de norm vaker overschreden waardoor aankomend zwemseizoen de zwemlocatie een negatief zwemadvies krijgt met de beoordeling slecht voor de waterkwaliteit. Dit komt doordat er naar het gemiddelde van de afgelopen 4 zwemseizoenen wordt gekeken en het gemiddelde valt nu negatief uit.

Tabel 17 Meetgegevens fecale verontreiniging Klein Zwitserland, (Wetterskip Fryslân, 2015)

datum	<i>Escherichia Coli</i> (kve/100ml)	Intestinale Enterokokken (kve/100ml)	datum	<i>Escherichia Coli</i> (kve/100ml)	Intestinale Enterokokken (kve/100ml)
30-8-2010	960	140	29-7-2013	4100	110
18-7-2011	710	60	31-7-2013	480	50
23-4-2012	570	90	9-9-2013	1800	80
27-8-2012	2200	140	15-9-2014	920	50
1-7-2013	940	60			

Blauwalg

Alleen in 2011 is er blauwalg aangetroffen op de zwemlocatie. Dit gebeurde in totaal 4 keer in de maanden juli en augustus. In de daarop volgende jaren is er geen enkele keer meer blauwalg aangetroffen bij zwemlocatie Klein Zwitserland. Behalve in 2014, hier is een keer blauwalg aangetroffen en bemonsterd. Bij de bemonstering bleek de toxische hoeveelheid onder de norm te zitten, hierdoor was het niet nodig om een waarschuwing of zwemverbod uit te geven. Zie tabel 19.

Tabel 18 Meetgegevens blauwalg Klein Zwitserland, (Wetterskip Fryslân, 2015)

datum	Cyanochlorofyl totaal (µg/l)	Cyanochlorofyl toxisch (µg/l)
4-7-2011	18	18
11-7-2011	9,8	-
1-8-2011	58	58
9-8-2011	< 5	-
15-8-2011	18	18
24-8-2011	25	25
29-8-2011	7,4	-

Mogelijke maatregelen

Er zijn verschillende maatregelen mogelijk om de waterkwaliteit te verbeteren. Bij het strand kan een betere doorstroming worden gecreëerd waardoor er geen verontreinigingen blijven hangen. Elke ochtend in het zwemseizoen (vogel)poep verwijderen op en rond de zwemwaterlocatie.

Het verbeteren van de doorstroming ligt het meest voor de hand omdat de fecale verontreiniging van humane afkomst is. (Wetterskip Fryslân, 2015)

Bijlage 4 Tekening Betonnen Drijvers

Bijlage 5 Tekening Schanskorven

Bijlage 6 Tekening Damwand

Bijlage 7 Tekening Geklampte Schotten

Bijlage 8 Kostenramingen alternatieven

Globale kostenraming betonnen drijvers				
Materiaal	Eenheid	Aantal	Prijs	Totaal
Drijvers	st	8	€ 500,00	€ 4.000,00
palen	st	4	€ 250,00	€ 1.000,00
Koppelstukken	st	48	€ 15,00	€ 720,00
Materieel				
ponton	uur	8	€ 40,00	€ 320,00
Kraan	uur	8	€ 70,00	€ 560,00
Grondwerker(2)	uur	16	€ 35,00	€ 560,00
Totaal excl staartkosten				€ 7.160,00
Algemene kosten 8 %				€ 572,80
Uitvoeringskosten 7 %				€ 501,20
Winst & Risico 4 %				€ 286,40
				€ 8.520,40

Globale kostenraming geklachte schotten				
Materiaal	Eenheid	Aantal	Prijs	Totaal
Geklachte schotten	m2	52	€ 20,00	€ 1.040,00
palen	st	11	€ 20,00	€ 220,00
Slotbouten	st	88	€ 2,00	€ 176,00
Materieel				
ponton	uur	8	€ 40,00	€ 320,00
Kraan	uur	8	€ 70,00	€ 560,00
Grondwerker(2)	uur	16	€ 35,00	€ 560,00
Totaal excl staartkosten				€ 2.876,00
Algemene kosten 8 %				€ 230,08
Uitvoeringskosten 7 %				€ 201,32
Winst & Risico 4 %				€ 115,04
			Totaal	€ 3.422,44

Globale kostenraming schanskorven				
Materiaal	Eenheid	Aantal	Prijs	Totaal
Schanskorven	st	9	€ 90,00	€ 810,00
Breuksteen	ton	23,8	€ 20,00	€ 476,00
Palen	st	20	€ 100,00	€ 2.000,00
Dwarsplanken	st	20	€ 15,00	€ 300,00
Materieel				
Ponton	uur	8	€ 40,00	€ 320,00
Kraan	uur	8	€ 70,00	€ 560,00
Grondwerkers(2)	uur	16	€ 35,00	€ 560,00
Staartkosten				€ 5.026,00
Algemene kosten 8 %				€ 402,08
Uitvoeringskosten 7 %				€ 351,82
Winst & Risico 4 %				€ 201,04
				€ 5.980,94

Globale kostenraming Steenschotten				
Materiaal	Eenheid	Aantal	Prijs	Totaal
Steenschotten	st	16	€ 60,00	€ 960,00
Slotbouten	st	120	€ 0,80	€ 96,00
Palen	st	25	€ 50,00	€ 1.250,00
Materieel				
Ponton	uur	8	€ 40,00	€ 320,00
Kraan	uur	8	€ 70,00	€ 560,00
Grondwerkers(2)	uur	16	€ 35,00	€ 560,00
Totaal excl staartkosten				€ 3.746,00
Algemene kosten 8 %				€ 299,68
Uitvoeringskosten 7 %				€ 262,22
Winst & Risico 4 %				€ 149,84
			Totaal	€ 4.457,74

Bijlage 9 Reflectie Douwe Wijnja

Tijdens het schrijven van deze scriptie heb ik veel geleerd. Allereerst natuurlijk hoe je een onderzoek schrijft, uitvoert en hoe belangrijk het onderzoeksplan is als houvast. Ik denk achteraf dat we deze nog gedetailleerder hadden kunnen schrijven, want onderweg kwamen we alsnog dingen tegen waarvan we niet zeker wisten hoe diep we er op in moesten gaan en was het soms lastig om de focus te houden op dat wat moest gebeuren en dat wat overbodig is. Ten tweede heb ik geleerd om op tijd informatie en gegevens op te vragen. Was dit beter gegaan, dan hadden we efficiënter te werk kunnen gaan. Al lag dit ook niet altijd aan ons. De communicatie tussen ons het de begeleiding vanuit Wetterskip Fryslân verliep ook niet altijd vlekkeloos. Van te voren was ook al aangegeven dat de communicatie soms telefonisch of via de e-mail zou zijn, maar dit is niet ideaal. Achteraf gezien ben ik hier niet tevreden over en had dit anders gekund.

Het onderzoek met Sobek is goed gegaan en nuttig voor de gemeente, Wetterskip Fryslân en Klein Zwitserland. Hopelijk kunnen zij nu maatregelen nemen, zodat recreanten zonder risico op het schaden van hun gezondheid weer kunnen zwemmen. Ook over het ontwerp van Eastermar ben ik tevreden en zou het mooi zijn als iets dergelijks wordt gerealiseerd.

Als laatst wil ik mijn studiegenoot en goede vriend Maarten bedanken voor de prettige samenwerking tijdens dit project. Iets wat ook zeker goed is gegaan.

Bijlage 10 Reflectie Maarten Schuttenbeld

Het afstuderen is weer een stap hoger en waar nog meer van je verwacht wordt. Dit bleek wel na het inleveren van het onderzoeksplan. Ik zelf hechtte nooit zo veel waarde aan het onderzoeksplan. Tijdens het schrijven hiervan en later bij het uitwerken van de scriptie kwam ik er achter dat het onderzoeksplan zeer belangrijk is. Vooral qua afbakening en hoe diep op het onderzoek en de resultaten in gegaan moet worden. Hier heb ik zeker lering uitgetrokken.

Daarnaast is in de afgelopen 4 jaar planning niet mijn sterkste punt geweest, en dat bleek nu ook wel weer. Voor bepaalde dingen had ik meer tijd nodig dan verwacht. Verder vond ik het een interessant onderwerp om in afstuderen. Ik heb veel dingen geleerd over zwemwaterkwaliteit in het algemeen en in het programma Sobek. Sobek vond ik ook zeer leuk om te doen, wat ik van te voren niet had verwacht. Dit leek mij namelijk helemaal niks, daarom heb ik ook voor de major GWW gekozen.

De communicatie tussen ons, het wetterskip en school was af en toe wat stroef. Dit kwam doordat we doorgedaan zijn in de vakantie bij het wetterskip. Waardoor begeleiders niet altijd bereikbaar waren. Hier was van te voren al op ingespeeld maar leverde soms nog wel wat frustraties op. Hierdoor is er veel gebeurd in de laatste 2 weken. Daarom denk ik dat het eindresultaat beter en van een hoger niveau had kunnen zijn.

Over het uiteindelijke resultaat ben ik verder wel redelijk tevreden en ik hoop dat het wetterskip en de gemeente ook iets doen met ons resultaat.

De samenwerking met Douwe verliep vlekkeloos en was zeer prettig. Wij vulden elkaar goed aan tijdens het afstuderen en beide waren we niet bang om kritiek op elkaars ideeën te geven. Achteraf ben ik blij dat ik samen met Douwe ben gaan afstuderen en niet alleen. Met zijn tweeën bereik je toch meer.

|