



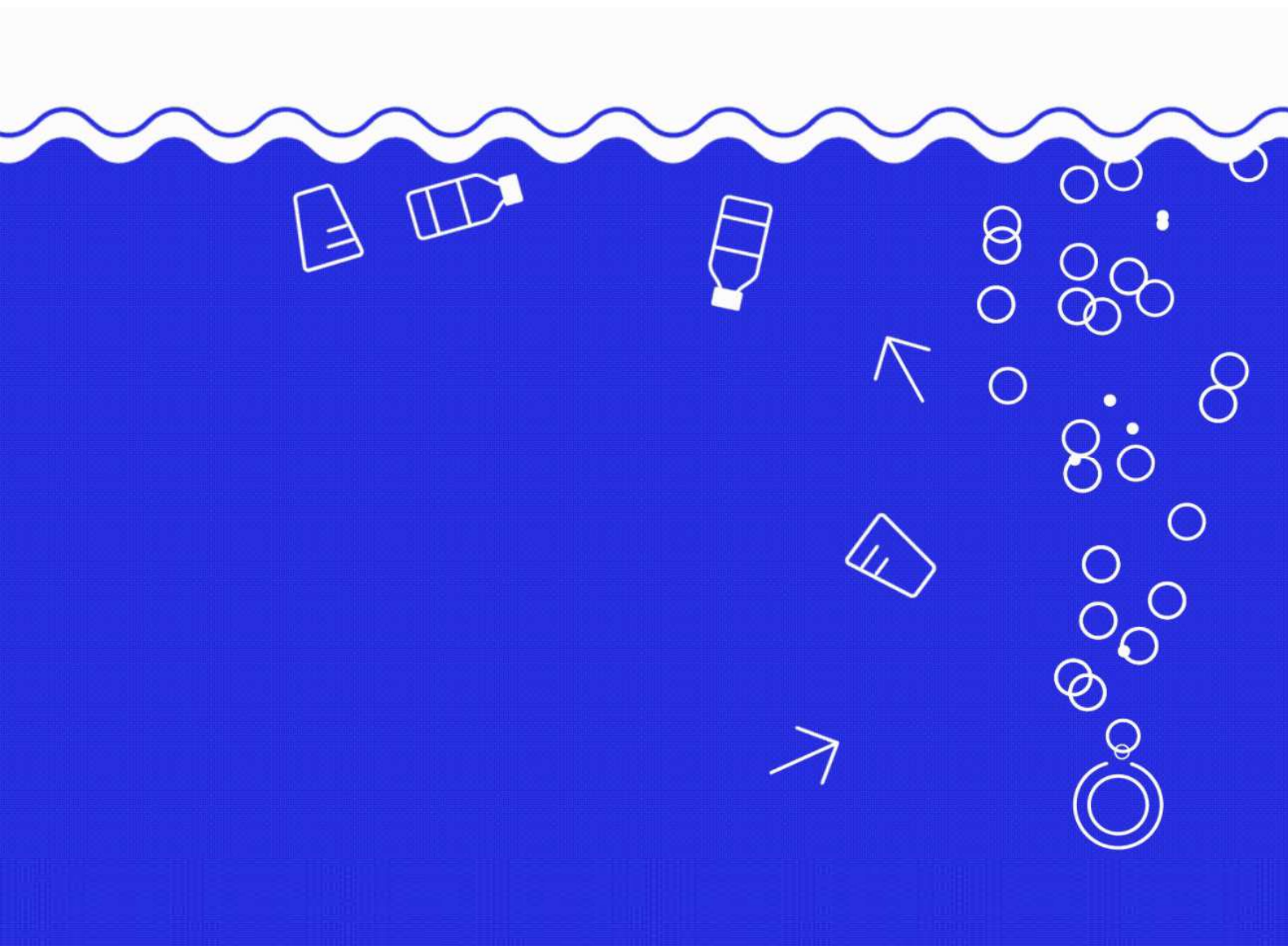
van hall
larenstein
university of applied sciences

STAGEVERSLAG

Plasticvrije Rivieren

Onderzoek naar het afvangen van plastic afval met behulp van bellenschermen

Bram Wijnants



STAGEVERSLAG

Plasticvrije Rivieren

Onderzoek naar het afvangen van plastic afval met behulp van bellenschermen

Bram Wijnants



In opdracht en in samenwerking met: **Rijkswaterstaat
Deltares
The Great Bubble Barrier**

Stagebegeleidster Rijkswaterstaat: **Marja Hamilton**
Stagebegeleidster Deltares: **Femke Verhaart**
Stagebegeleider Van Hall Larenstein: **Ad Bot**
Bron afbeelding voorkant: **Saskia Studer**
Opleiding: **Land- en Watermanagement**
Leerjaar/Periode: **3^e leerjaar, 3^e periode**
Datum: **05/01/2018**

Voorwoord

Voor u ligt mijn scriptie over het afvangen van macroplastic afval in stromend water door middel van een bellenscherm. Het onderzoek is voortgekomen uit de *Plastic Free Rivers Makathon*, een prijsvraag om met ideeën te komen voor het tegenhouden van plastic afval in de rivieren. The Great Bubble Barrier is hierin met het winnende idee gekomen; macroplastic afval afvangen met een bellenscherm. De prijs was de realisatie van een pilotopstelling in de IJssel. De pilot in de IJssel moet laten blijken of bellenschermen een geschikte techniek is om plastic afval tegen te houden. Om deze pilot te realiseren was het goed om voorafgaand bestaande kennis en inzichten te inventariseren tot een rapport over de huidige stand van zaken over bellenschermen en plastic afval. Daarnaast zijn er voorafgaand aan de pilot testen uitgevoerd in de stroomgoot bij Deltares. Dit voortraject naar het monitoringsplan is mijn stageonderzoek geworden. Tijdens mijn stage heb ik zelf drie rapporten opgesteld, samengebonden vormen ze mijn scriptie;

- Deel A Huidige kennis bellenschermen en plastic afval: Literatuuronderzoek
- Deel B Werking van het bellenscherm: Testprocedure
- Deel C Realisatie pilot IJssel: Monitoringsplan

Mijn motivatie putte ik uit het innovatieve- en duurzame karakter van het project en de prettige werksfeer. De stage is uitgevoerd onder begeleiding en in opdracht van Rijkswaterstaat en in samenwerking met Deltares en The Great Bubble Barrier. Graag bedank ik mijn stagebegeleidster Marja Hamilton, projectleidster Rijkswaterstaat en Femke Verhaart, adviseur en hydraulisch expert voor hun kennis ervaring en inzichten. Daarnaast wil ik het Bubble Barrier Team bedanken, bestaande uit: Anne Marieke Eveleens, Saskia Studer en Francis Zoet. Tot slot wil ik Ad Bot bedanken voor de begeleiding en feedback vanuit Van Hall Larenstein. Dit project heb ik gevolgd tijdens mijn derde jaar Land- en Watermanagement bij Van Hall Larenstein tijdens mijn 3e periode.

Bram Wijnants

Nijmegen
05/01/2018

Samenvatting

Het doel van dit onderzoek is om een monitoringsplan voor de pilot in de IJssel op te stellen. Voorafgaand aan dit monitoringsplan hebben er vanwege het innovatieve karakter van de opdracht testen in de stroomgoot plaatsgevonden en is er een onderzoeksrapport opgesteld over de huidige kennis bellenschermen en plastic afval. Het resultaat van dit onderzoek is het onderzoeksrapport over huidige kennis bellenschermen en plastic afval, een testprocedure voor het testen in de stroomgoot en een monitoringsplan voor de pilot in de IJssel. Daarnaast is een infographic gepresenteerd, deze is bijgevoegd in bijlage 5.

Voor het onderzoeksrapport over de huidige kennis bellenschermen en plastic afval is de volgende hoofdvraag opgesteld: 'Wat is er in de literatuur bekend over macroplastic afval, het monitoren ervan en het werkingsprincipe van een bellenscherm ten behoeve van de testprocedure en het monitoringsplan'.

Binnen het literatuuronderzoek is de hoeveelheid plastic afval in de IJssel geschat tussen de 25 en 35 ton macro-plasticafval per jaar. Het grootste gedeelte hiervan bestaat uit PE en PP, beide drijven. Het aandeel drijvende plastics ten opzichte van plastics in suspensie is ongeveer 85%. Stukken piepschuim van 0 – 2,5 cm, verpakkingsmateriaal, wattenstaafjes, touwen en vislijnen zijn de meest voorkomende plastic vervuiling in rivieren.

Vanuit de technische specificaties zijn bepaalde ontwerp vragen zoals de hoek en het luchtgebied omkaderd vanuit de literatuur. Voor de exacte debieten en hoeken zal verder getest moeten worden in de stroomgoot. Het luchtdebiet is niet meer rendabel vanaf ongeveer 5 NL/s/m¹ en een hoek² groter dan 45 graden lijkt uit de literatuur ongeschikt om de stroming tegen te houden.

Tot slot bleek uit het literatuuronderzoek dat er nog weinig bekend is over de invloed van wind op de plastics in water en is er geen vaste richtlijn voor het monitoren van plastic in rivieren. De meest geschikte optie voor het testen in de stroomgoot en voor de pilot in de IJssel is monitoren met behulp van camera's.

De testprocedure is opgesteld met als doel om het effect van drie parameters (de hoek van het bellenscherm, de stroomsnelheid van het water en het luchtdebiet van het bellenscherm) op de efficiëntie van het plastic afvangende vermogen van een bellenscherm vast te stellen. De stroomsnelheden variëren tussen de 0,05 en 0,6 m/s de hoeken van het bellenscherm van 0 tot 90 graden. In de stroomgoot worden plastics voor het bellenscherm in het water gelegd en geteld hoeveel er worden afgevangen door het bellenscherm.

Het monitoringsplan is een opschaling van de testen in de stroomgoot. Het doel van de pilot is om de efficiëntie aan te tonen van bellenschermen om macroplastic afval af te vangen in een rivier als de IJssel. Secundair wordt er kennis opgedaan over de werking van bellenschermen in stromend water en onder invloed van wind en scheepsvaart. In de IJssel worden twee bellenschermen geplaatst in de meest geschikte opstelling. Bij het schrijven van dit rapport zijn de testresultaten nog niet bekend. De vorm van het monitoringsplan is daarom weergegeven maar de directe invulling moet blijken uit de resultaten van de testen.

¹ Normaal liter per seconde per meter bellenscherm (bij 20°C en 1013 mbar)

² Hoek gemeten met nullijn in stromingsrichting (zie figuur 13)

Inhoudsopgave

A.	Huidige kennis bellenschermen en plastic afval.....	4
A1.	Introductie	4
A2.	Plastic Afval.....	6
A3.	Bellenschermen	13
A4.	Conclusie en aanbevelingen	20
B.	Testprocedure	21
B1.	Introductie	21
B2.	Opzet van het onderzoek	23
B3.	Testprocedure	27
B4.	Analyse meetdata	30
B5.	Optionele metingen.....	31
B6.	Conclusie en aanbevelingen	33
C.	Monitoringsplan	34
C1.	Introductie	34
C2.	Opzet van het onderzoek	36
C3.	Uit te voeren metingen	38
C4.	Monitoringsplan	40
C5.	Analyse meetdata	42
C6.	Conclusie en aanbevelingen	43
D.	Nawoord	44
	<u> </u> Bibliografie.....	45
	<u> </u> Bijlage 1. Planning testprocedure.....	47
	<u> </u> Bijlage 2. Testsheet fase 1.1a	48
	<u> </u> Bijlage 3. Testsheet fase 1.1b	49
	<u> </u> Bijlage 4. Technische specificaties bellenscherm	50
	<u> </u> Bijlage 5. Infographic bellenscherm testfase	51

A. Huidige kennis bellenschermen en plastic afval

A1. Introductie

A1.1 Achtergrond

Elk jaar stroomt er acht miljoen ton aan plastic de oceanen in via meren, rivieren en andere watergangen. De ophoping van plastic in de oceanen vormt een bedreiging voor dieren als vissen en vogels, het milieu en daarmee ook de mens. Hoewel er initiatieven zijn om dit plastic uit de oceanen te halen is er ook de noodzaak om te zorgen dat het plastic niet in de oceanen terecht komt. Om de plastic toestroom vanuit de rivieren tegen te gaan hebben een aantal organisatoren, waaronder Rijkswaterstaat, *The Plastic Free Rivers Makathon* prijsvraag georganiseerd. De vraag was om met innovatieve ideeën te komen om plastic uit de rivieren te halen. The Great Bubble Barrier (hierna TGBB) is hierin met het winnende idee gekomen; het afvangen van macroplastics met behulp van een bellenscherm. De prijs is een pilotopstelling in de IJssel.

Het winnende idee uit de *Plastic Free Makathon* prijsvraag is om met behulp van een bellenscherm plastic af te vangen. Een slang wordt op de bodem gelegd waarna er lucht in wordt geblazen om zo bellen te creëren. De opwaartse kracht van de bellen kan een neer vormen, of in ieder geval de stromingsrichting aan het oppervlak van het water veranderen en hiermee plastic afval afvangen. Het plastic kan vervolgens langs het bellenscherm stromen in een algemeen verzamelpunt.

Gezien het innovatieve karakter van het project is er nog veel informatie benodigd om de pilot op te kunnen starten. Kennis op het gebied van bellenschermen en plastic afval in rivieren. Om deze reden is er voor aanvang van de pilot gekozen om testen uit te voeren in een stroomgoot en een onderzoeksrapport op te stellen met informatie over de huidige stand van zaken omtrent bellenschermen en plastic afval. Dit onderzoeksrapport vormt het eerste deel van het stageverslag.

Voor de inventarisatie van informatie over plastic afval zijn de volgende drie aspecten van belang geacht voor het opzetten van de pilot; De impact van plastic afval op het milieu, de grootte/hoeveelheid en soorten plastic afval in Nederlandse rivieren en de monitoringstechnieken die gebruikt worden om plastic te monitoren.

Bellenschermen worden al langer ingezet voor andere toepassingen, onder andere bij zoet-zoutwaterscheidingen, algenbestrijding en als visbarrière. Er is echter nog weinig bekend over bellenschermen in stromend water zoals rivieren. *Kan een neer vormen in stromend water? Welke luchtdebieten zijn hiervoor nodig? Hoeveel invloed heeft het bellenscherm op de stromingsrichting? En wat is de invloed op de snelheid van het water aan het oppervlak?* Het gaat hierbij voornamelijk om de werking van een bellenscherm in stromend water.

Voor de inventarisatie van informatie over bellenschermen zijn de volgende aspecten van belang geacht voor het opzetten van de pilot; de verschillende werkingsprincipes van bellenschermen, de technische specificaties van bellenschermen zoals het luchtdebiet en de invloed van externe factoren zoals scheepsvaart en wind.

A1.2 Doelstelling

De hoofdvraag is als volgt opgesteld: *“Wat is er bekend over macroplastic afval in Nederlandse rivieren, het monitoren ervan en het werkingsprincipe van bellenschermen ten behoeve van de testprocedure en het monitoringsplan?”* Deze hoofdvraag is opgedeeld in de volgende deelvragen;

1. Wat is het effect van plastic afval op het milieu?
2. Wat is de samenstelling en hoeveelheid van het plastic afval in Nederlandse rivieren?
3. Hoe kan plastic afval in rivieren gemonitord worden?
4. Welke verschillende werkingsprincipes van bellenschermen zijn bekend?
5. Welke technische specificaties (luchtdebiet, luchtdruk, stroomsnelheid en hoek) horen bij bellenschermen?
6. Hoeveel invloed hebben externe factoren (wind, vissen en scheepsvaart) op de werking van bellenschermen?

Samen vormen deze deelvragen de structuur van het onderzoeksrapport. Vanuit de literatuur en interviews zijn deze vragen zo volledig mogelijk beantwoord. Essentiële missende kennis zal worden meegenomen naar de testfase om daar meer kennis van op te doen.

A1.3 Afbakening scope

Het onderzoek wordt vanwege gelimiteerde tijd en praktische redenen ingekaderd langs de volgende afbakening:

- De focus ligt op macroplastic (>5 mm) afval in Nederlandse rivieren.
- Literatuur gelimiteerd tot Engels- en Nederlandstalig
- De deelvraag over “Het effect van plastic afval op het milieu” vraagt een globale samenvatting van de gevaren van plastic afval op het milieu
- Onder technische specificaties vallen alleen het luchtdebiet, luchtdruk, stroomsnelheid, hoek en opstelling van de bellenschermen.
- Onder externe factoren vallen alleen wind, vissen en scheepsvaart

Het onderzoek zal volgens de adviezen van de begeleiders worden voortgezet en met behulp van de faciliteiten van Rijkswaterstaat en Deltares worden verrijkt.

A1.4 Werkwijze

Dit onderzoeksrapport is voortgekomen uit interviews en overleggen met experts en literatuuronderzoek. Er hebben vele overleggen en gesprekken plaatsgevonden met experts op het gebied van bellenschermen en plastic afval. Hier zijn ook vele rapporten overhandigd, van technische rapporten over oliebeheersing door middel van bellenschermen tot rapporten over de hormoonschommelingen bij bissen na het innemen van plastic. Naast de aangereikte rapporten is er veel gebruik gemaakt van Google Scholar en de bibliotheken van Deltares en Rijkswaterstaat om tot de benodigde informatie te komen.

A2. Plastic Afval

A2.1 Inleiding

Plastics zijn door de mens gemaakte kunststoffen, die hoofdzakelijk uit polymeren bestaan (Kutz, 2011). Daarnaast bevat het materiaal additieven ter verbetering van de materiaaleigenschappen, zoals kleur- en vulstoffen, weekmakers, vlamvertragers en stabilisatoren. Veel plastic producten zijn voor eenmalig gebruik bestemd waarna ze via verschillende routes in het milieu terecht kunnen komen. Afbraak van de plastics in het milieu duurt vele jaren (zie tabel 1). Bio-plastics bieden hiervoor geen oplossing, ook deze kunnen het milieu langdurig vervuilen (Langelaan, Nuyttens, & Jansen, 2015). Bio-plastics kunnen verdeeld worden tussen twee soorten: afbreekbaar en niet afbreekbaar, beide met een ingewikkeld afbreekproces. De Plastic Soup Foundation stelt dat "Bio-plastics spelen geen of nauwelijks een rol in het oplossen van het milieuprobleem, Er komt een bio-plasticgolf aan, maar het meeste is grote flauwekul". Daarnaast wordt gesteld dat de afbraak van bio-plastics in de zee kan oplopen tot 50 jaar (Nieuwsuur, 2017).

Voorwerp	Ontbindingsduur
Krant	6 weken
Klokhuis (Appel)	2 maanden
Kartonnen doos	2 maanden
Gecoat (melk)pak	3 maanden
Katoenen shirt	2 - 5 maanden
Sigarettenpeuk	1 - 5 jaar
Plastic tas	1 - 20 jaar
Drinkbeker (Piepschuim)	50 jaar
Aluminium blikje	200 jaar
Wegwerpluier	450 jaar
Plastic fles	450 jaar
Vislijn	600 jaar
Glazen fles	Onbekend

Tabel 1: Ontbindingsduur afval (NOAA, *How long till it's gone?*, 2014)

De politieke en wetenschappelijke aandacht heeft zich tot dusver voornamelijk gefocust op microplastics (deeltjes < 5 mm) vanwege de schadelijke en grotendeels onbekende impact op de ecologie. Dit rapport richt zich op macroplastics waarbij ook, indien mogelijk, gebruik wordt gemaakt van onderzoek op basis van microplastics. Het uiteenvallen van macro- in microplastics kan jaren duren, gezien de Rijn binnen enkele dagen Nederland heeft bereikt worden er voornamelijk macroplastics verwacht hoewel veel plastic al op de oevers in de zon afbreken. Microplastics bestaan deels uit uiteengevallen macroplastics onder invloed van tijd, Uv-licht en verhoogde temperaturen, dit gebeurt voornamelijk op het land. Een plastic zakje (500 mm lang en 2 x 400 mm breed) kan zo uiteenvallen in meer dan één miljoen deeltjes van 0,5 x 0,8 mm. Macroplastics representeren het grootste aandeel in het totale gewicht plastic afval in rivieren en zullen naar verwachting makkelijker afgevangen kunnen worden met een bellenscherm (Tweehuysen, 2015). In dit hoofdstuk wordt de impact van plastic afval op de ecologie, de diversiteit van plastic afval in de IJssel en de mogelijke monitoringstechnieken om plastic te meten beschreven.

A2.2 Impact van plastic afval

Dat plastic afval een gevaar vormt voor mens en milieu is al langer duidelijk. De grootte van de impact wordt de laatste jaren steeds duidelijker. Doorgaans lijkt het erop dat microplastics negatieve effecten hebben lager in de voedselketen en macroplastics schadelijk zijn voor grotere organismen (Langelaan, Nuyttens, & Jansen, 2015). Afval in zee brengt schade toe aan tenminste 267 diersoorten wereldwijd. 90 – 95% van het afval in zee is plastic waarvan 80% vanaf land komt (Gyres). Plastic werkt op meerdere manieren schadelijk voor de ecologie. Hieronder worden de belangrijkste opgesomd en toegelicht;

Verstrikking

De 'mechanische' werking van plastic dat is ingenomen door dieren kan zorgen voor intern en externe beschadigingen, verstopping en afname van het hongergevoel. Dieren kunnen verstrikt raken in plastic en daardoor sterven. Zoogdieren zoals dolfijnen en zehonden kunnen niet lang onder water blijven en sterven naar verhouding snel. Vogels kunnen verstrikt raken in plastic, zoals linten van feestballonnen. Dit is de meest bekende vorm van de schade van plastic afval aan het ecosysteem (Westerbos, 2011).

Lekkende additieven

Plastic bevatten vele schadelijke stoffen die langzaam in het water oplossen en hiermee een bedreiging voor het milieu vormen. Het gaat met name om weekmakers, bisphenol A, vlamvertragers en formaldehyde. Er zijn in het weefsel van enkele zeevogels vlamvertragers aangetroffen die waarschijnlijk via ingeslikt plastic zijn binnengekomen (Didde, 2008).

Plastic als (giftig) voedsel

Plastic gedraagt zich in water als een spons die vervuiling opzuigt (Franeker, 2011). Dit geldt voor de meest geproduceerde plastics waaronder polyethyleen (PE), polyethyleentereftalaat (PET) en polyvinylchloride (PVC). Hoe langer het plastic in het water drijft, des te giftiger wordt de sponswerking. Naast de sponswerking kan plastic ook giftig worden zodra het nanoplastics worden. Deze nanoplastics (< 0,05 mm) kunnen celwanden passeren en vanuit het maagdarmsstelsel over in het lichaam terecht komen. Deze nanoplastics zijn al teruggevonden in het drinkwater en tafelzout. De vraag die nog resteert is niet of mensen plastic in hun lichaam hebben maar hoeveel en wanneer is het schadelijk? (Deltares, Zorgen om toename gebruik nanoplastics, 2014).

Migreren van organismen tussen ecosystemen

Soorten die niet thuishoren in een bepaald gebied kunnen 'meeliften' met plastic en ander drijvend afval, en als nieuwkomers ecosystemen nadelig beïnvloeden. Dit vormt met name voor geïsoleerde eilanden een gevaar (Gezondheidseffecten Plastic Soup Foundation, sd). Dit kunnen bijvoorbeeld schimmels of bacteriën zijn die in plastic flesjes zijn gekomen.

Deze vier factoren vormen samen een gevaarlijk palet aan bedreigingen, zowel op nano-niveau (chemicaliën en hormoonverstoringen) als op macroniveau in de vorm van verstrikking en de migratie van exoten. Het effect op de voortplanting en de overleefbaarheid van de organismen is nog deels onduidelijk, wel zijn er aanwijzingen dat ophoping van microplastics in oesters kan zorgen voor minder eitjes en de groei vertraagt (Sussarellu, 2015). De impact van het plastic afval op dieren is uitvoerig onderzocht, op basis van internationale rapporten zijn grote hoeveelheden data verzameld en gebundeld. Hieruit is gebleken dat er wereldwijd in totaal 44.000 dieren en organismen verstrikt zijn geraakt of zwerfafval hebben ingeslikt in de afgelopen 50 jaar. In zo'n 92 procent van de geregistreerde gevallen is plastic de boosdoener. 17 procent van de betrokken diersoorten is terug te vinden op de Rode Lijst van IUCN (S.C. Gall, 2015). Een onderzoek naar vissen in het Engelse Kanaal concludeerde dat ruim 36% van de onderzochte consumptievissen plastic afval in de maag hadden en 83% van de kreeften die in Noorwegen onderzocht werden had plastic vezels (Gezondheidseffecten Plastic Soup Foundation, sd). Eind januari 2017 strandde er een zieke spitsnuitdolfijn aan in Noorwegen met ruim 30 plastic zakken, snoepwikkels en ander plastic afval in haar maagdarmkanaal (Biologen treffen dertig plastic zakken in maag dolfijn aan, 2017).

Naast de gevolgen voor zeedieren zijn ook vogels een van de grootste slachtoffers van plastic afval. In één decennium is het aantal dieren dat verstrikt raakt in plastic met 40% gestegen. Jaarlijks worden de maaginhouden van stormvogels geanalyseerd op hoeveelheid plastic afval. Over de periode 2005-2009 werden 916 magen onderzocht, waarvan 95% plastic bleek te bevatten. Gemiddeld had iedere stormvogel 30 stukjes plastic met een gewicht van 0,33 gram per vogel. In de meest vervuilde delen van de Noordzee stijgt dat niveau tot bijna het dubbele. Volgens de UNEP, de milieuafdeling van de Verenigde Naties, is het gerapporteerde aantal diersoorten dat gevolgen ondervindt van plastic gestegen van 247 in 1997 naar 663 in 2012 (Franeker, 2011).

A2.3 Hoeveelheid en diversiteit plastic afval

Plastic afval in de rivieren van Europa wordt niet op lange termijn structureel gemonitord met een gestandaardiseerde meetmethode. Wel hebben er diverse losse onderzoeken plaatsgevonden om het plastic afval in rivieren in kaart te brengen. De verschillende onderzoeken gebruiken verschillende meetmethodes en categorisering waardoor onderling vergelijken moeilijker wordt. Er wordt ten tijde van schrijven onderzoek gedaan naar een vaste meetmethode en monitoringsplan vanuit de Europese commissie onder de naam; '*Riverine and Marine floating macro litter Monitoring and Modelling of Environmental Loading*' (RIMMEL), dit onderzoek zal de eerste conclusies opleveren in de herfst van 2017.

Hoeveelheid plastic afval

Om voor die tijd toch een schatting te maken over het plastic afval in de IJssel is gebruik gemaakt van onderzoeken die hebben plaatsgevonden in de Rijn (Deltares, Summary report Plastic litter in Rhine, Meuse and Scheldt, contribution to plastic litter in the North Sea, 2013), in de Maas (Leslie, 2017) en een onderzoek in Zwitserse rivieren en meren (Faure, 2015). De verhouding tussen micro- en macroplastics is onder andere onderzocht in rivieren bij het meer van Genève en omliggende meren. Deze Zwitserse meren liggen zeer dicht bij de oorsprong van de Rijn en zullen daarmee minder afval bergen dan in het benedenstroomse gebied zoals bij de IJssel. De resultaten van de metingen in de meren is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Gemeten concentraties plastics in Zwitserse rivieren (Faure, 2015)

Rivieren	n	Microplastics Gemiddelde		Macroplastics Gemiddelde	
		Deeltjes/m ³	mg/m ³	Deeltjes/m ³	mg/m ³
Alle rivieren	24	7,0	1,4	0,012	0,43
Rhône, bovenstrooms	4	2,3	0,26	4,5 · 10 ⁻³	0,43
Aubonne (bovenstrooms meer van Genève)	4	0,1	0,02	0	0
Venoge, droog (Meer van Genève)	3	6,5	1,6	0,034	1,3
Venoge, regenachtig (Meer van Genève)	2	64	12	0,067	2,1
Vauchère (Meer van Neuchâtel)	2	4,4	0,67	0	0
Rhône, Genève	4	0,13	8,4 · 10 ⁻³	0	0
Rhône, Chancy (Stroomafwaarts van Genève)	5	0,29	0,35	4,7 · 10 ⁻³	0,017

In de rivieren werden voornamelijk fragmenten van plastic en schuim aangetroffen. Uit de testen is voornamelijk gebleken dat de plastic concentratie sterk samenhangt met de neerslag, met name in stedelijke gebieden. In de Vauchère die voornamelijk gevoed is door run-off van stedelijk water laten de metingen een verhogen van 5 keer zien na een regenbui (Faure, 2015). Naast het gedrag van de concentratie wordt ook de verhouding micro- macroplastics in beeld gebracht, deze verschillen niet veel van elkaar.

Hoewel het onderzoek in de rivieren bij de meren van Zwitserland de hoeveelheid en verhoudingen van micro- en macroplastics in beeld brengt zal dit veranderen naarmate er verder benedenstrooms wordt gemeten, mede afhankelijk van de omliggende functies (zoals industrie, stedelijke gebied of landbouw). In 2015 is een onderzoek in de Rijn uitgevoerd door Deltares (van der Wal, 2015). Dit onderzoek heeft onder andere gekeken naar de plastic hoeveelheid en samenstelling in de Rijn ter hoogte van Rotterdam (bij Rozenburg). Vanwege problemen met het dichtslibben van de meetnetten is er een van de drie metingen uitgevallen, de resultaten van dit onderzoek zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3: Aantal en gewicht (g) van macroplastics (> 5 mm) genormaliseerd per km² gemeten met oppervlakte net, en genormaliseerd per m³ voor macroplastics gemeten met een suspensienet (Faure, 2015)

	Oppervlakte				Suspensie			
	aantal/km ²		g/km ²		aantal/m ³		g/m ³	
	Gemiddeld	STDEV	Gemiddeld	STDEV	Gemiddeld	STDEV	Gemiddeld	STDEV
Rijn 2	9874.5	11904.88	15859.2	39925.1	0.0077	0.0062	0.0002	0.0004
Rijn 3	8375.4	7938.63	1542.3	1648.7	0.0020	0.0018	0.0008	0.0023

Deze gegevens zijn gebruikt om een indicatie te geven naar de hoeveelheid plastic afval in de IJssel. Het gemiddelde plastic afval aan de oppervlakte bij Rotterdam is als volgt:

$$\text{Oppervlakte: } (15859,2 + 1542,3)/2 = 8700,75 \text{ g/km}^2 = 0,0087 \text{ g/m}^2$$

Het gemiddelde debiet van de IJssel is ongeveer 265 m³/s (Info over IJssel, sd) en de gemiddelde stroomsnelheid is ongeveer 1,0 m/s. De breedte van de IJssel ter hoogte van de pilot zal ongeveer 100 meter zijn, met een gemiddelde stroomsnelheid van de IJssel van ongeveer 1,0 m/s zal er 100 m²/s aan oppervlak passeren.

Gezien Rotterdam dicht stedelijk gebied is met zware industrie en verder benedenstrooms ligt dan Zutphen zal de concentratie bij Zutphen lager zijn. Hoeveel precies is niet bekend maar een schatting kan worden gedaan op basis van afstand. De totale lengte van de Rijn is ongeveer 1.200 kilometer. Vanaf de splitsing tussen de Waal en de IJssel zal de afstand naar Rotterdam ongeveer 120 kilometer beslaan, vanaf de splitsing via de IJssel naar Zutphen is ongeveer 50 kilometer. Theoretisch, ervan uitgaande dat de afvalstroom lineair over de lengte van de rivier toeneemt, betekent de volgende concentratie plastic bij de splitsing Waal IJssel;

$$\text{Concentratie} * (\text{nieuwe lengte/oude lengte}) = 0,0087 \cdot (1.080/1.200) = 0,00783 \text{ g/ m}^2$$

Om vanuit deze splitsing naar de concentraties in Zutphen te gaan is de volgende berekening gemaakt:

$$0,00783 \cdot (1.130/1.080) = 0,00819 \text{ g/m}^2$$

Voor de breedte van de IJssel zal dit neerkomen op een gemiddeld plastic afval last van 0,819 g/s in de bovenste meter van de IJssel. Experts bij Deltares en Rijkswaterstaat hebben de foutmarge op deze berekening op 15% geschat.

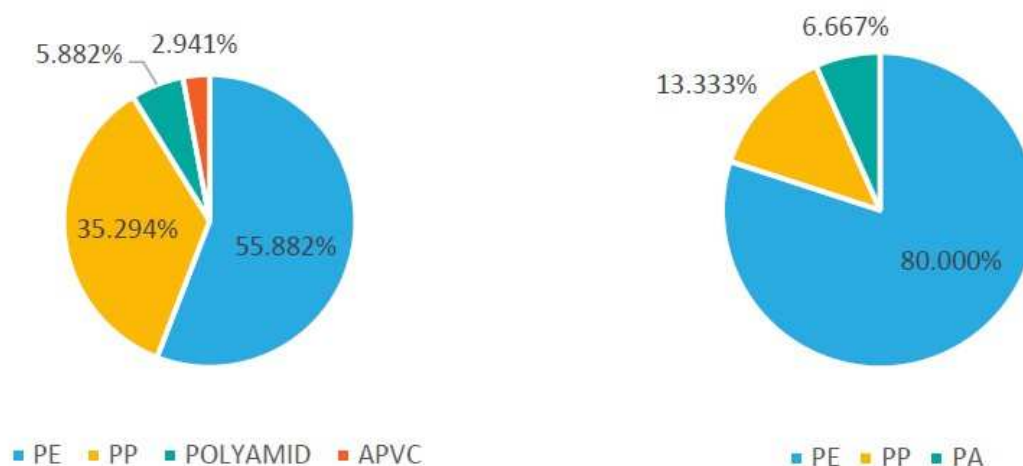
In suspensie is de gemiddelde gemeten concentratie in Rotterdam $(0.0002+0.0008)/2=0.0005 \text{ g/m}^3$. De correctiefactor van ongeveer 5% minder plastic ten hoogte van de IJssel bij Zutphen ten opzichte van Rotterdam wordt hier ook op toegepast waardoor de concentratie in de IJssel als suspensie wordt geschat op 0,000475 g/m³. Met een gemiddeld debiet van 265 m³/s zal dit een totale last van $265 \cdot 0,00035 = 0,1259 \text{ g/s}$ zijn. Vergelijken met de totale hoeveelheid plastic afval bestaat dus ongeveer 15% uit afval in suspensie en de resterende 85% uit afval aan het oppervlak.

Bij elkaar komt dit neer op een totale last van 0,9449 g/s, hoewel dit niet veel lijkt betekent dit een totale macro plasticafvalstroom van 25 - 35 ton plastic per jaar. Deze orde grootte van plastic afval komt ook terug in een ander monitoringsrapport van Deltares (Deltares, Summary report Plastic litter in Rhine, Meuse and Scheldt, contribution to plastic litter in the North Sea, 2013). Hierin is onderzocht dat tussen de 50 en 500 m³/jaar aan macroplastics via de Rijn in de Noordzee komt. Met een verdeling van de Rijn naar de IJssel van 12% (Lemans, 2007) kan met de huidige kennis de afvalstroom worden geschat tussen de 5,4 en 54 ton/jaar.

In de berekeningen wordt uitgegaan van een uniforme constante stroom aan plastic. In werkelijkheid worden er tijdens hoge waterstanden veel plastics van de oevers meegetrokken en zal de concentratie omhooggaan tijdens neerslag, ook pieklozingen van industrieën, stedelijk gebied en landbouw zullen dit gedrag versterken.

Diversiteit plastic afval

Naast de hoeveelheid plastic, de verdeling tussen plastic aan het oppervlakte en in suspensie en de verdeling tussen micro- en macroplastics is het soort plastic ook van belang. In het onderzoek naar het plastic afval in de Rijn bij Rotterdam is ook het soort plastic onderzocht. De resultaten van de twee metingen die hier zijn uitgevoerd zijn weergegeven in figuur 1. De meeste plastic delen zijn piepschuime delen van 0 – 2,5 cm, verpakkingsmateriaal, wattenstaafjes, touwen en vislijnen (van der Wal, 2015).



Figuur 1: Twee metingen naar de verdeling plasticsoorten bij plastic afval > 5 mm in de Rijn (Wal, 2013)

Het overgrote deel van het plastic afval ter hoogte van Rotterdam bestaat uit PE, PP en PA. De omliggende functies zullen hier een factor in zijn, in Rotterdam zijn deze functies voornamelijk stedelijk gebied en industrie. Langs de IJssel is voornamelijk landbouw in de vorm van gras, maïs en granen. Deze landbouw zal vergeleken met industrie en stedelijk gebied een geringere afvalstroom hebben richting de IJssel. Het plastic afval zal hoofdzakelijk bestaan uit landbouwplastic om hooi en stro te dekken. Dit landbouwfolie bestaat voornamelijk uit PE. Verwacht kan worden dat het aandeel PE hoger zal zijn dan in Rotterdam maar de totale afvalstroom kleiner zal zijn. De hoofdsoorten van plastic afval in de vorm van PE, PP en PA worden ook beschreven in andere onderzoeken.

De meeste plastics zijn minder zwaar dan water, uitzonderingen daargelaten (Polyethyleentereftalaat (PET) en polyvinylchloride (PVC)). De globale eigenschappen van deze meest voorkomende plastic soorten zijn weergegeven in tabel 4. Plastics worden door iedere fabrikant anders gemaakt en zullen qua samenstelling en eigenschappen verschillen. Ook de concentraties giftige stoffen zoals weekmakers en brandvertragers zullen verschillen. In eerste instantie zullen de plastic deeltjes gemaakt van PE en PP drijven. Uit onderzoek is gebleken dat na aanhechting van genoeg alg kleinere plasticdeeltjes van PE en PP in suspensie kunnen raken, of zinken.

Plasticsoort	Dichtheid (g/cm ³)
PP	0.86 – 0.95
PE	0.91 – 0.97
PA	1.01 – 1.15
PVC	1,30
PET	1,38

Tabel 4: Dichtheid plasticsoorten

A2.4 Monitoringstechnieken

De verschillende gebruikte monitoringstechnieken die relevant zijn voor de monitoring op macroplastics ten behoeve van het bellenscherm zullen hier worden beschreven. Binnen het kader van budget, tijd en doelstelling zijn er twee methodes waarop de focus wordt gelegd; monitoring met behulp van camera's en handmatige monitoring.

Camera observatie

Camera's kunnen worden gebruikt bij de monitoring van plastic in rivieren. Deze kunnen zowel onder- als bovenwater worden geplaatst. Bij onderzoek naar het gedrag van vissen bij vispassages worden ze al ingezet. Onderwatercamera's zijn er in verschillende soorten en maten, er zijn camera's met infraroodverlichting waardoor dag en nacht beelden kunnen worden gemaakt en er zijn opties als bewegingsmelders zodat er alleen gefilmd wordt als er iets langskomt. Hierbij speelt ook de troebelheid van het water een rol, de laatste metingen die in de IJssel naar het doorzicht zijn gedaan zijn weergegeven in tabel 5 (WRIJ). Het doorzicht zal rond een meter zijn, op een totale breedte van ongeveer 100 meter is dat niet veel maar is voldoende om stromingspatronen van plastic deeltjes vlak voor de camera te kunnen waarnemen. Naast de onderwatercamera kan er ook een camera vanaf boven naar het oppervlak gericht staan om drijvende plastics te observeren.

Tijdstip	Doorzicht (dm)
05/09/2016 11:09	10.0
22/08/2016 11:08	10.0
08/08/2016 11:08	10.0
25/07/2016 11:07	> 5.0
11/07/2016 11:07	10.0

Tabel 5: Meest recente doorzichtmetingen in de IJssel bij Zutphen (WRIJ)

Handmatig testen

Indien onderwatercamera's geen optie zijn door bijvoorbeeld de slechte zichtbaarheid van de plastic deeltjes kan handmatig testen de uitkomst bieden. Dit door zelf plastic voor het bellenscherm in het water te leggen, kijken of het bellenscherm het opvangt en er vervolgens met een schepnet uithalen. Voor de testen in de stroomgoot lijkt dit een goed alternatief. Voor de pilot in de IJssel is dit echter niet realistisch en hebben camera's boven water de voorkeur.

De natuurlijke toestroom van plastics in de IJssel zal sterk fluctueren en kan alleen gemonitord worden indien er veel grotere delen plastic aan het oppervlak drijven, iets wat niet frequent voorkomt tenzij er zeer hoge piekafvoeren optreden die het plastic afval op de oevers meenemen. Handmatig testen kan hiervoor een uitkomst bieden

De invloed van scheepvaart kan op deze manier goed worden bestudeerd, schepen zullen zo iedere 10 – 20 minuten passeren (Rijkswaterstaat, 2017) waarna geobserveerd kan worden wat het effect is op het bellenscherm en het plastic afval.

A3. Bellenschermen

Bellenschermen worden al op verschillende plekken ingezet maar nog nooit om plastic afval uit stromend water te halen. De verschillende toepassingen van bellenschermen maken gebruik van verschillende werkingsprincipes. Eerst zullen de verschillende typen bellenschermen worden bestudeerd. Hier worden vervolgens de verschillende technische specificaties van beschreven, zoals het luchtdebiet en bellengrootte, om een kader te bieden voor de latere testen en pilot. Tot slot zullen invloeden van externe factoren worden benoemd en hun invloed beschreven. Hierbij wordt er voornamelijk naar scheepvaart, vissen en wind onderzoek gedaan.

A3.1 Typen bellenschermen

Bellenschermen worden al op verschillende toepassingsgebieden ingezet. Bijvoorbeeld voor het behouden van zoet- zoutwaterscheidingen in sluizen, voor het indammen van een lek bij olieboringen of voor het ijsvrij houden van kunstwerken. Deze verschillende toepassingen werken vaak met verschillende werkingsprincipes. Deze verschillende werkingsprincipes worden onderzocht om een beeld te krijgen hoe een bellenscherm plastic afval uit de rivier kan halen. Hoewel dit andere toepassingen zijn dan het scheiden van plastic afval zal hier ook een kader worden gemaakt rond luchtdebieten, invloed van scheepvaart en vissen. Bellenschermen bij zoet- zoutwaterovergangen, oliebeheersing, ijsvrijhouden van kunstwerken, visgeleidingssysteem en als bestrijding van blauwalg zullen in dit hoofdstuk onderzocht worden.

Zoet zoutwater overgangen

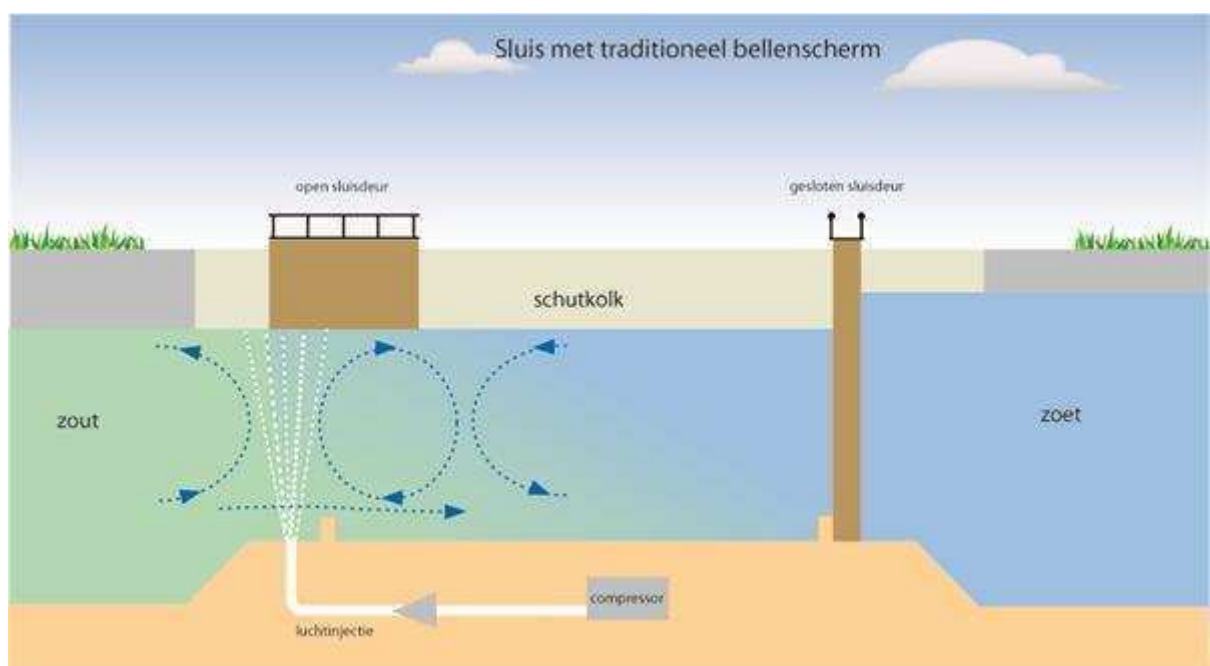
Nederland heeft met zijn ligging zowel zoetwater (rivieren) als zoutwater (zee). Het schaarsere zoete water wordt onder andere gebruikt voor landbouw en drinkwaterinname. Het zoute water is duurder om te zuiveren en kan voor de landbouw niet gebruikt worden. Om toch in deltagebieden zoals zeeland landbouw te bedrijven is een harde overgang tussen zoet- en zoutwater gewenst, hiermee kunnen boeren het zoete water in de Zeeuwse meren gebruiken. Een sluis zonder extra maatregelen om deze harde scheiding te bewerkstelligen zal hierin niet slagen. Het zoute water heeft een hogere dichtheid (tussen de 1028 – 1021 kg/m³ afhankelijk van temperatuur en zoutgehalte (Center, 2008)) en zal daarmee snel onder het zoete water stromen. Deze stroming wordt weergegeven in figuur 2 waarin de rode vloeistof het zwaardere zoute water is (Deltares, Voorstudie: Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperking Volkeraksluizen, 2010).



Figuur 2: Dichtheidsgedreven uitwisselingsstroming met het zwaardere zoute water in rood (Deltares, Voorstudie: Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperking Volkeraksluizen, 2010)

Het zoete water zal als een retourstroming de andere kant op stromen om de waterbalans gelijk te krijgen. Dit verschijnsel heet een dichtheidsgedreven uitwisselingsstroming. De sterkte van de stroming hangt daarmee voornamelijk samen met het dichtheidsverschil. Daarnaast vormen waterstanden een tweede factor. De zee kent een getij en daarmee verschillende waterhoogtes, rivieren in Nederland hebben vaak een min of meer constant waterpeil. Het fluctueren van de zee zorgt daarmee voor extra zoutstroming zodra het vloed is en een mindere zoutstroming zodra het eb is.

Een bellenscherm kan deze stromingen tegen gaan en een hardere overgang tussen het zoute en zoete water creëren. Het bellenscherm zorgt voor een opwaartse stroming die aan het wateroppervlak van het bellenscherm afstroomt. Hierbij ontstaan aan beide kanten van het bellenscherm een 'neer' (zie figuur 3). Deze neren zorgen dat het zoute water niet onder het zoete water kan stromen maar wordt afgebogen naar boven en vervolgens terug naar de zeezijde. Op deze manier wordt de grens tussen zout- en zoetwater in stand gehouden. Deze bellenschermen worden vaak per twee in een sluis aangebracht, één aan de zeezijde en één aan de rivierzijde. Ze gaan alleen aan zodra de sluisdeuren openen.



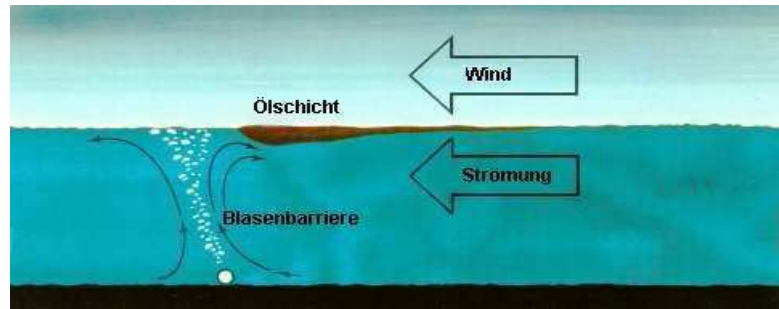
Figuur 3: Werkingsprincipe bellenscherm bij een zoet- zoutwaterscheiding (bron: beeldbank Rijkswaterstaat object 428469)

Aangezien de sterkte van de stroming afhankelijk is van de dichtheid en de waterstanden kan het luchtdebiet van de bellenschermen worden gestuurd op deze twee factoren. Het luchtdebiet wordt vaak gestuurd op de waterstand en het dichtheidsverschil, het luchtdebiet bij bellenschermen zoals bij de Krammersluizen liggen tussen de 20 en 70 NL/s/m³.

³ Normaal liter per seconde per meter bellenscherm (bij 20°C en 1013 mbar)

Zoet zoutwater overgangen

Bellenschermen worden al langer gebruikt om te voorkomen dat olievervuiling de rivier/zee in stroomt. Zodra er een oliekkage optreedt wordt het bellenscherm aangezet. Deze zorgt voor een barrière waardoor de olie zich niet verder



Figuur 4: Principe bellenscherm als oliebeheersmaatregel

kan verspreiden. Het werkingsprincipe hierachter berust voornamelijk op de horizontale stroming, van het bellenscherm af, die gevormd wordt aan het wateroppervlak. In tegenstelling tot de zout-zoetscheiding die de gehele neren benut (zie figuur 4). Het wegdrijven van olie kan dus worden tegengegaan door een oppervlaktestroming te creëren. Deze horizontale stroomsnelheid wordt beschreven aan de hand van de volgende functie van Bulson (Deltares, Scale experiments on flow induced by a bubble screen, 2016):

$$v_{max} = K(g * q_{lucht})^{1/3}$$

$$K = 1,46(1 + \frac{D}{H_0})^{1/3}$$

D : Waterdiepte (m)

H_0 : Atmosferische druk (m)

q_{lucht} : Luchtdebiet (m^3/s)

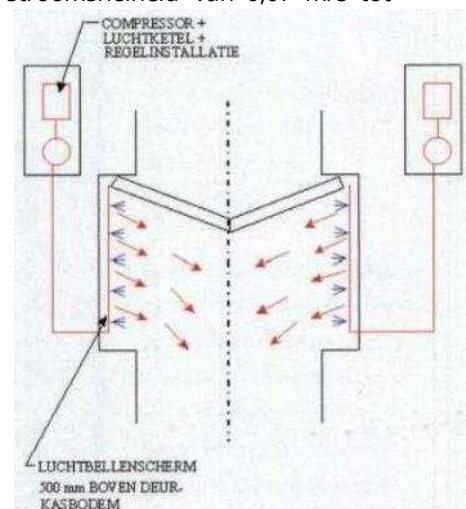
g : Zwaartekracht (m/s^2)

Uit deze formule is op te maken dat de maximale snelheid bij een constante waterdiepte en atmosferische druk alleen afhankelijk is van het luchtdebiet. Bij hogere stroomsnelheden van het water kan het luchtdebiet verhoogd worden om de olie op zijn plek te houden.

In 1996 is er onderzoek gedaan naar de effectiviteit van bellenschermen bij hogere stroomsnelheden. Het bellenscherm hield stand bij een stroomsnelheid van 0,7 m/s. Er lijken geen limieten te zijn voor de stromingssnelheid opgewekt door bellenschermen maar om de stroomsnelheid te verdubbelen moet het luchtdebiet worden verhoogd met een factor van acht. De limieten worden daarmee voornamelijk bepaald door het vermogen van de compressor. De benodigde debieten die in het onderzoek zijn gebruikt hebben een bereik van 0,4 NL/s/m bij een stroomsnelheid van 0,07 m/s tot 5,9 NL/s/m bij een stroomsnelheid van 0,7 m/s (Coxworth, 2011; Lo, 1997).

Ijsvrij houden van sluisen

Een derde toepassingstechniek voor bellenschermen is het ijsvrij houden van sluisen. Bij strenge vorst kunnen ijsblokken de sluisdeuren blokkeren of er kunnen ijskragen ontstaan rond de deuren zodat deze niet meer behoorlijk geopend kunnen worden, dit duurt lang om handmatig te verwijderen en zorgt voor oponthoud voor de scheepvaart. De vorm van de sluisdeuren (bijvoorbeeld puntdeuren of roldeuren) zullen de opstelling van de bellenschermen bepalen. Een voorbeeld is gegeven voor puntsluisdeuren in figuur 5. Bellenschermen worden in de inhammen op de bodem tegen de wand geplaatst. Het ijs wordt op meerdere manieren tegen gegaan; aan de ene kant transporteert het bellenscherm warmer water van onderaf naar de bovenkant waardoor de temperatuur van het water aan het



Figuur 5: Locaties bellenschermen (Ijsbestrijding bij kunstwerken)

oppervlak zal stijgen. Daarnaast zal de stroming die gecreëerd wordt het ijs van de wand af duwen.

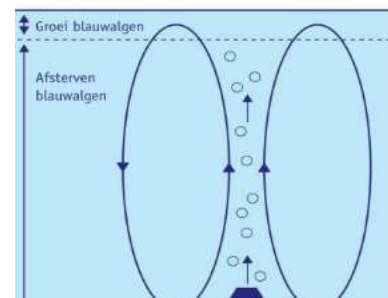
Er is ongeveer een luchtdebiet nodig van 5 NL/s/m om een puntdeurkas ijsvrij te houden. Daarnaast is in proeven aangetoond dat 1 m³ vrije lucht ongeveer 17 m³ water mee omhoog neemt, bij een diepte van 10 m. Als de waterhoogte minder dan 10 meter is dan zal de getransporteerde hoeveelheid water evenredig afnemen. Bij een waterdiepte van 5 m zoals deze bij de IJssel zal voorkomen zal er dus 8,5 m³ water verplaatst worden, als factoren zoals stroomsnelheid geen invloed hebben. (Ijsbestrijding bij kunstwerken)

Visgeleidingssysteem

Bellenschermen in combinatie met licht en/of geluid worden al op verschillende plekken ingezet, zoals tegen de Aziatische karpers die Amerika binnen zijn gebracht via de viskweek maar na overstromingen ook in de natuur terecht kwamen. De werking berust hoofdzakelijk op de visuele barrière, vissen zien het bellenscherm en reageren hierop door een andere weg te zoeken. Vanuit verschillende onderzoeken is gebleken dat alleen een bellenscherm vissen niet effectief tegenhouden (Patrick, 1985), na verloop van tijd zullen ze er toch doorheen gaan. Daarom worden bellenschermen om vissen te geleiden vaak gebruikt in combinatie met licht, geluid of elektriciteit. Er is een bellenscherm met geluid voor de Mississippi aangebracht om de Aziatische karpers tegen te houden verder landinwaarts te zwemmen (NOAA, Sound and bubble barrier deters Asian Carp, 2005). Bij alle onderzochte toepassingen wordt het bellenscherm afsluitend rond de monding van een rivier of inlaatpunt geplaatst. Bij het bellenscherm van TGBB zal er een opening inzitten voor de vissen (zie figuur 10).

Menging tegen algen

Het Nieuwe Meer (Zuidwesten van Amsterdam) werd voorheen tijdens zomers gedomineerd door blauwalg (Hydraulics, 2005). Aangezien blauwalg voornamelijk op de oppervlakte groeit bij hogere temperaturen is er in 1993 in het meer een bellenscherm aangelegd. Dit bellenscherm zorgt door het naar boven duwen van water voor een goede menging. De menging zorgt voor een daling van de temperatuur aan het oppervlak en een stijging op de bodem (zie figuur 6). Het bellenscherm werkt in eerste plaats vanwege de homogenisering van de watertemperatuur, daarnaast zorgt het bellenscherm voor een afname van het drijvend vermogen van de blauwalg. Dit komt weer ten goede aan niet drijvende algen (Petra, 1996; Petra 2001).



Figuur 6: Werking bellenschermen tegen blauwalg (Hydraulics, 2005)

A3.2 Technische specificaties

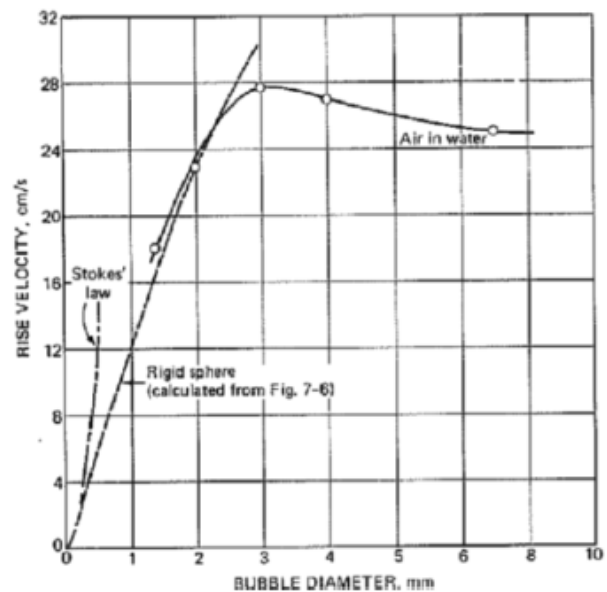
Dit hoofdstuk zal de technische specificaties van de bellenschermen in de stroomgoot en in de IJssel zoveel mogelijk proberen te omschrijven vanuit de literatuur. Hoe meer bekend is, hoe minder onderzoek ernaar hoeft te worden verricht. Indien er essentiële parameters onbekend zijn zullen deze worden meegenomen in de testen in de stroomgoot. De verschillende parameters die worden bekeken zijn als volgt; luchtdebiet, grootte luchtbellen, stroomsnelheid van de goot en de IJssel, hoek van het bellenscherm en de verschillende opstellingen van de bellenschermen zullen worden doorgenomen.

Luchtdebiet

In de literatuur is er nog geen kennis beschikbaar over luchtdebieten voor het afvangen van plastic afval. Zoals eerder beschreven wordt bij de Krammersluizen een debiet van 20 – 70 NL/s/m gebruikt. Bij het tegenhouden van olievervuiling worden debieten van ongeveer 7 – 35 NL/s/m gebruikt. Het luchtdebiet is sterk afhankelijk van de stroomsnelheid van de IJssel. Hoe meer er water er wordt afgevoerd door de IJssel hoe hoger de stroomsnelheid zal zijn en hoe meer afval wordt meegenomen. Theoretisch gezien vanuit de formule van Bulson (3.1) zou een hogere stroomsnelheid worden tegengegaan door een hoger luchtdebiet (Deltares, Scale experiments on flow induced by a bubble screen, 2016). Onduidelijk blijft bij welke stroomsnelheden het niet meer rendabel wordt.

Luchtbellen

De grootte van de luchtbellen wordt beïnvloed door verschillende factoren; de hoeveelheid water boven de streng, de grootte van de orifice (opening), de hoogte in de waterkolom en, in mindere mate, het dichtheidsverschil. De grootte van luchtbellen is eerder onderzocht door Deltares (Deltares, Achtergrond bij specificaties bellenscherm, 2016). Hieruit is gebleken dat als de hoeveelheid water boven de streng met 10 meter wordt verhoogd dit resulteert in een factor 1,2 kleinere bellen. Daarnaast is gekeken naar de relatie tussen de grootte van de bellen en de snelheid waarmee deze stijgen. Deze relatie is weergegeven in figuur 7. Bellen van 3 à 6 mm hebben de meest constante stijgsnelheid en zullen daarmee beter controleerbaar zijn. Daarnaast is gebleken dat bij significant grotere bellen (>3 cm) de effectiviteit van het bellenscherm significant afneemt. De exacte relatie tussen belgrootte en effectiviteit van het bellenscherm is niet bekend.

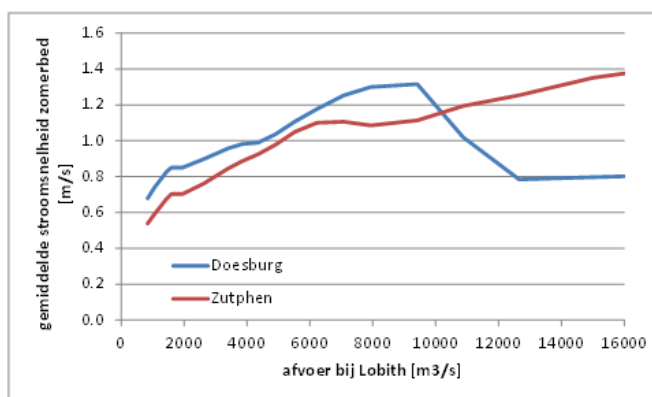


Figuur 7: Stijgsnelheid als functie van bel diameter (Deltares, Achtergrond bij specificaties bellenscherm, 2016)

De grootte van de bellen zijn hiermee vanuit de literatuur redelijk goed in kaart gebracht. Een probleem is hierbij nog wel bij het creëren van de juiste bellen. Gezien de vele factoren die invloed hebben op de bellengrootte is het in de praktijk lastig om bellen kleiner dan 1 centimeter te maken. Bellen klonteren snel samen en hoe hoger de bel in de waterkolom is, hoe meer deze zal uitzetten. De bellen aan het oppervlak zullen daarmee een hoge variatie hebben in grootte.

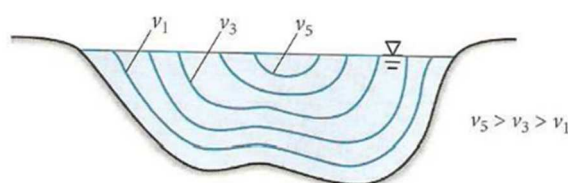
Stroomsnelheid

De gemiddelde stroomsnelheid in het zomerbed van de IJssel ter hoogte van Zutphen en Doesburg is weergegeven in figuur 8. Om een idee te krijgen bij de afvoeren; 6.000 m³/h komt eens in twee jaar voor, 9.000 m³/h eens in 10 jaar en 16.000 eens in 10.000 jaar. Juist tijdens zulke hoge afvoeren zal het meeste plastic in de rivier belanden nadat het mee is gestroomd vanuit de stranden. Hiermee is het belangrijk dat het bellenschermbaan ook, tot op zekere hoogte, bij hogere debieten nog functioneel blijft.



Figuur 8: Stroomsnelheid IJssel bij Zutphen en Doesburg als functie van het debiet (Rijkswaterstaat)

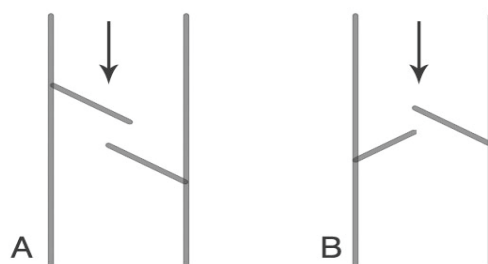
De verdeling van de snelheid in de rivier speelt hierin ook een rol. De stroomsnelheid aan de randen van de rivier is veel lager dan die in het midden van de rivier. Figuur 9 geeft hier een schematische weergave van. Juist aan het oppervlak in het midden van de rivier zal de stroomsnelheid hoger zijn dan de gemiddelde stroomsnelheid zoals die in figuur 8 is weergegeven (Hendriks, 2010).



Figuur 9: Stroomsnelheidsprofiel in een rivier (Hendriks, (2010))

Opstelling

Binnen de bestaande literatuur is er nog geen onderzoek gedaan naar bellenschermbaan in rivieren onder hoeken. De vraag blijft hoe de neren zich ontwikkelen onder de hoek in combinatie met de stroomsnelheid. Er zijn twee opstellingen mogelijk om het plastic af te vangen, weergegeven in figuur 10.



Figuur 10: Twee opties voor opstellingen

Opstelling A zal maar een opvangpunt nodig hebben, dit komt ten goede aan de kosten en scheelt in transport om het afval af te voeren. De effectiviteit zal hiermee wel inboeten gezien het plastic over een grotere afstand langs het bellenschermbaan moet stromen. Opstelling B heeft een kortere afstand naar het bellenschermbaan en zal daarmee efficiënter zijn, dit ten koste van de logistiek en kosten. Als het bellenschermbaan in een bocht van de rivier komt te staan dan zal door de naar buitengaande stroming de voorkeur uitgaan naar opstelling A.

Hoek

Het bellenschermbaan zal met een hoek in de IJssel worden geplaatst. De vraag rest nog wel onder welke hoek deze geplaatst zou moeten worden. Vanuit de inzichten van rivierkundige en hydraulisch experts denken dat dit rond de 35 en 45 graden gerealiseerd moeten worden. Hoe groter de hoek, ten opzichte van de dwarslijn, hoe effectiever het bellenschermbaan zou moeten werken. De hoek van het bellenschermbaan heeft echter een beperking door de grote invloed op de lengte van het bellenschermbaan. Een rivier als de IJssel is ongeveer 100 meter breed, een hoek van 45 graden betekent een afstand van ruim 140 meter.

A3.3 Externe factoren

Tot slot zullen de externe factoren die invloed hebben op de werking worden benoemd. De factoren die zijn meegenomen zijn wind, vissen en invloed van scheepvaart.

Wind

Dat wind een belangrijke factor is op de effectiviteit is gebleken uit een onderzoek uitgevoerd voor het afvangen van olie (Lo, 1997). Hierin is de relatie tussen de windsnelheid, effectiviteit en benodigde luchtdebiet. In paragraaf A2.3 is de verhouding tussen plastic aan het oppervlak en in suspensie berekend. Hierin werd gevonden dat ongeveer 85% van de plastics zich aan het oppervlak zullen bevinden en dus onderhevig zijn aan wind en windgolven. De grotere plastic delen als flesjes, verpakkingen en piepschuim zal hier gevoeliger voor zijn dan olie. Voor olie geldt dat een windsnelheid van 7 m/s tot een derde meer luchtdebiet vraagt. Hiermee moet ook rekening worden gehouden dat de windsnelheid aan het oppervlak ongeveer 50% is van de windsnelheid 28 meter boven het oppervlak. Wat de effecten zijn van wind op drijven macroplastic afval is nog niet onderzocht.

Vissen

Zoals in paragraaf A3.1 werd benoemd worden bellenschermen in combinatie met licht en/of geluid toegepast om vissen te weren bij inlaatwerken of riviermondingen. Uit diverse onderzoeken (Patrick, 1985; Turnpenny, 2016) is gebleken dat alleen bellenschermen een beperkt potentieel bieden om vissen tegen te houden. Het bellenscherm zorgt voor een visuele barrière waar de vissen omheen zwemmen. Deze visuele barrière werkt voornamelijk overdag aangezien er dan licht op valt en bij heldere wateren. De opstelling zoals eerder besproken hebben een doorlaat in het midden waar de vissen doorheen kunnen zwemmen. Vanuit de literatuur lijkt er geen reden om te veronderstellen dat een bellenscherm zoals opgesteld in figuur 10 een harde barrière voor vissen vormt.

Scheepvaart

Gemiddeld elke 10 - 20 minuten vaart er een boot langs Zutphen (Rijkswaterstaat, 2017). De scheepvaart is op meerdere vlakken een factor bij de bellenschermen in de IJssel. Ten eerste moeten beroepsvaart en pleziervaart zonder problemen over het bellenscherm heen kunnen varen en ten tweede moet de scheepvaart de opbrengst van het bellenscherm niet drastisch verlagen door het achter zich mee te trekken nadat er over het bellenscherm heen wordt gevaren.

Er is al veel onderzoek gedaan naar het effect van bellenschermen op kleinere pleziervaarten. Hieruit is voornamelijk gekomen dat er zeer weinig effect is op de boot. Er komt bij het aanvaren van het bellenscherm eerst een weerstand van het water dat zich van het bellenscherm af stroomt, gevolgd door een licht stroomversnelling zodra het bellenscherm achter de boot ligt. Hoewel deze effecten klein zijn is er bij de installatie van eerdere bellenschermen de omgeving hiervan goed op de hoogte gesteld om zo eventuele aarzelingen bij schippers te kunnen verzachten (Rijkswaterstaat, 2014).

De golven veroorzaakt door de schepen zullen in de meeste gevallen hoger zijn dan de windgolven en zullen een bepalende factor hebben in de hoogste golven die het bellenscherm moet aankunnen. Er is geen informatie gevonden over de effecten van golven op bellenschermen.

A4. Conclusie en aanbevelingen

De te beantwoorden hoofdvraag is in het plan van aanpak als volgt opgesteld: 'Wat is er in de literatuur bekend over macroplastic afval, het monitoren ervan en het werkingsprincipe van een bellenscherm ten behoeve van de testprocedure en het monitoringsplan'. Binnen het literatuuronderzoek is de hoeveelheid plastic afval in de IJssel geschat tussen de 25 en 35 ton macro-plasticafval per jaar. Het grootste gedeelte hiervan bestaat uit PE en PP welke beide drijven. Het aandeel drijvende plastics ten opzichte van plastics in suspensie is ongeveer 85%. Stukken piepschuim van 0 - 2,5 cm, verpakkingsmateriaal, wattenstaafjes, touwen en vislijnen lijken de meest voorkomende plastic vervuiling in rivieren.

De verschillende monitoringstechnieken moeten worden meegenomen in het onderzoek in de stroomgoot. In deze test zal moeten blijken de neren en de plastic deeltjes erin kunnen worden waargenomen, indien dit het geval is zullen onderwatercamera's nuttig zijn om voor de pilot in de IJssel te gebruiken.

Vanuit de technische specificaties zijn bepaalde ontwerp vragen zoals de hoek en het luchtgebied omkaderd vanuit de literatuur. Voor de exacte debieten en hoeken zal verder getest moeten worden in de stroomgoot. Het luchtdebiet is niet meer rendabel vanaf ongeveer 5 NL/s/m en een hoek groter dan 45 graden lijkt uit de literatuur ongeschikt om de stroming tegen te houden.

Vanuit de externe factoren is voornamelijk de wind een factor waar nog weinig over bekend is. Eventueel zou dit kunnen worden meegenomen in de stroomgoot om te kijken of dit de effectiviteit sterk benadeeld.

B. Testprocedure

B1. Introductie

B1.1 Achtergrond

Om de pilot in de IJssel voor te bereiden is meer inzicht nodig in de werking van een bellenscherm onder stroming. Het onderzoeksrapport over de huidige stand van zaken heeft veel informatie opgeleverd over onder andere de te verwachten luchtdebieten, effecten op milieu en werkingsprincipes bij vergelijkbare bellenschermen in kaart gebracht. Er is echter nog onvoldoende kennis en inzicht om de pilot op te starten.

Er is met name meer kennis benodigd over de opstelling van de bellenschermen en of het bellenscherm zich in stand weet te houden in stromend water zoals de IJssel. Er zijn daarom numerieke 3D modellen opgezet. Deze eerste simulaties gaven meer inzicht over de werking van een bellenscherm in stroming.

De simulaties zijn gebaseerd op de Scheldegoot van Deltares. Er is gesimuleerd met een bellenscherm geplaatst onder een hoek van 90 en 45 graden, vanuit de lengteas van de goot. Uit de simulaties met een hoek van 90 graden is geconcludeerd dat de stroming van het water de neervorming van het bellenscherm kan tegenhouden, om dit tegen te gaan is er een hoog luchtdebiet nodig. Bij 45 graden ontstaan kleine neren aan de bodem. Hoewel het model alleen geverifieerd is voor stilstaand water kan de breedte/waterdiepte verhouding hier een factor in spelen. In de stroomgoot is deze verhouding 1 hoewel in de IJssel deze verhouding rond de 20 ligt. Er zijn hieruit meerdere mogelijkheden gekomen ter aanvulling op de testen. Mogelijkheden om de waterstand te verlagen voor een breedte/waterdiepte verhouding die meer op de IJssel lijkt. Bij een lagere waterstand kunnen ook stroomsnelheden van hoger dan 0,6 m/s worden gehaald.

De verkregen kennis en inzichten worden vervolgens getest in een stroomgoot bij Deltares (Scheldegoot). De testen zullen uitgevoerd worden door The Great Bubble Barrier maar het team is heeft geen tijd om de testen goed voor te bereiden. Om deze testen goed uit te voeren is er een testprocedure opgesteld om een begeleiding te bieden tijdens de testen. Dit deel zal de testprocedure voor het testen van bellenschermen in de stroomgoot bij Deltares omvatten.

B1.2 Doelstelling

Het doel van dit rapport is om een testprocedure op te stellen voor de testen in de Scheldegoot en een begeleiding te bieden aan The Great Bubble Barrier. De hoofdvraag hierbij is: *“Hoe kan de efficiëntie van bellenschermen om plastic afval af te vangen worden getest, bij verschillende stroomsnelheden en opstellingen?”* Om de testprocedure op te stellen en om goed voor bereid te zijn op de testen zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Hoe wordt het onderzoek opgezet?
2. Hoe ziet de testprocedure eruit?
3. Hoe wordt de gemeten data geanalyseerd?
4. Zijn er nog andere relevante metingen die kunnen worden uitgevoerd?

Het doel van de testen is het opdoen van kennis over de volgende parameters; stroomsnelheid, de hoek van het bellenscherm en het luchtdebiet.

B1.2 Afbakening scope

Het onderzoek in de Scheldegoot wordt door de volgende punten omkaderd:

- Er wordt alleen onderzoek gedaan naar de parameters stroomsnelheid, de hoek van het bellenscherm en het luchtdebiet in relatie tot het afvangen van plastic afval,
- Tijdens het onderzoek wordt er alleen gekeken naar macro-plasticafval,
- De tijd om te testen in de Scheldegoot is 3 weken, deze staan gepland in de eerste 3 weken van mei.

De onderzoeksfaciliteiten beperken de scope verder met betrekking tot waterdiepte en stroomsnelheid. De eigenschappen van de onderzoeksfaciliteiten worden genoemd in paragraaf B2.1.

B1.3 Werkwijze

Om de testen goed voor te bereiden zijn er veel interviews overleggen gevoerd. Met The Great Bubble Barrier naar hun wensen, met Deltares en Rijkswaterstaat over de mogelijkheden en de faciliteiten. Begeleiders vanuit Deltares die ervaring hebben met het testen van bellenschermen hebben vergelijkbare testprocedures aangereikt. Experts op het gebied van het monitoren van plastic afval hebben geholpen met de methoden om de meetdata te analyseren. Al deze informatie is gestructureerd en in stappen ingedeeld

B2. Opzet van het onderzoek

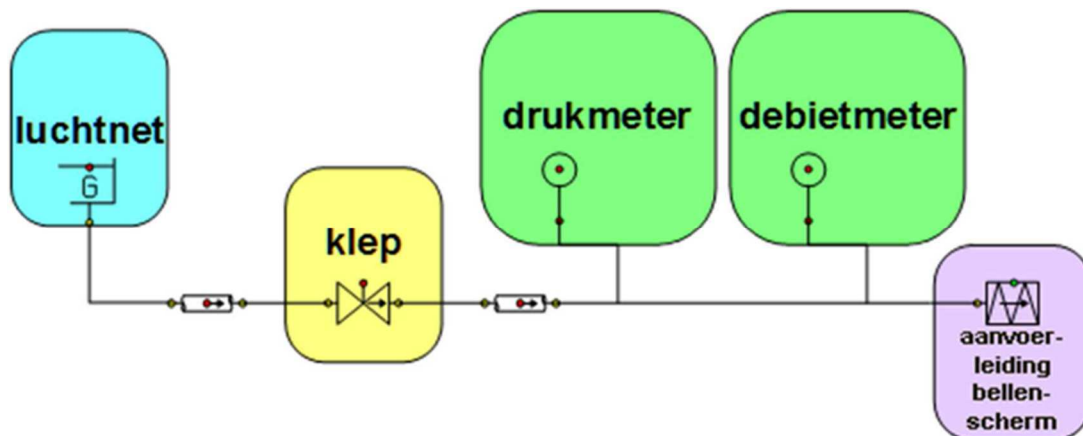
The Great Bubble Barrier zal met ondersteuning van Deltares het onderzoek uitvoeren. De te gebruiken onderzoeksfaciliteiten, opstelling, materialen en meetapparatuur wordt in dit hoofdstuk verder beschreven.

B2.1 Onderzoeksfaciliteiten

Het onderzoek zal plaatsvinden in de Oosterscheldegoot (Eastern Scheldt Flume) van Deltares te Delft. De goot bevindt zich in het laboratorium van Deltares te Delft en is 55x1x1,2 meter (L x B x H) groot. De goot heeft glazen wanden waardoor het afvangen van het plastic afval kan worden geobserveerd. De pomp die stroming in de Scheldegoet kan genereren heeft een capaciteit tot 600 l/s. De waterhoogte tijdens het testen zal 1 meter bedragen. De maximale stroomsnelheid bij deze waterhoogte is daarmee 0,6 m/s. De lucht voor het bellenscherm wordt aangevoerd vanuit het luchtnet van Deltares.

B2.2 Opstelling

De opstelling is schematisch weergegeven in figuur 11. Het luchtnet van Deltares zal de lucht leveren. De luchtdruk en luchtdebiet wordt afgeknepen met een klep waarna beide waarden kunnen worden afgelezen op de twee meters. De lucht wordt via de aanvoerleiding van het bellenscherm eruit geblazen waarna het bellenscherm wordt gecreëerd. De verschillende hoeken van het bellenscherm kunnen problemen geven in het instellen, het bellenscherm zal bij grotere hoeken een te lange slang hebben. Tijdens de test moet gekeken worden of de slang de bocht langs de wand kan maken, het overschot aan gaatjes wordt afgeplakt.



Figuur 11: Schematische weergave opstelling

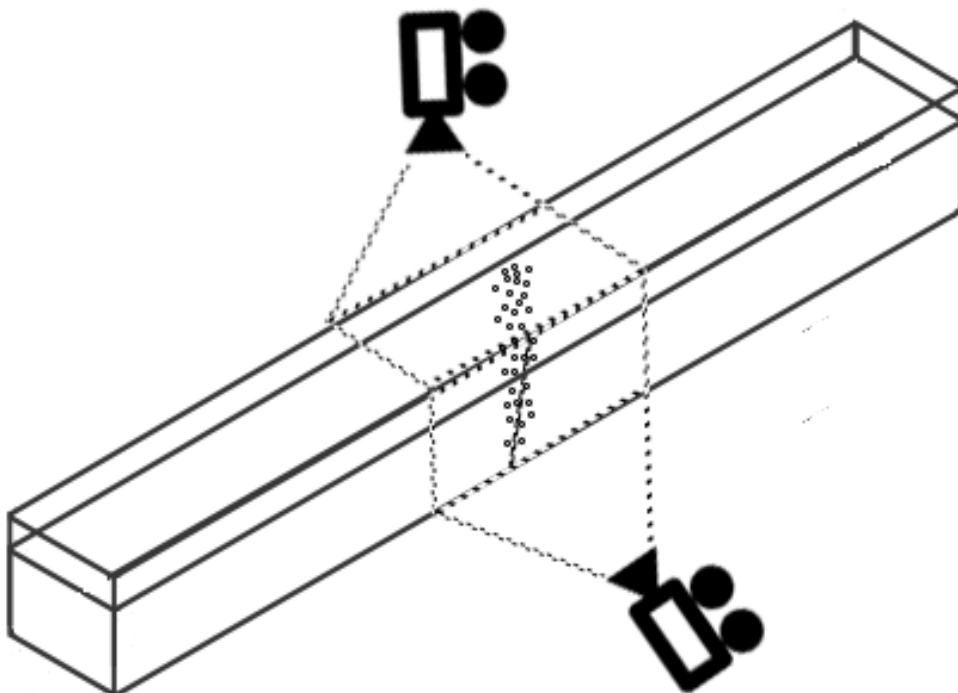
Bij kleinere hoeken (van 0 en 10 graden, figuur 13) van het bellenscherm wordt het bellenscherm langs de wand van de stroomgoot gelegd. Zo krijgt de mogelijke neer die zich aan de zijkant gaat vormen de ruimte en is de invloed van de wand minder groot. De wand waaraan de aanvoerleiding van het bellenscherm ligt geldt dan als de scheiding van een symmetrisch vlak.

Materiaal

Deltares beschikt over het materiaal tot de slang naar het bellenscherf. De aanvoerleidingen en koppelingen voor het bellenscherf worden geleverd door CanadianPond. Voor de testen zijn er twee bellenscherf-aanvoerleidingen beschikbaar vanuit CanadianPond, een van 3 meter, de ander van 9 meter. De technische tekening van de te gebruiken slang voor het bellenscherf is weergegeven in bijlage 3. Er wordt tijdens de test gebruik gemaakt van de BUB12 (zie bijlage 4). Het plastic waarmee getest wordt dient representatief te zijn aan het plastic afval op de IJssel. Het eerder uitgevoerde literatuuronderzoek geeft een indicatie van de samenstelling van het plastic afval op de IJssel. Er is gekozen voor plastic markttasjes, plastic flesjes, doppen, koekverpakkingen en piepschuim verpakkingsvlinders.

Meetapparatuur

De te gebruiken meetapparatuur bestaat uit een drukmeter, debietmeter, videocamera's en inkt. De drukmeter type PDCR-4030 van de producent Druck heeft een bereik van 0 tot 5 barg (bar gauge). De debietmeter, een thermische flowmeter met by-pass, is van de IN-FLOW series van producent Bronkhorst. Het bereik loopt van 0 tot 400 NI/min (6,67 NI/s), met een nauwkeurigheid van 0,4% van de gemeten waarde. De twee videocamera's zijn normale videocamera's. Een camera staat haaks op de stroomgoot richting het bellenscherf, de andere videocamera neemt beelden van bovenaf op het bellenscherf (figuur 12). Om de opnames goed te kunnen vergelijken dienen de camera's gedurende de testen niet verplaatst te worden. Om de stroming rond het bellenscherf beter te kunnen waarnemen wordt er gebruikt gemaakt van een speciale inkt, deze blauwe inkt heeft dezelfde eigenschappen als water en geeft daarmee de stroming goed weer.



Figuur 12: Opstelling camera's

B2.3 Verschaling

De testen in de Scheldegoot zullen een opmaat zijn voor een pilotopstelling in de IJssel. De volgende factoren zijn onderzocht op de mogelijkheden tot verschaling;

Wandeffecten

De wandeffecten beïnvloeden op verschillende manieren de test anders dan bij de IJssel. Factoren als wandruwheid en profiel van de wanden worden voor de doelstelling van de test als niet relevant beschouwd, het plastic zal voornamelijk op het oppervlak drijven.

Het grootste effect zal veroorzaakt worden door het verschil tussen lengte/breedte verhouding tussen de goot en de IJssel. Tijdens fase 1 is de waterstand in de goot gelijk aan de breedte van 1 meter. De verhouding lengte/breedte is hiermee 1, de IJssel heeft ongeveer een lengte/breedte verhouding van 20. De lagere lengte/breedte verhouding kan andere stroompatronen afdwingen doordat de neervorming beïnvloed wordt door geringe ruimte tussen de wanden. Dit effect kan geverifieerd worden door bij lagere waterstanden een opstelling opnieuw in te stellen en de gevormde bellenschermen en stromingen analyseren.

Om bovengenoemd verschalingseffect in te schatten zal er tijdens fase 2 de waterstand verlaagd worden. Vanuit formules van Bulson (3.1) kan het luchtdebiet worden verschaald naar de lagere waterstand waarna wordt gekeken of de neervorming afwijkt zoals deze bij een waterstand van 1 meter werd bevonden. Indien er een ander luchtdebiet nodig is om een vergelijkbaar bellenscherm te creëren zal deze factor mee worden genomen bij de pilot in de IJssel.

Waterdiepte in relatie tot het luchtdebiet

De waterdiepte in de goot zal 1 meter zijn tijdens fase 1, de waterdiepte in de IJssel varieert ongeveer tussen de 2,5 – 5,5 meter. De hogere waterdruk op het bellenscherm zal een hoger luchtdebiet vragen om de grotere massa water met dezelfde snelheid omhoog te duwen. De formule van Bulson (3.1) geeft een verband tussen het luchtdebiet en waterdiepte, hiermee kan het luchtdebiet naar een grotere waterdiepte worden verschaald. Tijdens fase 2 kan hiermee al getest worden met lagere waterstanden.

Dimensies bellenscherm

Het bellenscherm zoals gebruikt gaat worden met de test zal een kleinere diameter en een kortere lengte hebben dan het bellenscherm in de IJssel. Tijdens de testen in de Scheldegoot zal type BUB12 met een diameter van 14,6 mm, het bellenscherm voor de IJssel zal type BUB34 zijn, deze heeft een diameter van 21 mm (zie bijlage 4). De verschillen in diameter zal de compressor nauwelijks merken, de grootte van de gaatjes blijven gelijk.

De grotere lengte van het bellenscherm zal een groter drukval over de leiding creëren. Hierdoor kan aan het eind van de slang onvoldoende druk ontstaan om een stabiel goed verdeeld bellenscherm te vormen. Gezien de kleine gaatjes en de kwaliteit van de slang worden hier geen problemen mee verwacht.

Plastic afval

Het plastic afval zal ook verschaald worden. De grootste categorie, de plastic flesjes (250 ml), zullen voor een grotere colafles in de IJssel voorstellen. De kleinere categorieën als de piepschuim vlinders en doppen zullen in de IJssel te vergelijken zijn met wegwerp bordjes of koffiebekers.

Medium

Het medium (water) is vergelijkbaar zoals dat van de IJssel. De dichtheden van zoetwater en het gebruikte water bij Deltares lijken genoeg op elkaar om de test niet te beïnvloeden.

Belgrootte

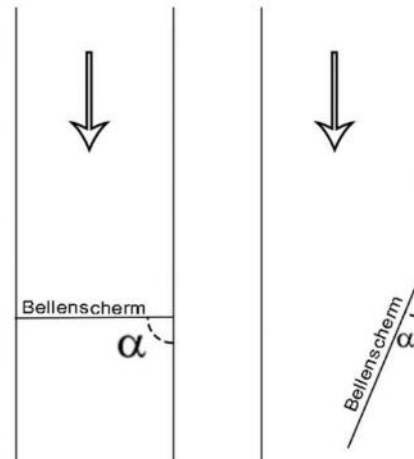
Hoewel de gaatjes in de aanvoerslang gelijk zijn zal de belgrootte zal op 4 meter waterdiepte kleiner zijn dan op 1 meter diepte door de grotere waterdruk. De belgrootte varieert daarmee naarmate deze hoger komt daarnaast hebben bellen snel de neiging te 'klonteren' wat sturen op bellengrootte erg moeilijk maakt. Voor de test worden de bellengrootte niet als een grote factor gezien.

B3. Testprocedure

De test wordt uitgevoerd in de volgende drie fases:

- Fase 0: Inregelen opstelling, ontluchten en controle op werking bellenschermb,
- Fase 1: Verband onderzoeken tussen stroomsnelheid, hoek en luchtdebiet voor het afvangen van plastic afval,
- Fase 2: Optionele metingen.

Tijdens fase 0 wordt er gecontroleerd op een stabiele werking van het bellenschermb. Er moet een gelijkmatige verdeling van bellen zijn over de gehele lengte van het bellenschermb. Indien blijkt dat de geleverde bellenschermben niet naar behoren functioneren kan er nog tijdig worden geschakeld. Fase 1 zal meer inzicht moeten bieden over de werking van het bellenschermb en het verband tussen de stroomsnelheid, hoek van het bellenschermb (figuur 13) en het luchtdebiet. Het bellenschermb zal in verschillende opstellingen worden geplaatst en getest met verschillende stroomsnelheden. Onderzocht wordt bij welk luchtdebiet en opstelling het bellenschermb net stabiel genoeg blijft om plastic afval op te vangen. De configuraties die de hoogste potentie hebben zullen worden getest met verschillende categorieën plastic afval. Fase 2 biedt ruimte voor verdere metingen indien hier tijd voor is. Er kan onder andere worden getest met hogere stroomsnelheden, objecten in de goot plaatsen om andere stromingspatronen te onderzoeken of een ander bellenschermb testen. De verschillende fases zullen in dit hoofdstuk verder beschreven worden.



Figuur 13: Hoek van het bellenschermb

B3.1 Fase 0

Fase 0 zal dienen voor het inregelen van het bellenschermb. Het water in de aanvoerslang van het bellenschermb wordt in deze fase weggeblazen en er wordt gecontroleerd of er een gelijkmatig bellenschermb wordt gecreëerd. Hierbij wordt het bellenschermb onder een hoek van 90 graden geplaatst en een debiet van 2,5 NI/s gebruikt.

B3.2 Fase 1

Tijdens fase 1 wordt het benodigd luchtdebiet vastgesteld bij verschillende opstellingen, waarbij iedere opstelling een andere hoek van het bellenschermb voorstelt. Het vaststellen van het luchtdebiet wordt nader beschreven in paragraaf B4.1. Beginnend met een hoek van 90 graden, het bellenschermb staat dan haaks op de stromingsrichting, wordt een stroomsnelheid van 0,05 m/s ingesteld. De hoogte van de overlaat van de stroomgoot moet bij elke wisseling van stroomsnelheid worden aangepast om een waterstand van 1 meter te behouden. Vervolgens wordt het luchtdebiet langzaam verhoogd tot zich een optisch stabiel bellenschermb vormt. Een bellenschermb dat wordt weggeblazen is goed te zien, daarnaast zijn er experts op het gebied van bellenschermben om deze afweging te maken. Nadat het bellenschermb stabiel blijft wordt het luchtdebiet genoteerd. Zo worden de verschillende stroomsnelheden doorlopen zoals weergegeven in tabel 6. Uitbreidere tabellen zijn bijgevoegd in bijlage 2 en 3.

Tabel 6: Schema opstellingen en stroomsnelheden

Opstelling	Hoek bellenscher (Graden)	Stroomsnelheid							
		(m/s)	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
1.1	90								
1.2	60								
1.3	45								
1.4	30								
1.5	10								
1.6	0								

Nadat de verschillende stroomsnelheden zijn getest worden de twee varianten met potentieel de beste instellingen per opstelling getest met plastic afval. Hierbij zijn hogere stroomsnelheden gewenst en lagere luchtdebieten. Tijdens het testen met plastic afval zal plastic afval dat representatief is aan dat van de IJssel worden ingebracht waarna optisch wordt gekeken of dit wordt tegenhouden door het bellenscher. Hier worden video-opnamen van gemaakt. Het bellenscher moet hierbij de tijd krijgen om stabiel te worden waarna het plastic erin wordt gelegd. De structuur tijdens fase 1 zal hiermee als volgt eruitzien:

Fase 1: Verband stroomsnelheid, hoek en luchtdebiet voor afvangen plastic afval

- 1.1 Opstelling 1 (90 graden),
 - 1.1a Stroomsnelheden testen in relatie tot luchtdebiet,
 - 1.1b De varianten met potentieel de beste instellingen testen met plastic afval,
- 1.2 Opstelling 2 (60 graden),
 - 1.2a Stroomsnelheden testen in relatie tot luchtdebiet,
 - 1.2b De varianten met potentieel de beste instellingen testen met plastic afval,
- 1.3 Opstelling 3 (45 graden),
 - 1.3a Stroomsnelheden testen in relatie tot luchtdebiet,
 - 1.3b De varianten met potentieel de beste instellingen testen met plastic afval,
- 1.4 Opstelling 4 (30 graden),
 - 1.4a Stroomsnelheden testen in relatie tot luchtdebiet,
 - 1.4b De varianten met potentieel de beste instellingen testen met plastic afval,
- 1.5 Opstelling 5 (10 graden),
 - 1.5a Stroomsnelheden testen in relatie tot luchtdebiet,
 - 1.5b De varianten met potentieel de beste instellingen testen met plastic afval,
- 1.6 Opstelling 6 (0 graden),
 - 1.6a Stroomsnelheden testen in relatie tot luchtdebiet,
 - 1.6b De varianten met potentieel de beste instellingen testen met plastic afval,

De test met plastic afval zal een vaste structuur volgen zoals weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Structuur test met plastic afval

Categorie plastic	Ronde 1	Ronde 2
Plastic markttasje	1	20
Flesje (50 cl zonder dop)	1	20
Flessendop	1	30
Piepschuim vlinders	1	30
Koekjesverpakking	1	30

Eerst zal er een voorwerp in worden gelegd om de werking van het bellenscherm op het voorwerp goed te bestuderen. Hierna worden er meerdere in de stroomgoot gelegd, er wordt geteld hoeveel voorwerpen er voor het bellenscherm blijven gangen, hiermee kan een oordeel worden gedaan over de effectiviteit van het bellenscherm.

B3.3 Fase 2

De laatste fase is om de resterende tijd onderzoek te doen naar aanpassingen buiten de scope van fase 1. Hierbij is het onder andere mogelijk om een hogere stroomsnelheid te creëren en/of objecten in de stroomgoot plaatsen, hoofdstuk B5 gaat hier verder op in.

B3.4 Planning

De planning voor de testen in de Scheldegoot is weergegeven in bijlage 1. Het zal zich moeten uitwijzen of fase 0 binnen twee dagen afgerond kan zijn en of de testen in fase 1 binnen een dag kunnen worden afgerond. De inhoudelijke invulling tijdens fase 2 zal tijdens het testen duidelijk worden.

B4. Analyse meetdata

De resultaten van de test moeten een beeld geven van de te gebruiken luchtdebieten om plastic afval af te vangen onder invloed van stroomsnelheid en hoek van het bellenscherm. Hierbij zijn de benodigde luchtdebieten essentieel, naast de luchtdebieten zal er uit de resultaten ook een verwachting worden gedaan over de effectiviteit van het bellenscherm. De hoeveelheid afgevangen plastic moet hiervoor geanalyseerd worden.

B4.1 Luchtdebiet

In fase 1 na het opzetten van de opstelling en het instellen van de te onderzoeken stroomsnelheid zal het benodigd luchtdebiet worden bepaald. Dit gebeurt aan de hand van optische controle op het bellenscherm; blijft het bellenscherm stabiel of wordt het weggeblazen door de stroming? Zodra het punt is bereikt dat het bellenscherm stabiel blijft kan het dan ingestelde luchtdebiet worden afgelezen.

De debietmeter geeft het totale luchtdebiet weer. Dit betekent dat er bij grotere hoeken een groter luchtdebiet door gaat aangezien de slang meer lengte en daarmee meer gaatjes heeft. Om de debieten onderling te vergelijken zullen ze eerst omgerekend worden naar het normaal luchtdebiet per meter slang.

Vanuit het literatuuronderzoek is geconcludeerd dat luchtdebieten boven de 5 NL/s/m en hoeken kleiner dan 45 graden niet meer rendabel is voor een bellenscherm over de gehele breedte van de IJssel. Er kan nog wel getest worden met hogere luchtdebieten voor opties waarbij niet de hele breedte wordt overspannen.

B4.2 Plastic afval

Er is geen standaardmethode om plastic afval in te meten. Er zijn zowel onderzoeken die het plastic inmeten in aantallen per categorie en onderzoeken die het inmeten per gewicht of volume. Aangezien er tijdens de test met een gelimiteerd aantal soorten plastic afval worden gewerkt zal het gewicht en aantal makkelijk uit te rekenen zijn. Hierbij wordt ook de verdeling tussen drijvend en plastic in suspensie gemaakt. Het aantal voorwerpen dat over het bellenscherm stroomt zal worden bijgehouden en de maat bepalen voor het falen van het bellenscherm om het plastic af te vangen.

B5. Optionele metingen

Gezien het innovatieve karakter van de test is er een fase 2 aan toegevoegd om meer kennis op te doen naar zaken buiten het luchtdebiet en de werking van het bellenscherm. Tijdens deze fase zal er onderzoek worden gedaan naar vraagstukken die na fase 0 en 1 interessant zijn. Voor aanvang van de test zijn er meerdere opties aan bod gekomen, de tijd hiervoor zal gelimiteerd worden door de eerste 2 fases. De aanpassingen die tot nu toe zijn besproken zijn de volgende:

- Hogere stroomsnelheid,
- Objecten als balken in de stroomgoot,
- Alternatief bellenscherm – Permacaps,
- Golven.

Tijdens het testen zal er worden gekeken welke van deze opties onderzocht zullen worden.

B5.1 Hogere stroomsnelheid

Om in de stroomgoot een stroomsnelheid van boven de 0,6 m/s te realiseren moet de waterstand worden verlaagd. De capaciteit van de pomp is ongeveer 600 l/s, met een waterstand van 1 meter en een breedte van 1 meter betekent dit een maximale snelheid van 0,6 m/s. Bij een halvering van de waterstand zal de stroomsnelheid verdubbelen, zo kunnen de stroomsnelheden van de IJssel worden behaald.

Bij het verlagen van de waterstand worden ook andere processen beïnvloed; De verandering in de lengte breedte verhouding van het waterlichaam zorgt voor een andere dynamiek op het bellenscherm. Dit gegeven zal er voorafgaand aan de lagere waterstand eerst de werking en het benodigde luchtdebiet vergeleken moeten worden met de situatie als in fase 1. Zo wordt er gekeken of de resultaten na het verlagen van de waterstand nog te vergelijken zijn met de resultaten gevonden bij de waterstand van 1 meter. De breedte/hogte verhouding zal groter worden en daarmee meer op de situatie zoals bij de IJssel lijken, de breedte/hogte verhouding van de IJssel ligt rond de 20.

B5.2 Objecten in de stroomgoot

De vierkante vorm van de stroomgoot zal een ander effect geven dan het dwarsprofiel van de IJssel. Er kan tijdens de tweede fase balken in de stroomgoot worden geplaatst om het dwarsprofiel van de IJssel beter te benaderen.

B5.3 Alternatief bellenschermb - Permacaps

Indien het bellenschermb niet goed functioneert door samenklontering van bellen, een slecht verdeeld bellenschermb of omdat er water in het bellenschermb vast komt te zitten kan er geëxperimenteerd worden met een ander bellenschermb met permacaps (figuur 14). Permacaps worden vaak gebruikt bij bellenschermben vanwege de goede verdeling van de bellen en de mogelijkheid om een terugslagklep in te bouwen. Hierdoor kan er geen water in het bellenschermb komen. Permacaps zijn er in verschillende soorten waarbij fijne of grove bellen kunnen worden gemaakt.



Figuur 14: Permacap

Deltares beschikt over een leiding met deze permacaps. Deze leiding is 1 meter lang waardoor ze te kort zijn om over de gehele lengte te gebruiken als de hoek kleiner dan 90 graden wordt.

B5.4 Golven

Factoren als wind en scheepvaart zullen invloed hebben op de afvang efficiëntie van het bellenschermb. Om de grootte van deze factoren te bepalen kunnen er golven in de Scheldegoot worden opgewekt. De golven gelden dan als windgolven golven veroorzaakt door scheepvaart. Windgolven op de IJssel kunnen hoogtes van 30 centimeter met enige regelmaat bereiken. De goot kan de volgende golfkarakteristieken opwekken:

- Frequentierange: tussen 0,01 Hz en 2 Hz,
- Maximale regelmatige golfhoogte: 0,4m,
- Maximale gefocuste golfhoogte: 0,55m,
- Maximale significante golfhoogte: 0,25m.

De golven staan in verhouding met de waterdiepte en zullen verschaald moeten worden vanuit de IJssel naar de stroomgoot. De waterdiepte in de IJssel varieert van ongeveer 3 tot 6 meter. Een verkleining naar 1 meter waterdiepte zal niet betekenen dat de golven ook met een factor 3 – 6 moeten worden verkleind. Andere processen zoals waterspanning, wandruwheid en turbulentie kunnen namelijk niet worden verkleind.

B6. Conclusie en aanbevelingen

De testprocedure is zo opgezet dat de werking van het bellenscherm onder verschillende hoeken en bij verschillende stroomsnelheden kan worden onderzocht. Daarmee is de hoofdvraag *“Hoe kan de efficiëntie van bellenschermen om plastic afval af te vangen worden getest, bij verschillende stroomsnelheden en opstellingen?”* zo goed mogelijk beantwoord. De testen zullen uitgevoerd worden in 3 fases. Een voorbereidende fase waarin de opstelling en de instellingen worden gecontroleerd. De hoofdfase waarin de verschillende opstellingen en stroomsnelheden worden onderzocht en getest met plastic afval. Tot slot de laatste fase waarin aanvullende metingen kunnen worden verricht.

Er is een vaste structuur gemaakt om het plastic afval in de goot te laten. Dit is afgestemd op de bevindingen uit het literatuuronderzoek naar de soort, samenstelling en grootte van het plastic. Dit met in acht name van de verschalings-effecten.

Met het oog op de pilot in de IJssel en bij stroomsnelheden van gemiddeld 1,0 m/s wordt aangeraden om tijdens de aanvullende metingen de waterstand te verlagen. Door het verlagen van de waterstand kunnen stroomsnelheden boven 0,6 m/s worden gehaald. Bellenschermen met verschillende waterstanden zijn zeer moeilijk met elkaar te vergelijken omdat de diepte breedte verhouding veranderd. Wel kan het effect van hogere snelheden worden bestudeerd.

C. Monitoringsplan

C1. Introductie

C1.1 Achtergrond

Om de plastic toestroom vanuit de rivieren tegen te gaan hebben een aantal organisatoren, waaronder Rijkswaterstaat, *The Plastic Free Rivers Makathon* georganiseerd. De vraag was om met innovatieve ideeën te komen om plastic uit de rivieren te halen. The Great Bubble Barrier (hierna TGBB) is hierin met het winnende idee gekomen; het afvangen van macroplastics met behulp van een bellenscherm. De prijs is een pilotopstelling in de IJssel. Hiervoor is eerst een literatuuronderzoek afgerond, CFD-modellen gerund en testen in de stroomgoot (Scheldegoet) van Deltares uitgevoerd.

Het onderzoeksrapport over de huidige kennis over bellenschermen en plastic afval heeft veel informatie opgeleverd. Onder andere over het te verwachten plastic en de impact van plastic en bellenschermen op het milieu. Er zijn vervolgens simulatiemodellen opgezet. Deze hebben een indicatie gegeven over de mogelijke werking van het bellenscherm. Hierin is voornamelijk naar voren gekomen dat een hoge stroomsnelheid het bellenscherm omver kan blazen. Vanuit de modellen zijn er aanvullende opstellingen meegenomen welke minder tegen de stroming in werken.

De testen in de Scheldegoet hebben een indicatie gegeven voor de werking van het bellenscherm om plastic afval af te vangen. Hieruit is geconcludeerd dat...

Nu het vooronderzoek is afgerond is er genoeg informatie verzameld om de pilot in de IJssel op te starten. Om de pilot in goede banen te leiden is er een monitoringsplan opgesteld. Dit vormt het laatste deel van het stageverslag.

Helaas werden de testresultaten pas verwerkt na de einddatum van stage. Het monitoringsplan is zo ver mogelijk ingevuld. Grijs cursieve teksten moeten nog worden aangepast.

C1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is een monitoringsplan op te stellen voor de pilot in de IJssel. De hoofdvraag hierbij: *“Hoe kan de efficiëntie, voor het afvangen van plastic afval, van een bellenscherm in de IJssel worden gemonitord?”* Het plan moet ondersteuning bieden aan The Great Bubble Barrier door onder andere een structuur bieden aan de te verrichten metingen en een indruk geven van de verwerking van de meetgegevens. De volgende deelvragen zijn opgesteld;

1. Hoe wordt het onderzoek opgezet?
2. Welke metingen worden uitgevoerd?
3. Hoe ziet het monitoringsplan eruit?
4. Hoe wordt de gemeten data geanalyseerd?

Het doel van de monitoring is om de efficiëntie aan te tonen van bellenschermen om macroplastic afval af te vangen in een rivier als de IJssel. Secundair wordt er kennis opgedaan over de werking van bellenschermen in stromend water en onder invloed van wind en scheepvaart.

C1.3 Afbakening scope

De monitoring van het bellenscherm in de IJssel wordt door de volgende punten omkaderd:

- De monitoring zal zich alleen richten op macroplastic afval (>5 mm)
- Er worden alleen metingen verricht naar de waterstand, stroomsnelheid, windkracht, luchtdebiet, scheepvaart en de hoeveelheid afgevangen plastic afval,
- *De maximale looptijd van de opstelling in de IJssel bedraagt X weken/maanden,*

C1.4 Werkwijze

Het monitoringsplan is opgezet door overleggen te voeren met de initiatiefnemers The Great Bubble Barrier over hun wensen. Interviews, overleggen en literatuuronderzoek naar de mogelijkheden en kansen. Deskundigen op het gebied van het monitoren van plastic afval hebben rapporten aangeleverd en meegedacht. Rivierhydrologen van Rijkswaterstaat en Deltares hebben meegedacht en op kleine schaal testjes uitgevoerd.

C2. Opzet van het onderzoek

De monitoring van het bellenschermbelasting wordt uitgevoerd door The Great Bubble Barrier, met ondersteuning van Rijkswaterstaat, Deltares en Van Den Herik. De pilot zal plaatsvinden in de IJssel, langs de kade te Zutphen (figuur 15). De opstelling, gebruikte materialen en meetapparatuur zal in dit hoofdstuk verder worden besproken.



Figuur 15: Locatie pilotopstelling

C2.1 Fasering

De monitoring zal plaatsvinden in drie fases, waarbij fase 1.A en 1.B parallel lopen:

- Fase 0: Inregelen opstelling en controle op werking bellenschermbelasting,
- Fase 1:
 - o A: Monitoring handmatige aanvoer plastic afval,
 - o B: Monitoring "natuurlijke" toestroom plastic afval.

Tijdens Fase 0 wordt het bellenschermbelasting aangelegd en ingeregeld. *Het bellenschermbelasting wordt in twee delen over de volledige breedte van de IJssel aangebracht.* De leidingen worden gekoppeld en de compressoren worden in werking gesteld. Vervolgens worden de aanvoerleidingen voor het bellenschermbelasting ontwaterd door het luchtdebiet te verhogen tot een stabiel bellenschermbelasting ontstaat. Daarnaast worden normale videocamera's geplaatst zoals weergegeven in *figuur 12*. Zodra de camera's zijn geplaatst en het bellenschermbelasting recht en stabiel blijft zal over worden gegaan naar fase 1.

Fase 1.A zal ingaan op de monitoring van handmatig ingebracht plastic afval. Het plastic afval wordt vanaf de *kade/oever* in de IJssel gelegd via een vaste structuur beschreven in paragraaf C4.2. Er wordt bijgehouden hoeveel plastics door het bellenschermbelasting worden tegengehouden, de plastic delen die door het bellenschermbelasting stromen worden opgevangen om ongewenste vervuiling te voorkomen. Voor en na de meting worden *de waterstanden, stroomsnelheid, windkracht en windrichting gemeten* om de omgevingsfactoren bij de meetgegevens analyse mee te nemen. Deze meting wordt vijf keer herhaald gedurende *2 weken*.

Parallel aan fase 1.A loopt fase 1.B. Naast het onderzoek met handmatig aangevoerd plastic afval zal ook het afval dat van "nature" in de rivier zit worden gemonitord. De videocamera's zullen gedurende de *2 weken* overdag opnemen, deze beelden worden geanalyseerd op (drijvend) plastic afval en invloeden van golven gecreëerd door de scheepvaart. Deze resultaten zullen met de resultaten uit 1.A worden vergeleken.

De resultaten van de monitoring zullen ten eerste een indruk geven over de potentie van bellenschermbelasting om macroplastic afval af te vangen, daarnaast wordt er een verband gelegd tussen de efficiëntie van het bellenschermbelasting en de waterstand en windgolven. Tot slot zal er een indicatie worden gegeven over de invloed van golven veroorzaakt door de scheepvaart.

C2.2 Opstelling

De opstelling is weergegeven in figuur X. Twee compressoren aan beide kanten van de IJssel blazen lucht door een klep, een luchtdebietmeter en een drukmeter waarna het via de twee bellenscherm aanvoerleidingen van X meter wordt geblazen. De aanvoerleidingen worden op de bodem van de IJssel vastgemaakt, onder een hoek van X graden. Stroom voor deze twee compressoren wordt geleverd vanaf punten A en B. Er worden twee videocamera's gebruikt. Een videocamera onder water om het gedrag van gesuspendeerde plastic deeltjes te kunnen waarnemen en een videocamera op de oever.

Materiaal

Het bellenscherm type BUB 1.00 wordt geleverd door CanadianPond, technische specificaties zijn bijgevoegd in bijlage X. De compressor type ... wordt geleverd door ... en heeft de volgende specificaties... De benodigde spullen die nodig zijn voor de test zijn als volgt:

- *Schepnet*
- *Stopwatch*
- *Peilingbootje*
- *Videocamera's*
- *...*

Meetapparatuur

Voor de monitoring zal worden gebruik gemaakt van een drukmeter type... merk ...een flowmeter en normale videocamera's. De flowmeter type ... van het merk ... heeft een bereik van ... en zal worden gebruikt om de stroomsnelheid tijdens de monitoring van fase 1 te meten.

C3. Uit te voeren metingen

Dit hoofdstuk zal ingaan op de metingen die worden uitgevoerd tijdens de monitoring. De verschillende parameters die worden gemeten zijn de waterstand, stroomsnelheid, afvoer, windkracht en windrichting.

C3.1 Waterstand

De waterstand wordt opgenomen door het waterstandsmeetstation Zutphen Noord, beheerd door Rijkswaterstaat. Het meetstation verricht elke 10 minuten een meting. De resultaten worden weergegeven op de website van Rijkswaterstaat⁴ ten opzichte van NAP. De waterstand worden 4 dagen weergegeven op de website. Tijdens het testen zal de begin- en eindtijd worden genoteerd waarna de waterstand maximaal 4 dagen later op de website wordt vastgesteld. Na de 4 dagen worden de gegevens weggehaald. *Gezien de waterstand ten opzichte van NAP wordt gegeven kan de waterdiepte alleen worden bepaald door de bodemhoogte op te nemen. Van den Herik zou bij het peilen van de bodemhoogte kunnen assisteren.*

Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid

Het meetstation ligt op 1,5 kilometer afstand van de stadskade van Zutphen. De stadskade beperkt de breedte van de IJssel niet; de breedte van de twee locaties is vergelijkbaar. Lokale objecten zoals kribben kunnen de waterstand plaatselijk veranderen. Gezien de resultaten worden gebruikt om te vergelijken blijven de gegevens betrouwbaar als de gemeten waterstand consistent te hoog of te laag wordt gemeten.

C3.2 Stroomsnelheid en afvoer

De stroomsnelheid wordt bepaald met behulp van ADCP-metingen. De ADCP is een instrument die met behulp van geluidsignalen de stroomsnelheid meet. Dit instrument wordt op een boot gezet en in lijnen in de breedte over de IJssel gevaren. Met behulp van geluidssignalen wordt een doorsnede gemaakt van de stroomsnelheden. Deze meting zal 5 keer worden herhaald bij elke handmatige meting,

De afvoer van de IJssel wordt ook bepaald tijdens de ADCP-metingen. Met behulp van de geluidssignalen kan worden gemeten hoeveel water onder de boot stroomt. Meerdere metingen naast elkaar geven zo het hele debiet van de rivier.

Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid

Gezien de meting plaatsvindt op een boot kunnen de uiterste randen van de rivier niet worden meegenomen. Daarnaast zal het water dat over de bodem stroomt ook niet goed worden meegenomen omdat het sediment niet egaal ligt. Deze onnauwkeurigheden worden grotendeels softwarematig rechtgezet. Hoewel de ADCP-meting een nauwkeurig beeld geeft van de stroomsnelheid worden lokale effecten als kribben niet meegenomen tenzij er op exact dezelfde locatie wordt gemeten als de locatie van het bellenscherm.

⁴ Website:

www.rijkswaterstaat.nl/apps/geoservices/rwsnl/awd.php?mode=html&projecttype=waterstanden&category=1&loc=ZUTP&net=LMW

C3.3 Windkracht en windrichting

Gegevens over de wind kunnen worden gebruikt om resultaten verklaren. Mocht er getest worden tijdens hardere wind dan kan deze vergeleken worden met voorafgaande metingen, de weersomstandigheden worden hiermee gebruikt om afwijkende resultaten te verklaren. Hierbij moet duidelijk vermeld worden dat de windkracht en windrichting op 10 meter hoogte is gemeten, de werkelijke windsnelheid nabij het wateroppervlak zal ongeveer *X keer* kleiner zijn.

Het meest nabijgelegen toegankelijke meetstation voor windkracht en windrichting bevindt zich in Eefde, ongeveer 5 kilometer hemelsbreed vanaf de pilotlocatie. Het weerstation is geen KNMI-weerstation maar gefinancierd en beheerd vanuit een samenwerking tussen hetweeraactueel.nl, Meteo Consult en Hydrologic/Witteveen+Bos. De data is vanaf internet toegankelijk op de website⁵.

Het dichtstbijzijnde KNMI-weerstation ligt in Deelen, ongeveer 22 km hemelsbreed van Zutphen af. Ook de gegevens van Deelen zijn vrij toegankelijk via internet⁶. De omstandigheden zijn hier anders dan in Zutphen, het weerstation ligt op hogere gronden en omringd met bomen. Gezien dit weerstation ver van Zutphen af ligt en de omstandigheden anders zijn gaat de voorkeur uit naar het weerstation in Eefde.

Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van de windmetingen worden door verschillende factoren beïnvloed; Het meetpunt in Eefde staat op 10 meter hoogte op een rijtjeshuis aan de noordelijke rand van een woonwijk grenzend aan graspercelen. De omliggende huizen aan de ene kant en de vrije zijden van de graspercelen zullen de windkracht en richting anders beïnvloeden dan de omgeving van de IJssel. De windkracht aan het wateroppervlak zal vele malen kleiner zijn en de windrichting op de IJssel wordt ook deels bepaald door de ligging van de oevers. De nauwkeurigheid is daarmee niet hoog. Gezien het verklarende karakter van deze gegevens - ze worden gebruikt om stormachtige dagen mee te nemen - geven de metingen een voldoende goed beeld van de weersomstandigheden.

⁵ Website: www.weerstation-eefde.nl

⁶ Website: www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens

C4. Monitoringsplan

De monitoring zal in de volgende drie fases worden uitgevoerd, waarbij fase 1.A en 1.B parallel lopen:

- Fase 0: Inregelen opstelling en controle op werking bellenscherm
- Fase 1:
 - A: Meting handmatige aanvoer plastic afval
 - B: Monitoring “natuurlijke” toestroom plastic afval

De meetdoelen en een uitgebreide werkwijze worden in dit hoofdstuk beschreven.

C4.1 Meetdoelen

De monitoring van de pilotopstelling zal de potentie tonen van bellenschermen om verschillende soorten macroplastic afval af te vangen in een rivier als de IJssel. Daarbij worden de factoren waterstand, stroomsnelheid, windkracht, windrichting en scheepvaart meegenomen.

De monitoring geeft een beeld van de efficiëntie van bellenschermen om macroplastic afval af te vangen. Hierbij wordt er plastic afval voor het bellenscherm ingebracht en geïnventariseerd welk soort en hoeveel plastic er wordt afgevangen en doorgelaten. Daarnaast wordt er ook gekeken hoeveel plastic per tijdseenheid er uit de IJssel wordt gehaald zonder plastic handmatig in te brengen.

C4.2 Werkwijze

De werkwijze voor de metingen volgen een vaste structuur om de resultaten te kunnen vergelijken. Gezien de afvoer van de IJssel wordt meegenomen in de metingen wordt er gepoogd om de metingen over een zo lang mogelijke tijd op te nemen, zo wordt er een groter scala aan waterstanden en weersomstandigheden geanalyseerd.

Fase 0

Tijdens Fase 0 wordt het bellenscherm aangelegd en ingeregeld. *Het bellenscherm wordt in twee delen over de volledige breedte van de IJssel aangebracht volgens figuur X.* De leidingen worden gekoppeld en de compressoren worden in werking gesteld. Vervolgens worden de aanvoerleidingen voor het bellenscherm ontwaterd door het luchtdebiet te verhogen tot een stabiel bellenscherm ontstaat. Daarnaast worden normale videocamera's geplaatst zoals weergegeven in figuur 12. Zodra de camera's zijn geplaatst en het bellenscherm recht en stabiel blijft zal over worden gegaan naar fase 1.

Fase 1.A

Na het inregelen van de opstelling en controle op een stabiel bellenscherm zullen fasen 1A en 1B beginnen. Tijdens fase 1A zal plastic afval volgens een vaste structuur weergegeven in tabel 8 voor het bellenscherm in de IJssel worden gelegd. Voor aanvang van de meting zal de waterstand, stroomsnelheid, windkracht en waterkracht worden gemeten. De meting begint met een plastic groente en fruit zakje. Er wordt geconstateerd of deze door het bellenscherm wordt tegengehouden. Vervolgens worden er gelijkmatig meerdere plastic zakken voor het bellenscherm in het water gelaten, er wordt geteld hoeveel aantallen er door het bellenscherm wordt afgevangen. Nadat alle plastic afval categorieën zijn getest wordt nogmaals de waterstand, stroomsnelheid, windkracht en windrichting gemeten.

Tabel 8: Categorieën plastic

Categorie plastic	Ronde 1	Ronde 2
Plastic tasje	1	20
Flesje (zonder dop)	1	20
Dop	1	20
Piepschuim vlinders	1	30
Koekverpakkingen	1	25

Het afval dat over het bellenscherm heen gaat zal worden opgevangen met behulp van schepnetten. De meting zal 5 keer worden herhaald op verschillende dagen bij verschillende waterstanden, stroomsnelheid, windkracht en windrichting.

Fase 1.B

Tegelijkertijd met fase 1.A wordt fase 1.B gestart. Tijdens deze fase zal het plastic afval dat van nature door de IJssel stroomt worden gemonitord. Gezien er niet veel zichtbaar drijvend plastic op de IJssel drijft wordt er gebruik gemaakt van camera's die gedurende langere tijd kunnen monitoren. Bij deze meting wordt dagelijks de waterstand, stroomsnelheid, windkracht en windrichting worden gemeten. De videobeelden zullen ook geanalyseerd worden op golven veroorzaakt door scheepvaart.

C5. Analyse meetdata

De metingen genomen bij monitoring bestaan uit waterstanden en daarmee stroomsnelheden, golven door wind en scheepvaart en de hoeveelheid tegengehouden plastic afval. Met de hoeveelheid tegengehouden plastics kan een indicatie worden gedaan over de efficiëntie van het bellenschermbel. De overige factoren zullen in verband worden gebracht met de efficiëntie van het bellenschermbel.

C5.1 Efficiëntie bellenschermbel

De efficiëntie van het bellenschermbel wordt op twee manieren bepaald. Tijdens fase 1.A wordt het percentage plastics dat wordt tegengehouden uitgerekend per soort plastic afval. Per soort afval wordt in een staafgrafiek weergegeven welk percentage is tegengehouden. De gemiddelde percentages over de 5 metingen worden hier genomen. *Percentages boven de 80% worden gezien als een succes.*

Fase 1.B zal ook een indicatie doen over de efficiëntie van het bellenschermbel. De videobeelden worden geanalyseerd waarna de hoeveelheid plastic afval wordt geteld. Ook hier wordt het percentage bepaald van plastics dat door het bellenschermbel wordt afgevangen. De opbrengst hiervan kan ook worden vergeleken met de totale toestroom aan plastic afval, tijdens het literatuuronderzoek is hier een schatting naar gemaakt.

C5.2 Waterstanden/stroomsnelheden

De invloed van de waterstand op de efficiëntie van het bellenschermbel kan worden vastgesteld door de efficiëntie van het bellenschermbel per meting af te zetten tegen de waterstanden van de bijbehorende meting. Hieruit ontstaat een grafiek waaruit te zien is met hoeveel de efficiëntie afneemt als de waterstand hoger wordt. De waterstanden worden door het meetstation Zutphen Noord alleen gemeten ten opzichte van NAP. De hoogte van de bodem ten opzichte van NAP moet eerst bij een bepaalde waterstand bepaald worden om de waterdiepte in de analyse mee te kunnen nemen.

C5.3 Golven

De golven wordt verdeeld in windgolven en golven veroorzaakt door scheepvaart. De gegevens over golven worden hoofdzakelijk gebruikt om afwijkende resultaten te verklaren. Zo kan een verminderde efficiëntie tijdens dagen met harde wind verklaard en vergeleken worden met dagen met rustiger weer.

De scheepvaart zal alleen tijdens fase 1.B worden geanalyseerd. De beelden waarop schepen passeren worden geanalyseerd waarbij gekeken wordt of de golven veroorzaakt door schepen plastic afval over het bellenschermbel duwen. De hoeveelheid gefilmde schepen zal hier een grote factor zijn voor het verwerken van de gegevens.

C6. Conclusie en aanbevelingen

De hoofdvraag van dit onderzoek is als volgt: *“Hoe kan de efficiëntie, voor het afvangen van plastic afval, van een bellenscherm in de IJssel worden gemonitord?”*. Het opgestelde monitoringsplan biedt een kader om het plastic afval zo goed mogelijk te monitoren. Vergelijkbaar als bij de testprocedure is ook de monitoring ingedeeld in fasen. Een fase waarin het plastic er handmatig wordt in gelegd een fase waarin er naar de natuurlijke toestroom van plastic wordt gekeken. (...)

Er is eenzelfde structuur van plastic afval aangehouden gezien dit in de testfase goed beviel. Vanwege de verschalings-effecten zullen er wel grotere delen moeten worden gebruikt dan in de testfase. De externe factoren als wind en scheepsvaart zijn in kaart gebracht en aanbevelingen voor onder andere de meetdata van windkracht en windrichting en de waterhoogte. (...)

Vanuit alle meetdata lijkt de waterhoogte de moeilijkst vast te stellen. De beste optie lijkt om de waterstand teijken op een tijdelijke paal in de grond. Rijkswaterstaat kan hierin veel faciliteren. (...)

D. Nawoord

Mijn stage was ingebed binnen het SSRS-Leerteam. Dit leerteam bestaat uit Rijkswaterstaat, Deltares, Van Den Herik en Bam, samen met studenten en andere initiatiefnemers brengen ze duurzame inrichtingsprojecten tot leven. De vele projecten die hier langskomen lieten mij een innovatieve en duurzame kant van Rijkswaterstaat zien. Tijdens mijn vaartocht met een peilschip van Rijkswaterstaat heb ik de liefde voor het landschap en het persoonlijke beheer zelf kunnen ervaren nadat we een schaap op haar rug zagen liggen en overeind probeerde te helpen. Mijn dank aan dit leerteam voor het hartelijke ontvangst, de ervaringen die ik heb opgedaan en de leuke en bijzondere tijden die we hebben gehad.

In het bijzonder wil ik mijn stagebegeleidster Marja Hamilton bedanken, samen met Yuri Wolf heeft ze mij op geholpen binnen Rijkswaterstaat. De begeleidster vanuit Deltares Femke Verhaart was kritisch, direct, liet mij veel te vrij en waaraan ik mij als hbo-er tussen de vele academici moest bewijzen, ik dank haar hiervoor. Zonder haar kritische blik, het beetje tijd die ze had, kennis en ervaring met testprocedures zou het nooit zijn gelukt. Ze leerde mij de lat hoog leggen, zowel inhoudelijk als rapportage technisch en heeft mij ontzettend veel geleerd over bellenschermen. Het Bubble Barrier Team had weinig technisch inhoudelijke kennis maar een enorme motivatie en enthousiasme. Dit bracht daarmee een frisse en open wind in het project, dit gaf mij ruimte om zelf ook veel vragen te stellen. De vriendelijke sfeer en lol die we hebben gehad zorgde voor een hecht team, een project naar mijn hart.

Tijdens mijn stage ben ik meegegaan op een peilschip van Rijkswaterstaat, testen uitgevoerd in de Scheldegoet van Deltares, vele overleggen en andere onderzoeken gezien en gepraat met professionals. Naast de hierboven genoemde wil ik ook Myra van der Meulen, Lotte Spaargaren, Arjan Sieben en Tom O'Mahoney bedanken voor hun tijd en kennis die we hebben gedeeld.

Het was een super stage!

Bibliografie

Biologen treffen dertig plastic zakken in maag dolfijn aan. (2017, Februari 2). *De Stentor*. Center, U. M. (2008). *Seawater density & salinity*.

Coxworth, B. (2011). Air bubble used to contain oil spills.

Deltares. (2010). Voorstudie: Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperving Volkeraksluizen. Deltares.

Deltares. (2013). Summary report Plastic litter in Rhine, Meuse and Scheldt, contribution to plastic litter in the North Sea. Deltares.

Deltares. (2014, Juni 13). Zorgen om toename gebruik nanoplastics. Deltares. Opgehaald van www.deltares.nl/nl/nieuws/zorgen-om-toename-gebruik-nanoplastics

Deltares. (2016). Achtergrond bij specificaties bellenscherm. Deltares.

Deltares. (2016). Scale experiments on flow induced by a bubble screen. Deltares.

Didde, R. (2008, Juli 26). Oceaan vol plastic troep. Volkskrant. Opgehaald van www.volkskrant.nl/wetenschap/oceaan-vol-plastic-troep~a920918/

Faure, F. (2015, Maart 1). Plastic pollution in Swiss surface waters: nature and concentrations, interaction with pollutants. CSIRO. Opgehaald van www.marinedebris.info/sites/default/files/archives/Online_Early_%E2%80%9494_Plastic_pollution_in_Swiss_surface_waters_nature_and_concentrations_interaction_with_pollutants.pdf

Franeker, J. A. (2011, Oktober). Plastic soep komt op ons bord. Milieu, pp. 8-11.

Gezondheidseffecten Plastic Soup Foundation. (sd). Opgehaald van Plastic Soup Foundation: <http://www.plasticsoupfoundation.org/feiten/gezondheidseffecten/>

Gyres, 5. (sd). The Five Gyres. 2013. Opgehaald van www.katkocialkowskadesign.files.wordpress.com/2012/03/5gyres_full.jpg

Hendriks, M. R. (2010). Introduction to Physical Hydrology.

Hydraulics, D. (2005). Artificial Muxing Regimes in Lake Nieuwe Meer. Info over IJssel. (sd). Opgehaald van Wikipedia.

Julia, R. e. (2013). Marine Plastic Pollution in Waters around Australia: Characteristics, Concentrations, and Pathways. PLOS. Opgehaald van www.journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0080466

Kutz, M. (2011). Applied plastics engineering handbook. Processing and materials. Elsevier/William Andrew.

Langelaan, I., Nuyttens, I., & Jansen, M. (2015, Januari 27). Microplastics in de Nederlandse zoete wateren. H2O-Online.

Lemans, J. (2007). Afvoerverdeling Rijntakken. Delft: TU/Delft.

Leslie, e. a. (2017, Januari 25). Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. Elsevier.
Lo, J.-M. (1997). The effects of air-bubble barriers in containing oil-slick movement.

Nieuwsuur. (2017, 03 31). 'Stop met bio-plastic, het is flauwekul'. Opgehaald van www.nos.nl/nieuwsuur/artikel/2165913-stop-met-bio-plastic-het-is-flauwekul.html

NOAA. (2005). Sound and bubble barrier deters Asian Carp. ACES.

NOAA. (2014). How long till it's gone? National Oceanic and Atmospheric Administration, <https://futurism.com/plastic-decomposition/>.

Patrick, e. a. (1985). Responses of fish to a strobe light/air-bubble barrier. Elsevier, 157-172.
Opgeroepen op januari 31, 2017, van <http://ecosystems.psu.edu/research/labs/stauffer/publications/1980s/1985-responses-of-fish-to-a-strobe-light-air-bubble-barrier>

Petra, V. e. (1996). Artificial mixing prevents nuisance blooms of the cyanobacterium *Microcystis* in Lake Nieuwe Meer, the Netherlands.

Petra, V. e. (2001). Artificial mixing to reduce growth of the blue-green alga *Microcystis* in Lake Nieuwe Meer, Amsterdam: an evaluation of 7 years of experience.

Rijkswaterstaat. (2014). Sneller Schutten in de Krammersluizen.

S.C. Gall, R. T. (2015). The impact of debris on marine life. *Marine Pollution Bulletin* vol. 92, 170-179.

Sussarellu, R. (2015). Oyster reproduction is affected by exposure to polystyrene microplastics. *PNAS*.

Turnpenny, A. (2016, Oktober 7). THA Aquatic. Considerations for Use of Non-Physical Barriers Downstream Fish Guidance.

Tweehuysen, g. (2015). Results of riverine macroplastics sampling with the Waste Free Waters sampler. Rijkswaterstaat.

van der Wal, M. (2015). SFRA0025: Identification and Assessment of Riverine Input of (Marine) Litter.

Westerbos, M. (2011). Factsheet. Opgehaald van Plastic Soup Foundation.

WRIJ. (sd). Meetpunt IJssel Zutphen. Opgehaald van www.waterdata.wrij.nl/wqm.php?wat=metingen&mpn=288109&pakket=71603&stof=63031

Bijlage 1. Planning testprocedure

		Week 1 8					Week 2					Week 3				
Fase	Test	Ma	Di	Woe	Do	Vrij	Ma	Di	Woe	Do	Vrij	Ma	Di	Woe	Do	Vrij
0																
1	1.1															
	1.2															
	1.3															
	1.4															
	1.5															
	1.6															
2																

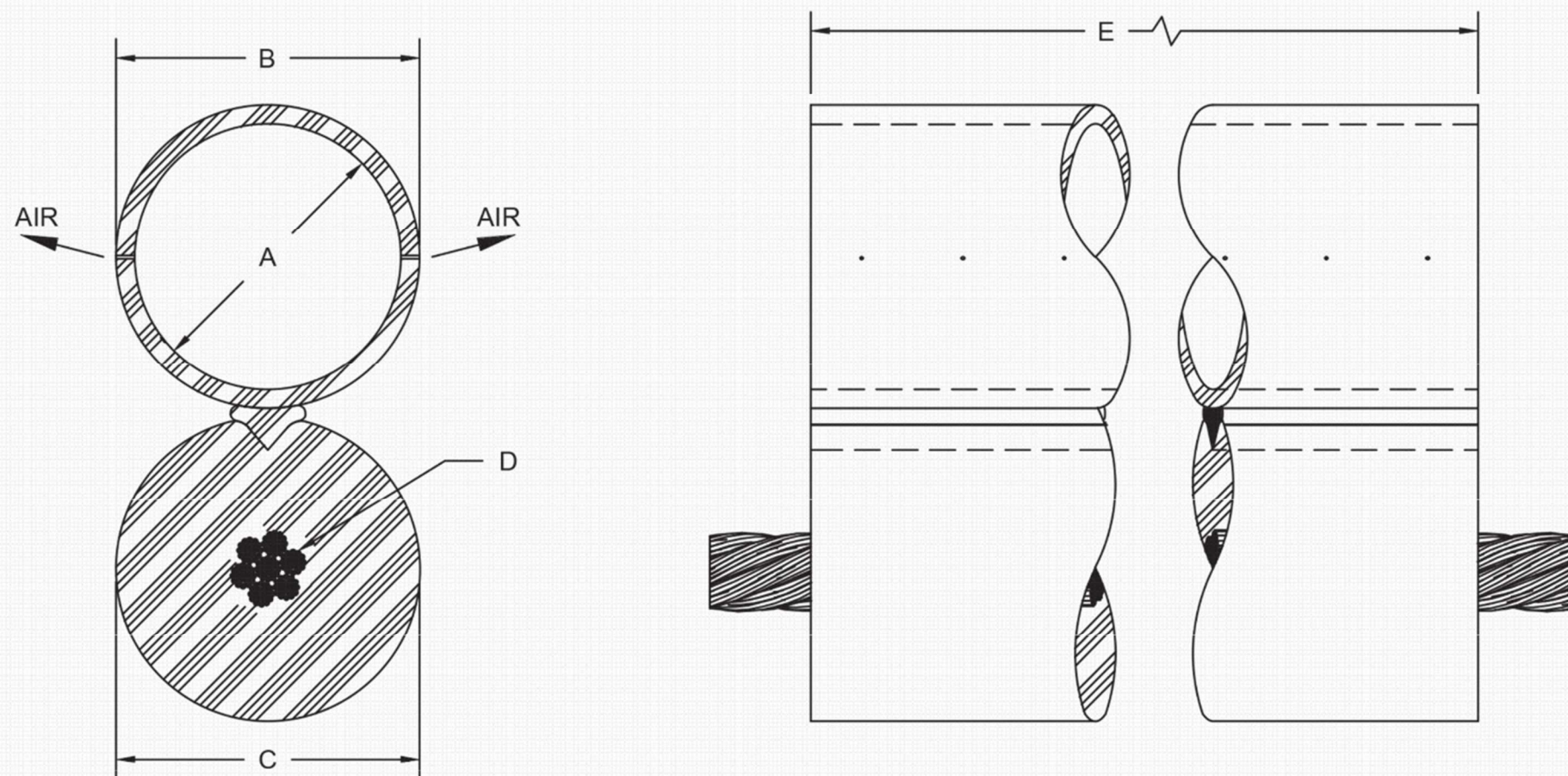
Bijlage 2. Testsheet fase 1.1a

The Great Bubble Barrier - Deltares - Rijkswaterstaat Testtabel - Scheldegoot		
Datum:	Tijd: Begin Eind 	Gemeten door:
Opstelling: Hoek bellenscherf:	Waterstand Stroomsnelheid:	File: meetPC video bovenkant video zijkant
Optimaal luchtdebiet:		
Opmerkingen:		

Bijlage 3. Testsheet fase 1.1b

The Great Bubble Barrier - Deltares - Rijkswaterstaat Testtabel - Scheldegoot		
Datum:	Tijd: Begin Eind 	Gemeten door:
Opstelling: Hoek bellenscherf:	Waterstand Stroomsnelheid: Luchtdebiet: 	File: meetPC video bovenkant video zijkant
Categorie	Afgevangen Ronde 1	Afgevangen Ronde 2
Opmerkingen:		

Bijlage 4. Technische specificaties bellenscherm



DIMENSIONS						
CODE	BUBBLE-TUBING™	TUBING I.D. A	TUBING O.D. B	BALLAST O.D. C	WIRE CABLE* D	AVAILABLES LENGTHS E
BUB12NW	1/2 (15MM) NON-WEIGHTED	0.575" (14.6 MM)	0.700" (17.8 MM)			100' (30.5M), 300' (91.4M)
BUB12	1/2 (15MM) WEIGHTED	0.575" (14.6 MM)	0.700" (17.8 MM)	0.970" (24.6 MM)		100' (30.5M), 200' (60M), 400' (122M)
BUB34NW	3/4 (20MM) NON-WEIGHTED	0.825" (21 MM)	1.013" (25.7 MM)			100' (30.5M), 300' (91.4M)
BUB34	3/4 (20MM) WEIGHTED	0.825" (21 MM)	1.013" (25.7 MM)	1.170" (29.7 MM)	1/4" (6.4 MM)	200' (61M), 400' (122M)
BUB1.0	1" (25MM) WEIGHTED	1.075" (27.3 MM)	1.2" (30.5 MM)	1.550" (39.4 MM)	1/4" (6.4 MM)	400' (122M), 600' (182.8 M)
BUB1.25	1-1/4 (30MM)	1.325" (33.7 MM)	1.513" (38.4 MM)	1.170" (29.7 MM)	3/8" (9.5 MM)	825' (250M)

*7-19 STRAND CORE (SS-316)

PARAMETERS						
CODE	BUBBLE-TUBING™	PRESSURE		AIR FLOW	AIR FLOW	WEIGHT
		MIN.	MAX.**	AÉRATION / AERATION	DE-ICING - BUBBLE WALL	
BUB12NW	1/2 (15MM) NON-WEIGHTED	20 PSI (1.4 BAR)	50 PSI (3.4 BAR)	0.05 - 0.1 CFM / ft (4.64 - 9.28 LPM/m)	max: 0.17 CFM / ft (15.8 LPM/m)	0.1 lb/ft (0.15 kg/m)
BUB12	1/2 (15MM) WEIGHTED	20 PSI (1.4 BAR)	50 PSI (3.4 BAR)	0.05 - 0.1 CFM / ft (4.64 - 9.28 LPM/m)	max: 0.17 CFM / ft (15.8 LPM/m)	0.6 lb/ft (0.9 kg/m)
BUB34NW	3/4 (20MM) NON-WEIGHTED	20 PSI (1.4 BAR)	50 PSI (3.4 BAR)	0.065 - 0.12 CFM / ft (6.0 - 11.2 LPM/m)	max: 0.25 CFM / ft (23.2 LPM/m)	0.2 lb/ft (0.30 kg/m)
BUB34	3/4 (20MM) WEIGHTED	20 PSI (1.4 BAR)	50 PSI (3.4 BAR)	0.065 - 0.12 CFM / ft (6.0 - 11.2 LPM/m)	max: 0.25 CFM / ft (23.2 LPM/m)	1.0 lb/ft (1.5 kg/m)
BUB1.0	1" (25MM) WEIGHTED	20 PSI (1.4 BAR)	70 PSI (4.8 BAR)	0.1 - 0.2 CFM / ft (9.28 - 18.56 LPM/m)	max: 0.25 CFM / ft (23.2 LPM/m)	1.25 lb/ft (1.8 kg/m)
BUB1.25	1-1/4 (30MM)	20 PSI (1.4 BAR)	70 PSI (4.8 BAR)	N/A	UPON REQUEST	1.5 lb/ft (2.2 kg/m)

**MAXIMUM BACK PRESSURE READING NOT TO EXCEED DURING OPERATION

TOUTE INFORMATION CONTENUE DANS CE DOCUMENT EST LA PROPRIÉTÉ EXCLUSIVE DE PRODUITS ETANG.CA LTÉE. TOUTE REPRODUCTION PARTIELLE OU ENTIÈRE EST STRICTEMENT INTERDITE SANS AU PRÉALABLE AVOIR REÇU L'AUTORISATION ÉCRITE DE PRODUITS ETANG.CA LTÉE

ALL INFORMATION CONTAINED IN THIS DOCUMENT IS PROPRIETARY TO CANADIAN POND.CA PRODUCTS LTD. DUPLICATION OR TRANSMITTAL OF THIS DOCUMENT IS STRICTLY PROHIBITED WITHOUT THE WRITTEN CONSENT OF CANADIANPOND.CA PRODUCTS LTD.



	DESSINÉ PAR / DRAWN BY:	NOM / NAME:	DATE:
	APPROUVÉ PAR / APPROVED BY:	D. MARTIN	11-11-2015
513 KNOWLTON ROAD, KNOWLTON, QUÉBEC, JOE 1V0, TEL.: 450-243-0976, FAX: 450-243-1834			

TITRE / TITLE:



Bijlage 5. Infographic bellenscherm testfase

