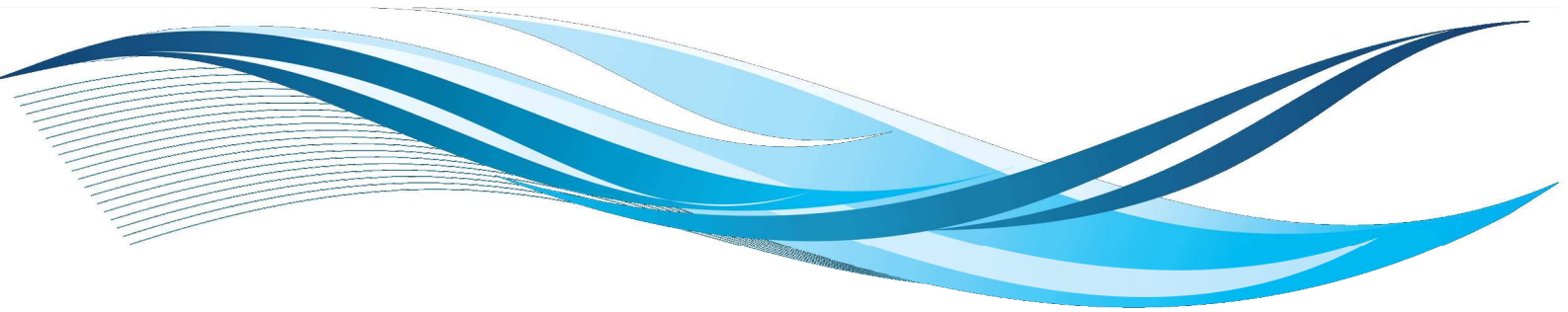


An aerial photograph of a wide river flowing through a lush green landscape. A large white boat is visible in the middle of the river. To the left, a tall metal power tower stands on a grassy bank. The river is bordered by stone walls and small islands. The sky is clear and blue.

Literatuuronderzoek

The Great Bubble Barrier

Auteur: Bram Wijnants
In samenwerking met: Rijkswaterstaat
Deltares
Datum: 05/05/2017



Stagebegeleidster Rijkswaterstaat: Marja Hamilton
Stagebegeleidster Deltares: Femke Verhaart
Stagebegeleider Van Hall Larenstein: Ad Bot

Onderwijsinstelling: Van Hall Larenstein
Leerjaar: 3e
Periode: 3e

Foto voorpagina: Rijkswaterstaat beeldbank #366111

Vanuit mijn opleiding Land- en Watermanagement is de mogelijkheid geboden om stage te lopen bij Rijkswaterstaat. Er is gevraagd om samen met Deltares onderzoek te doen naar de mogelijkheden om plastic afval af te vangen met behulp van bellenschermen. Dit idee was het winnende idee uit de River Free Mekathon prijsvraag gewonnen door Team The Great Bubble Barrier. Dit rapport zal de bestaande literatuur omtrent plastic afval, het meten ervan en het werkingsprincipe van bellenschermen beschrijven. Dit met het vooruitzicht om bellenschermen te testen in een stroomgoot (Scheldegoot bij Deltares) en de pilot in de IJssel. De kennis uit het literatuuronderzoek zal ook inzicht geven over de testprocedure voor de Scheldegoot en het monitoringsplan voor de IJssel. De deelvraag die beantwoord dient te worden 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?

Dit literatuuronderzoek bestaat uit twee delen; het eerste deel zal de problematiek en monitoringsmethode omtrent plastic afval beschrijven. Ten eerste zullen de gevaren van plastic afval in het milieu worden samengevat om de noodzaak tot maatregelen te benadrukken. Vervolgens wordt een analyse gegeven over de bestaande kennis over plastic afval in de IJssel. Het eerste deel sluit af met een overzicht van al bestaande monitoringstechnieken

Het tweede deel zal dieper ingaan op bellenschermen, de verschillende toepassingen en bijbehorende werkingsprincipes worden eerst beschreven waarna er naar de technische specificaties zoals het luchtdebiet wordt gekeken. Tot slot zullen externe factoren als vissen en scheepvaart worden behandeld.

In dit literatuuronderzoek zal de zoveel mogelijk informatie over bellenschermen met betrekking tot het afvangen van plastic worden geïnventariseerd. Essentiele missende kennis zal aangevuld moeten worden vanuit de tests in de stroomgoot.

Inhoudsopgave

1. PLASTIC AFVAL	1
1.1 Impact van plastic afval	2
1.2 Hoeveelheid en diversiteit plastic afval	3
1.3 Monitoringstechnieken	7
2. BELLENSCHERM.....	8
2.1 Typen bellenschermen	8
2.2 Technische specificaties	12
2.3 Externe factoren.....	14
3. CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	15
4. BIBLIOGRAFIE.....	16

1. Plastic Afval

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

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

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

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).

De politieke en wetenschappelijke aandacht heeft zich tot dusver voornamelijk gefocust op microplastics (deeltjes < 5 mm) vanwege de schadelijke en grotendeels onekbkende impact op de ecologie. Dit literatuuronderzoek zal zich voornamelijk richten 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.

1.1 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 zeehonden 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 terechtkomen. 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 zeedieren slachtoffer zijn geworden van verstrikking in of inname van zwerfafval in zee. 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 dolfin 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).

1.2 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.

1.2.1 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 de Zwitserse meren (meer van Genève, Bodenmeer, meer van Neuchâtel, Lago Maggiore, meer van Zürich en het meer van Brienz). 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	$4,5 \cdot 10^{-3}$	0,43
Aubonne	4	0,1	0,02	0	0
Venoge, droog	3	6,5	1,6	0,034	1,3
Venoge, regenachtig	2	64	12	0,067	2,1
Vauchère	2	4,4	0,67	0	0
Rhône, Genève	4	0,13	$8,4 \cdot 10^{-3}$	0	0
Rhône, Chancy	5	0,29	0,35	$4,7 \cdot 10^{-3}$	0,017

Hoewel het aantal microplastic deeltjes vele malen hoger is dan de macroplastics blijven de macroplastics het grootste deel uitmaken in het gewicht per vierkante meter. Opvallend is de lage hoeveelheid macroplastics in het Zürichmeer en in zekere zin ook de andere meren, met uitzondering van het meer van Brienz en het meer van Genève. Toerisme bij de meren zou een belangrijke factor op het macroplastic kunnen zijn (Faure, 2015).

Hoewel het onderzoek in 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;

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

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

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

Daarmee zal het plastic afval op de oppervlakte van de IJssel gemiddeld ongeveer $0,00819 \cdot 100 = 0,819 \text{ g/s}$ zijn. Experts hebben de foutmarge rond deze berekening op 15% geschat

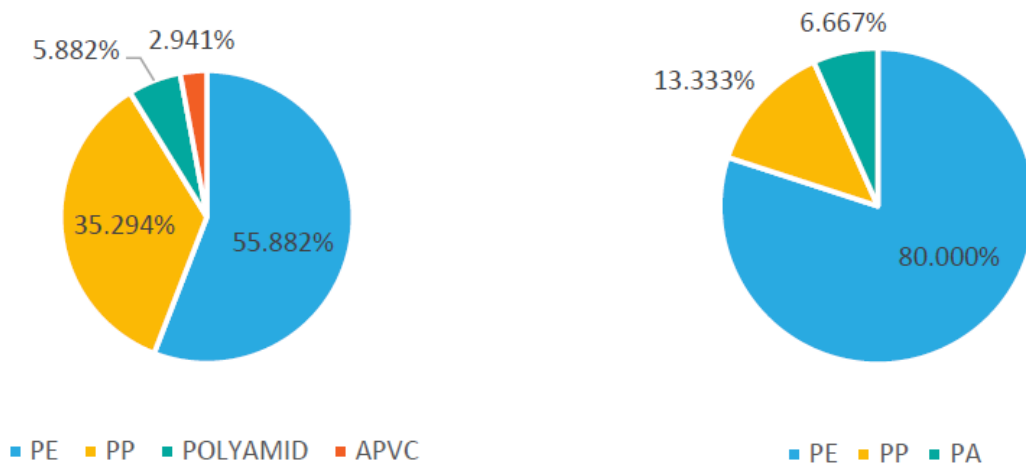
In suspensie is de gemiddelde gemeten concentratie in Rotterdam $(0.0002+0.0008)/2=0.0005 \text{ g/m}^3$. De correctiefactor van ongeveer 5% minder plastic ten hoogte van de IJssel bij Zutphen ten opzichte van Rotterdam wordt hier ook op toegepast waardoor de concentratie in de IJssel als suspensie wordt geschat op $0,000475 \text{ g/m}^3$. Met een gemiddeld debiet van $265 \text{ m}^3/\text{s}$ zal dit een totale last van $265 \cdot 0,00035 = 0,1259 \text{ g/s}$ zijn. Vergeleken 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 $0,9449 \text{ g/s}$, hoewel dit niet veel lijkt betekent dit een totale macro plasticafvalstroom van 25 - 35 ton plastic per jaar. Deze ordegrrootte 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 $500 \text{ m}^3/\text{jaar}$ aan macroplastics via de Rijn in de Noordzee komt. Met een verdeling van de Rijn naar de IJssel van 12% (Lemans, 2007) betekent dat een afvalstroom 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, ook pieklozingen van industrieën, stedelijk gebied en landbouw zullen dit gedrag versterken. De hoge standaardafwijkingen in tabel 3 geven dit gedrag ook weer.

1.2.2 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



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

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, verpakkingensmateriaal, wattenstaafjes, touwen en vislijnen (van der Wal, 2015).

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.

Tabel 4: Dichtheid plasticsoorten

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

1.3 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.

1.3.1 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. Deze bewegingsmelders zijn geoptimaliseerd voor visdetectie, de mogelijkheden voor plasticdeeltjes zijn nog niet bekend. 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 plastic te observeren.

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

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

1.3.2 Handmatige observatie

Indien onderwatercamera's geen optie zijn door bijvoorbeeld de slechte zichtbaarheid van de plastic deeltjes kan handmatig monitoren de uitkomst bieden. Dit door zelf plastic voor het bellenscherm in de IJssel te leggen, kijken of het bellenscherm het opvangt en er vervolgens met een schepnet uithalen of door observatie van het plastic dat over het bellenscherm drijft. Dit laatste kan alleen efficiënt gebeuren 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. 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.

1.3.3 Handmatig testen

Indien er te weinig afval op het oppervlak drijft om een goede conclusie te doen over de effectiviteit van het bellenscherm blijft het mogelijk om handmatig plastic afval voor het bellenscherm erin te leggen. Dit afval wordt of afgevangen door het bellenscherm of stroomt erover heen waarna het met een net uit de rivier kan worden gehaald. Hierbij moet er wel worden gezorgd dat het afval dat erin wordt gelegd representatief is voor het plasticafval dat door de IJssel stroomt.

2. Bellenscherm

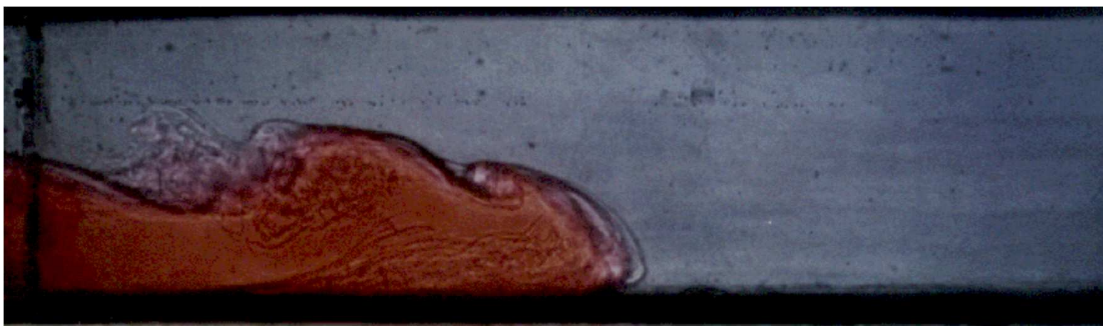
Bellenschermen worden al op verschillende plekken ingezet maar nog nooit om plastic afval uit stromend water te halen. In dit hoofdstuk zal de literatuur omtrent bellenschermen worden bestudeerd. Het werkingsprincipe van verschillende systemen. Eerst zullen de bekendste bellenscherm toepassingen worden opgesomd waarna technische specificaties worden onderzocht zoals het luchtdebiet en bellengrootte. Tot slot zullen invloeden van externe factoren worden benoemd en hun invloed beschreven. Hierbij wordt er voornamelijk naar scheepvaart, vissen en wind onderzoek gedaan.

2.1 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.

2.1.1 Zoet zoutwater overgangen

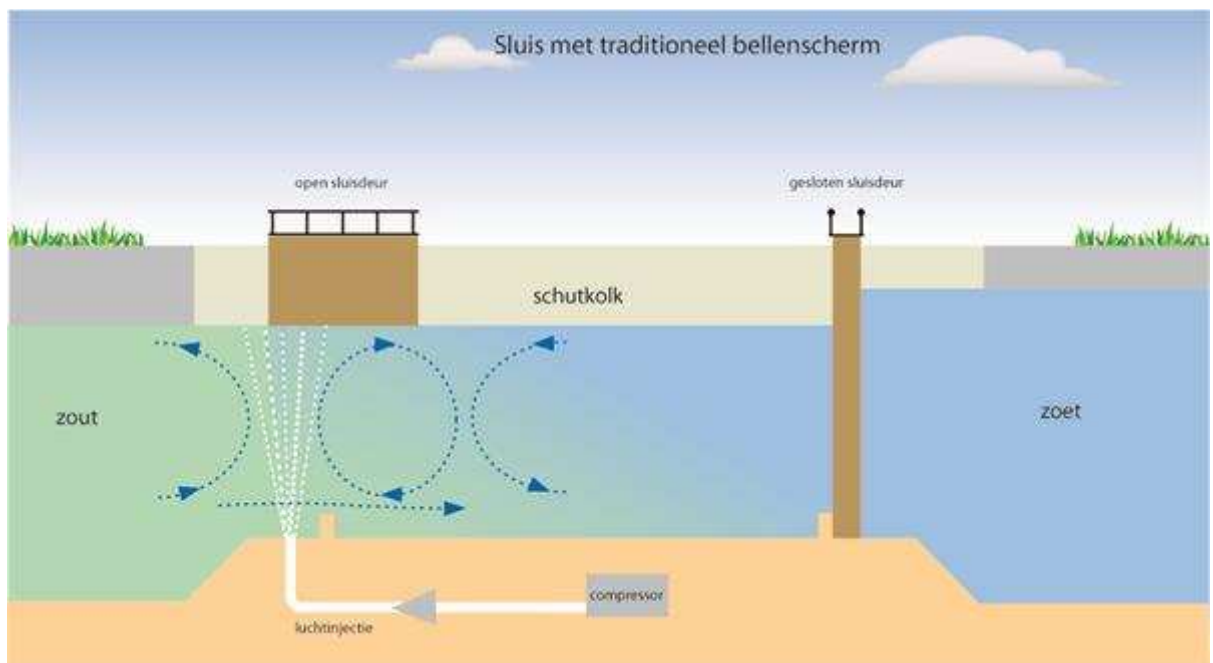
Nederland heeft met zijn ligging zowel zoetwater (rivieren) als zoutwater (zee). Het schaarsere zoete water wordt onder andere gebruikt voor landbouw en drinkwaterinname. Het zoute water is duurder om te zuiveren en kan voor de landbouw niet gebruikt worden. Om toch in deltagebieden zoals zeeland landbouw 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 Zoutlekbeperring Volkeraksluizen, 2010).



Figuur 2: Dichtheidsgedreven uitwisselingsstroming met het zwaardere zoute water in rood (Deltares, Voorstudie: Ontwerpstudie en Praktijkproef Zoutlekbeperring 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/m.

2.1.2 Zoet zoutwater overgangen

Bellenschermen worden al langer gebruikt om te voorkomen dat olie vervuiling de rivier/zee in stroomt. Zodra er een olie lekkage optreedt wordt het bellenscherm aangezet. Deze zorgt voor een barrière waardoor de olie zich niet verder 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 (Deltares, Scale experiments on flow induced by a bubble screen, 2016):

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

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

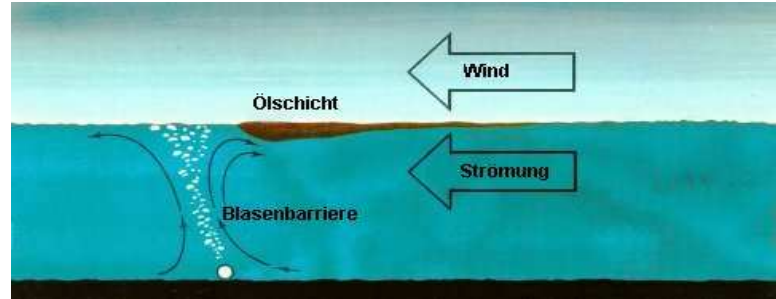
D : Waterdiepte (m)

H_0 : Atmosferische druk (m)

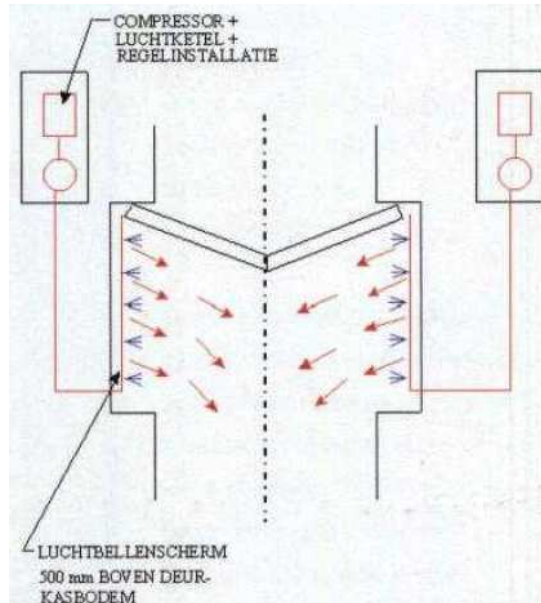
q_{lucht} : Luchtdebiet (m^3/s)

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 stroomsnelheid 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).



Figuur 4: Principe bellenscherm als oliebeheersmaatregel



Figuur 5: Locaties bellenschermen (Ijsbestrijding bij kunstwerken)

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

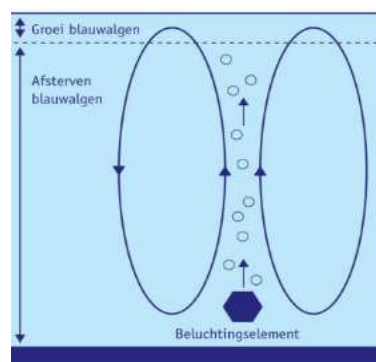
Er is ongeveer een luchtdebiet nodig van 5 NL/s/m om een puntdeurkas ijsvrij te houden. Daarnaast is in proeven aangetoond dat 1 m³ vrije lucht ongeveer 17 m³ water mee omhoog neemt, bij een diepte van 10 m. Als de waterhoogte minder dan 10 meter is dan zal de getransporteerde hoeveelheid water evenredig 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)

2.1.4 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).

2.1.5 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)

2.2 Technische specificaties

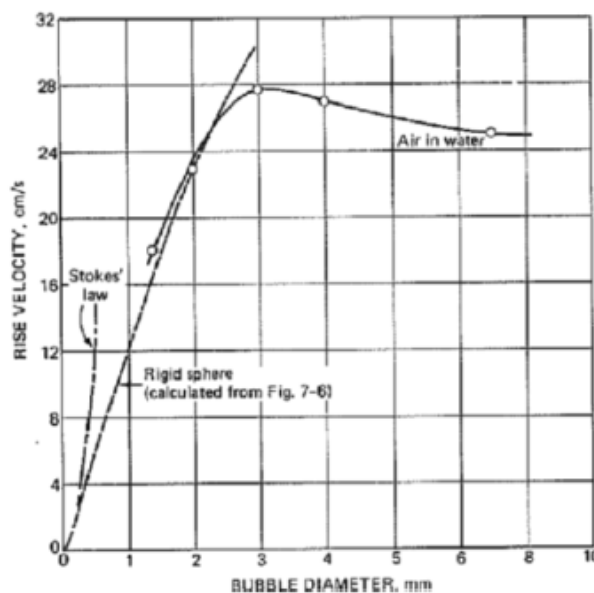
Dit hoofdstuk zal de technische specificaties van de bellenschermen in de stroomgoot en in de IJssel zoveel mogelijk proberen te omschrijven vanuit de literatuur. Hoe meer bekend is, hoe minder onderzoek ernaar hoeft te worden verricht. Indien er essentiële parameters onbekend zijn zullen deze worden 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.

2.2.1 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 (paragraaf 2.1.2) 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.

2.2.2 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.

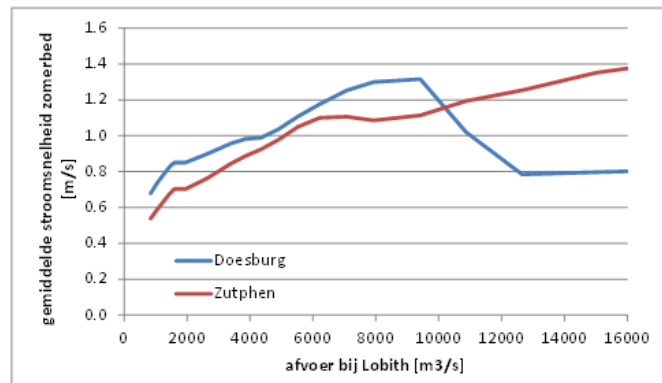


Figuur 7: Stijgsnelheid als functie van beldiameter (Deltares, Achtergrond bij specificaties bellenscherm, 2016)

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.

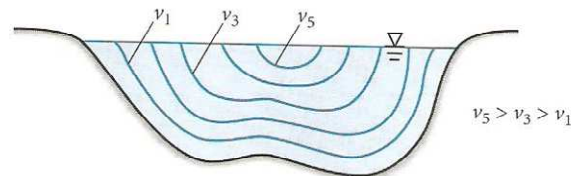
2.2.3 Stroomsnelheid

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 bellenscherm 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).

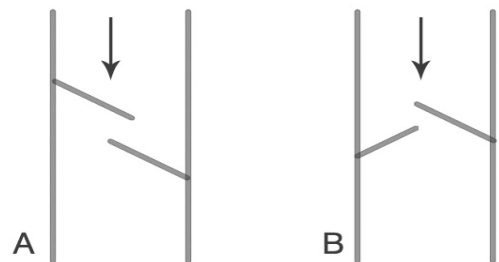


Figuur 9: Stroomsnelheidsprofiel in een rivier (Hendriks, 2010)

2.2.4 Opstelling

Binnen de bestaande literatuur is er nog geen onderzoek gedaan naar bellenschermen 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.

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 bellenscherm moet stromen. Opstelling B heeft een kortere afstand naar het bellenscherm en zal daarmee efficiënter zijn, dit ten koste van de logistiek en kosten. Als het bellenscherm in een bocht van de rivier komt te staan dan zal door de naar buitengaande stroming de voorkeur uitgaan naar opstelling A.



Figuur 10: Twee opties voor opstellingen

2.2.5 Hoek

Het bellenscherm 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 bellenscherm zou moeten werken. De hoek van het bellenscherm heeft echter een beperking door de grote invloed op de lengte van het bellenscherm. Een rivier als de IJssel is ongeveer 100 meter breed, een hoek van 45 graden betekent een afstand van ruim 140 meter.

2.3 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.

2.3.1 *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 1.2 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.

2.3.2 *Vissen*

Zoals in paragraaf 2.1.4 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.

2.3.3 *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.

3. 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.

4. 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. *Volkscrant*. Opgehaald van www.volkscrant.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%94Plastic_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