



Verkenning akoestisch monitoren plastic afval in de waterkolom

Projectrapport voor Rijkswaterstaat WVL – 2021

SAMENVATTING	3
1 INLEIDING	5
1.1. Aanleiding en doel	5
1.2. Leeswijzer	6
2 LITERATUURONDERZOEK	7
2.1. Het principe van onderwater detectie met geluid	7
2.2. Detectie in de waterkolom	8
2.3. Huidig onderzoek onderwater plastic detectie met geluid	10
3 INVENTARISATIE PARTIJEN	12
3.1. Inventarisatie type partijen die werken met akoestische sensoren	12
3.2. Doel interviews en introductie benaderde partijen	12
3.3. Belangrijkste uitkomsten uit interviews	13
4 EXPERIMENTELE TESTEN	14
4.1. Doel testen en gebruikte sensor	14
4.2. Locatie en methode testen	15
4.3. Resultaten	17
5 SELECTIEMODEL	19
5.1. Criteria voor de selectie van een akoestische monitoring techniek	19
5.2. Werking en doel van het selectiemodel	21
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	23
COLOFON	26
BIJLAGE	27

Samenvatting

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat WVL (Water, Verkeer en Leefomgeving). Het is gericht op het verkennen van akoestische sensoren voor het monitoren van (macro)plastic in de waterkolom. De uitkomsten dragen bij aan de eventuele ontwikkeling van technieken voor het meten en monitoren van onderwaterplastics.

Het doel van dit project is het verkrijgen van inzicht in de potentie van akoestische sensoren om de plastic concentratie in de waterkolom van rivieren automatisch te monitoren. Hierbij is het de ambitie om een zo volledig mogelijk overzicht te generen van beschikbare technieken met bijbehorende voor- en nadelen.

Om dit doel te bereiken zijn onderstaande activiteiten uitgevoerd:

1. Literatuuronderzoek
2. Inventarisatie van aanwezige partijen met akoestische sensoren
3. Korte principetest met 1 apparaat

In het literatuuronderzoek is ingegaan op het principe van onderwater detectie met geluid, dat berust op het sonar (Sound Navigation Ranging) principe. Er wordt uitleg gegeven over de werking van sonar en de verschillende type sonar sensoren. Daarnaast is dieper ingegaan op het detecteren van objecten in de waterkolom met behulp van sonar. Hierbij zijn een aantal factoren van belang, zoals: object grootte, vorm en dichtheid. Naast objecteigenschappen zijn hebben omgevingsfactoren ook invloed op de mate van detectie. Onder andere turbulentie, sedimentconcentratie en watertemperatuur zijn van belang. Tot slot is in het literatuuronderzoek een beeld gegeven van huidig onderzoek dat plaats heeft gevonden of momenteel wordt uitgevoerd op het gebied van plastic detectie met sonar. De uitkomsten van het literatuuronderzoek staan vermeld in hoofdstuk 2.

Om de potentie van het gebruik van akoestische sensoren in te schatten is geïnventariseerd welke type partijen met deze sensoren werkt. Er zijn bij een aantal partijen interviews afgenomen over het gebruik van akoestische sensoren voor verschillende doeleinden. De belangrijkste uitkomsten hiervan staan in hoofdstuk 3.

Naast een theoretische benadering is het gebruik van sonar voor plastic detectie ook getest in de praktijk. Er is een experimentele test uitgevoerd met de Humminbird Helix sensor. De testen zijn uitgevoerd in een gecontroleerde omgeving, die qua omstandigheden tussen het laboratorium en het veld (rivier) in zit. Voor de testen is gebruik gemaakt van plastic voorwerpen variërend in grootte, vorm en materiaaleigenschappen. Ook is onderzocht of er onderscheid gemaakt kan worden tussen de detectie van plastic items en organisch materiaal. Uit de testen blijkt dat detectie van plastic in de waterkolom mogelijk is met de Humminbird Helix sonar. Het verschil tussen plastic en organisch materiaal kwam op basis van deze testen niet duidelijk naar voren. De grootte van objecten lijkt te relateren te aan de sonar beelden. De resultaten van de testen staan beschreven in hoofdstuk 4.

Om een selectie te maken van de verschillende akoestische technieken voor het monitoren van plastic in de waterkolom is een selectiemodel opgesteld. De basis van het model ligt in de verschillende criteria waarmee de akoestische technieken met elkaar vergeleken kunnen worden. Denk hierbij aan kosten, te scannen diepte, opslag van data etc. De opgenomen criteria zijn beschreven in hoofdstuk 5. Het selectiemodel is als los bestand aangeleverd.

Op basis van dit onderzoek kan geconcludeerd worden dat onderwater plastics mogelijk gemonitord kunnen worden met sonar. Deze techniek wordt al veelvuldig toegepast voor andere doeleinden zoals

het monitoren van vismigratie, het bepalen van rivier afvoeren, sediment transport en het inmeten van rivierbodems. Dit en voorgaand onderzoek heeft aangetoond dat onderwater plastics gedetecteerd kunnen worden met sonar. De mate waarin dit kan is afhankelijk van zowel object eigenschappen als omgevingsfactoren. Hiervoor is nader onderzoek met vooral meer testen nodig. Het selecteren van een akoestische techniek voor onderwater plastic monitoring is afhankelijk van de weging van verschillende criteria. Omdat er nog weinig onderzoek heeft plaatsgevonden op dit gebied is de potentie per sensor niet direct vast te stellen. Het selectiemodel kan gebruikt worden als handvat en richting voor het uitvoeren van vervolgonderzoek. Het gebruik van technieken die al veelvuldig ingezet worden zoals ADCP's of multibeam sonar zou na het ontwikkelen van een plastic detectiemethode direct een groot meetnetwerk bieden.

De eerste stap voor vervolgonderzoek is het selecteren van één of twee akoestische apparaten om verder mee te testen. De keuze voor de apparatuur is afhankelijk van een aantal factoren en kan verschillen per locatie en organisatie. Geadviseerd wordt om een werksessie te organiseren met betrokkenen vanuit Rijkswaterstaat, CIV, Deltares en Noria voor het verder afbakenen en invullen van het selectiemodel. Daarna is het van belang om een grote dataset op te bouwen door uitgebreide testen. Hierbij zijn verschillende plastic items, organisch materiaal, dieptes en omgevingsfactoren nodig om een beeld te krijgen van de daadwerkelijke toepassing voor het meten van plastic transport.

Om naast het gecontroleerd testen de techniek te valideren voor monitoring in het veld kan de inzet van een akoestische sensor gecombineerd worden met netmetingen. Netmetingen voor het monitoren van plastics worden al toegepast op verschillende locaties. Het tegelijk inzetten van een akoestische sensor heeft het voordeel dat de metingen gevalideerd kunnen worden met de netmetingen. Om van handmatige interpretatie van de reflectiesignalen naar het automatisch detecteren van plastic te komen zal een algoritme moeten worden ontwikkeld. Het opzetten van een dergelijk algoritme vergt veel data van gedetecteerde plastic items in de waterkolom. Dit zal zoals hierboven beschreven eerst verzameld moeten worden.

1 Inleiding

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat WVL (Water, Verkeer en Leefomgeving). In dit hoofdstuk zijn de aanleiding en doelen van het onderzoek beschreven. Daarnaast is in de leeswijzer de inhoud van het rapport per hoofdstuk aangegeven.

1.1. Aanleiding en doel

Er is de afgelopen jaren steeds meer inzicht verkregen in de plastic problematiek in en langs onze wateren. RWS heeft daarvoor een routekaart opgesteld om tot een lange termijn monitoringsstrategie van plastics te komen. Dit project valt daaronder op het gebied van methodeontwikkeling voor het monitoren van plastics in de waterkolom.

Onderzoek over plastic in het milieu is nog voornamelijk gericht op plastics aanwezig op de wal en drijvend aan het wateroppervlak. Hierbij wordt plastic voornamelijk gemeten door middel van visuele telling door onderzoekers en vrijwilligers. Echter, plastics bevinden zich ook onder water. Plastics die de neiging hebben om te drijven, kunnen onder water verdwijnen door de turbulente stroming en zo een deel van de tijd zwevend in de waterkolom worden getransporteerd. Plastics die eenzelfde dichtheid hebben als water, kunnen langdurig zwevend worden getransporteerd. Plastics die de neiging hebben te zinken kunnen rollend over de bodem worden getransporteerd, of ook deels zwevend.

In de Waal zijn op drie hoogten en meerdere momenten plastic concentraties bepaald¹. In de hoofdgeul is de concentratie van meso- en grotere microplastic concentraties (≤ 25 mm) het hoogst bij de bodem, terwijl de macroplastic (> 25 mm) concentratie het hoogst is nabij het oppervlak. In het midden van de waterkolom is de concentratie meestal het laagst. Hieruit volgt dat het van belang is om het transport lager in de waterkolom ook mee te nemen. Op basis van alleen gegevens over de drijvende plastics zal het totale transport van plastic zwerfafval via rivieren naar zee worden onderschat. In dit diepere deel van de waterkolom, onzichtbaar voor het oog, is de plastic concentratie lastig te meten. Om deze plastics in kaart te brengen is een standaard meetmethode nodig als alternatief voor de netmetingen die veel tijd kosten voor uitwerking.

Eén van de huidige methoden om de plastic concentratie in de waterkolom te meten is het gebruik van netten. Gezien de variatie in breedte, diepte en afvoer van rivieren zijn netten vaak niet eenvoudig in te zetten. Aanvullend hebben weersomstandigheden en turbulentie invloed op het meetproces in de waterkolom. Er is meestal robuust materieel nodig om netten in de rivier te plaatsen. Daarnaast kunnen netmetingen niet overal plaatsvinden wegens scheepvaart. Ook heeft het meten met netten een nadelige ecologische impact door bijvangst. Door bovengenoemde factoren is met netmetingen het continue meten op grote schaal zeer lastig. Verder kost het sorteren, tellen en wegen van de netvangst veel tijd. Uit netmetingen is waarschijnlijk wel het meest nauwkeurig een plastic concentratie te bepalen.

Een alternatief voor het monitoren van plastics met netten is het gebruik van akoestische sensoren. Akoestische sensoren worden al toegepast voor metingen in de waterkolom. Hierbij gaat het onder andere om het meten van afvoeren, sedimenttransport, bodemprofielen en vismigratie. Het combineren van deze metingen met het monitoren van onderwater plastic zou zeer interessant zijn. Eerste testen laten zien dat akoestische sensoren plastic in de waterkolom kunnen detecteren (Tabel

¹ Collas et al. (2021) Plastic in de waterkolom van de Boven-Rijn, Waal en IJssel

1). In 2020 zijn hiervoor testen uitgevoerd met een fishfinder², een Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) en een ARIS-sonar.

Om meer inzicht te krijgen in de bruikbaarheid van akoestische sensoren als nieuwe monitoring methode is aanvullend onderzoek nodig. Akoestische methoden kunnen zeer geschikt zijn voor periodieke en continue metingen (nulmeting en lange termijn meting), waarmee de veranderingen als gevolg van toekomstige maatregelen in beeld gebracht kunnen worden. Akoestische sensoren kunnen ingezet worden voor continue metingen omdat de inzet minder afhankelijk is van de geometrie en afvoer van rivieren, het geen belemmering is voor de scheepvaart en het niet zorgt voor bijvangst.

Het doel van dit project is het verkrijgen van inzicht in de potentie van akoestische sensoren om de plastic concentratie in de waterkolom van rivieren automatisch te monitoren. Hierbij is het de ambitie om een zo volledig mogelijk overzicht te genereren van beschikbare technieken met bijbehorende voor- en nadelen.

Om bovenstaand doel te bereiken zijn de volgende activiteiten uitgevoerd:

1. Literatuuronderzoek
2. Inventarisatie van aanwezige partijen met akoestische sensoren
3. Korte principetest met 1 apparaat

Dit project is uitgevoerd in samenwerking met Deltares. Deltares heeft in deze verkenning een bijdrage geleverd aan het opzetten van het project, de multicriteria-analyse en het aanvullen van het rapport.

1.2. Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft het literatuuronderzoek dat is uitgevoerd. Hierin wordt inhoudelijk ingegaan op het principe van onderwater detectie met geluid. Daarnaast is een overzicht gegeven van onderzoek en initiatieven op het gebied van plastic detectie met geluid. In hoofdstuk 3 is een inventarisatie gegeven van type partijen die werken met akoestische sensoren. Hoofdstuk 4 bevat het doel, de methode en de resultaten van de experimentele test die is uitgevoerd. De multicriteria-analyse en het daaruit volgende selectiemodel over verschillende akoestische sensoren voor plastic detectie is beschreven in hoofdstuk 5. Hoofdstuk 6 presenteert de conclusies en aanbevelingen volgend uit dit project.

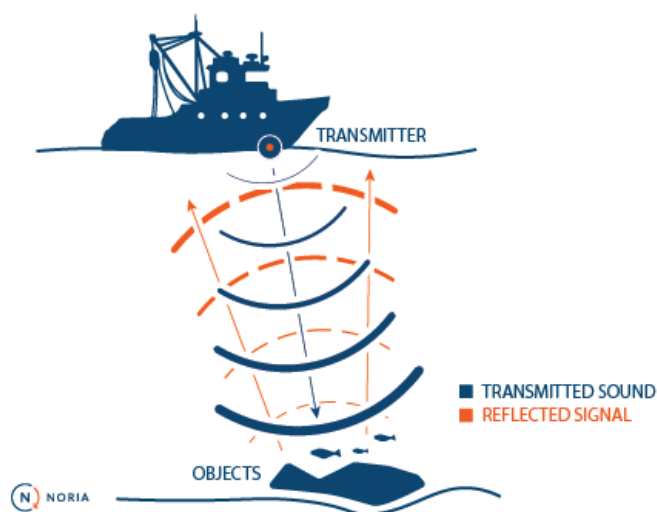
² Een fishfinder wordt gebruikt om vissen onder water te lokaliseren door gereflecteerde pulsen van geluidsenergie, zoals in sonar.

2 Literatuuronderzoek

Dit hoofdstuk bevat achtergrondinformatie over het principe van sonar en de verschillende type sensoren. Daarnaast is een overzicht gegeven van eerder beschreven onderzoek op het gebied van onderwater plastic detectie met geluid.

2.1. Het principe van onderwater detectie met geluid

Onderwater meten met geluid berust op het sonar principe. Sonar staat voor Sound Navigation Ranging en wordt al sinds de 20^{ste} eeuw gebruikt voor onder andere het lokaliseren van onderzeeërs. Het sonar principe werkt met het uitzenden van geluidsgolven in water. Deze geluidsgolven weerkaatsen op objecten zoals vissen, vegetatie en de zee/rivier bodem. Het tijdsverschil tussen het uitzenden van de geluidsgolf en de terugkomende weerkaatsing wordt gemeten. Deze tijd geeft een indicatie van de diepte van het object in de waterkolom, zie Figuur 1. Daarnaast wordt ook de sterkte van het gereflecteerde signaal gemeten. Deze sterkte is gerelateerd aan de hardheid van het object of de bodem.

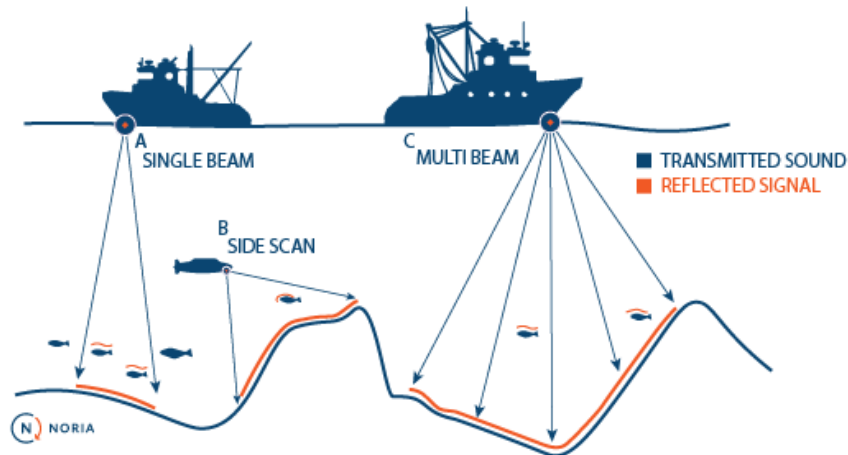


Figuur 1 Schematische weergave van het sonar principe voor object detectie

Er zijn verschillende type sonar sensoren. Over het algemeen wordt er onderscheid gemaakt tussen actieve en passieve sonar. Een actieve sonar bestaat uit een zender en ontvanger. Dit type systeem maakt gebruik van echo's voor het lokaliseren van objecten. Het tijdsverschil tussen de uitgezonden geluidsgolf en de inkomende echo van die geluidsgolf wordt gemeten en omgezet naar afstand. Passieve sonar heeft een ontvanger maar geen zender. Het signaal dat gedetecteerd wordt is het geluid dat is uitgezonden door het object. Omdat plastics van zichzelf geen geluid uitzenden, is deze verkenning gericht op actieve sonar. Actieve sonars worden bijvoorbeeld gebruikt in fishfinders, side-scan en multibeam sonars. Deze apparaten verschillen in werking en mogelijkheden. In hoofdstuk 5 wordt hier nader op ingegaan.

Op het gebied van actieve sonar zijn er drie verschillende soorten sensoren: single beam (A), side-scan (B) en multibeam (C). Figuur 2 geeft schematisch de verschillende sensoren weer. De single beam sonar scant de waterkolom met een enkele geluidsgolf, in een enkele straal (beam). De breedte van de straal is bepalend voor de oppervlakte die gescand wordt. Dit type sensor bestaat al geruime tijd en is kostentechnisch het meest voordelig van de drie typen sensoren. De side-scan sonar kan in korte tijd een relatief groot oppervlakte scannen. Het gebied aan weerszijden van de sensor wordt gescand, waarbij de single beam zorgt voor een scan direct onder de sensoren. Ook geeft side-scan sensor een

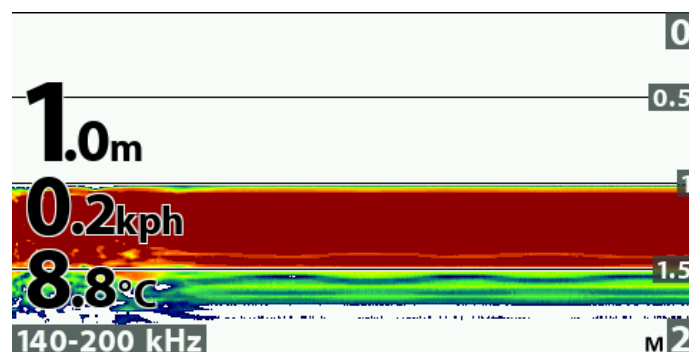
gedetailleerd beeld van objecten op de bodem. Tot slot, het type multibeam dat de waterkolom met meerdere geluidsgolven en dus stralen tegelijkertijd scant. Dit resulteert in een 3D beeld van de waterkolom en zee/rivier bodem. Multibeam sensoren zijn het kostbaarste in vergelijking met de single beam en side-scan sonar. De frequentie en daarmee de resolutie kunnen voor de verschillende type sensoren vaak handmatig worden aangepast. Een hoge frequentie zorgt voor een hoog detailniveau maar een minder groot oppervlakte dat gescand wordt. Bij lage frequenties is het precies het tegenovergestelde.



Figuur 2 Verschillende sonar sensoren, waarin A single beam, B side-scan en C multibeam sonar

2.2. Detectie in de waterkolom

Voor een aantal typen akoestische sensoren wordt de gebiedsscan direct omgezet in beelden. Over het algemeen geldt dat sonar beelden een lagere resolutie hebben dan optische beelden. Figuur 3 geeft een voorbeeld van een beeld gegenereerd door een single beam sensor, waarbij de bodem op 1 m onder de sensor ligt. Hierin geeft de verticale as de diepte onder de sensor aan, de tijd is weergegeven op de horizontale as. De kleuren geven een indicatie van de sterkte van het terugkerende signaal. Een donkere kleur staat voor een sterke reflectie, een lichte kleur voor een minder sterke reflectie. Merk op dat de plot van de signaalsterkte per afstand gemiddeld is over de breedte van de bundel.



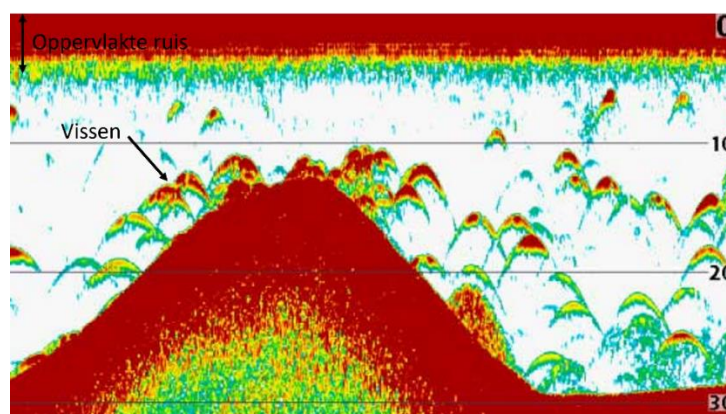
Figuur 3 Voorbeeld sonar beeld single beam sensor. De verticale as staat voor diepte, de horizontale as voor tijd. De sensor bevindt zich aan het wateroppervlak (diepte 0). De bodem is zichtbaar vanaf 1 m diepte. De geluidsgolven dringen nog een stuk door in de bodem, wat te zien is van 1 m diepte tot 1.5 m diepte.

Objecten verschillen in reflectie door een aantal eigenschappen. Een object met een ruw oppervlak kan gemakkelijker gedetecteerd worden met geluid dan een object met een glad oppervlak³. Dit komt omdat geluidsgolven op ruwe oppervlakken in meerdere richtingen gereflecteerd worden. Hierdoor is de kans groter dat het reflectie signaal opgevangen wordt door de sensor. De sterkte van het gereflecteerde signaal hangt onder andere af van de dichtheid van een object of de rivierbodem. Objecten met een hoge dichtheid geven over het algemeen een sterkere reflectie dan objecten met een lage dichtheid. Water zelf geeft in principe geen reflectie van de geluidsgolf. Turbulentie, zwevende stof of opgeloste stoffen in het water kunnen wel een lichte reflectie in de vorm van ruis geven. De reflectiesterkte is ook afhankelijk van dichtheidsverschillen. Het verschil in dichtheid tussen water en lucht is een factor 10. Dit resulteert in een hoge reflectie voor lucht(bellen) in water.

Naast object eigenschappen zijn er ook eigenschappen van het signaal die van invloed zijn op de detectie van objecten. Hierbij gaat het om de frequentie van het geluid, de verspreidingshoek en de sterkte van het uitgezonden signaal. Wanneer specifiek naar de detectie van objecten in een rivier wordt gekeken zijn omgevingsfactoren als sediment concentratie (achtergrondreflectie) en watertemperatuur van belang. Deze factoren kunnen zorgen voor lichte reflectie en daardoor ruis in de sonar beelden.

Een factor die de detectie van objecten verstoort is het natrillen van de transducer van het akoestische instrument. Na het uitzenden van een geluidsgolf trilt de transducer na. Kort daarna fungeert deze als ontvanger. In de tijd dat de transducer natrilt kan deze binnenkomend reflectiesignaal niet goed waarnemen. Dit wordt de blanking distance genoemd. Hierdoor zijn objecten vlak bij het wateroppervlak vaak niet waar te nemen. Hoe groot de laag is die minder goed gemeten kan worden is afhankelijk van het soort sensor. Dit kan variëren tussen de 5 en 100 centimeter, afhankelijk van het apparaat en de frequentie waarmee gemeten wordt. Een voorbeeld van een sonar beeld ontbrekende waarnemingen in de bovenste laag van de waterkolom is te zien in Figuur 4.

Akoestische sensoren worden voor verschillende doeleinden gebruikt. Denk daarbij aan het inmeten van rivierbodems, het in kaart brengen van sediment transport en vismigratie. Het detecteren van vissen met akoestische sensoren wordt in de visserij veel toegepast. Hiervoor wordt voornamelijk gebruik gemaakt van een single beam sonar. Vissen worden door een single beam sonar op beeld weergegeven als bogen, zie Figuur 4.



Figuur 4 Voorbeeld sonar beeld met ontbrekende waarnemingen in de bovenste laag van de waterkolom en vissen. De verticale as staat voor diepte, de horizontale as voor tijd. Bron: <https://fishfinderbrand.com/how-to-read-fish-finder-screen/>

³ Christ, R.D. & Wernli, R.L. (2014). Sonar. In the ROV Manual. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-098288-5.00015-4>

2.3. Huidig onderzoek onderwater plastic detectie met geluid

Als onderdeel van de literatuurstudie is gekeken naar huidige onderzoeken en experimenten die zijn uitgevoerd op het gebied van onderwater plastic detectie met geluid. Hieruit zijn een aantal initiatieven en onderzoeken naar voren gekomen. In Tabel 1 volgt een kort overzicht met daarin de gebruikte apparatuur, uitkomsten en referentie.

Tabel 1 Overzicht onderzoeken en experimenten betreft onderwater plastic detectie met geluid

Gebuurkte apparatuur	Belangrijkste uitkomsten	Referentie, datum
ADCP Several beams, ADCP principle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Items werden gedetecteerd door de ADCP. Dit ging het beste op 3.0 m afstand. ▪ Geen relatie tussen object grootte en afstand kunnen vinden door kleine dataset. ▪ Plastic items lijken geluid beter te reflecteren dan organisch materiaal gelijkwaardig in vorm. 	Frans Buschman & Sophie Broere, februari 2021 Abstract EGU gepubliceerd ⁴
ADCP Several beams, ADCP principle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Methode heeft potentie voor het monitoren van plastic, diepte is een limiterende factor. ▪ Plastic objecten van verschillende grootte en type kunnen gedetecteerd worden. Nog lastig om onderscheid hertussen te maken. ▪ Organisch materiaal geeft een zwakkere reflectie dan plastic. ▪ Meer semi gecontroleerde testen nodig en gedetailleerde data-analyse. 	Romi Lotcheris, Maartje Wadman, Tim van Emmerik, juli 2021 Draft rapport beschikbaar
ARIS-sonar Multibeam sonar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De ARIS-sonar kan plastic in rivieren detecteren. ▪ De detectie van plastic werkt beter in stilstaand water dan in stromend water. ▪ Zowel doorzichtige als ondoorzichtige plastics worden gedetecteerd. ▪ Het gebruik van twee ARIS-sonars wordt aanbevolen om plastic te detecteren, lokaliseren en identificeren. 	N.Y. Flores & F.P.L. Collas, juni 2021 Notitie beschikbaar ⁵
ARIS-sonar Multibeam sonar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Het is mogelijk om zwevende plastics in de waterkolom automatisch te detecteren met een hoge nauwkeurigheid. 	Matias Alejandro Valdenegro Toro, december 2016

⁴ Buschman, F. and Broere, S.: Detecting plastic items in the water column using an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-12272, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-12272>, 2021.

⁵ Flores, N.Y. and Collas, F.P.L.: Detection of plastic litter using an ARIS sonar. June 2021 <https://hdl.handle.net/2066/234916>

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Om een object detectie model verder te trainen is een grote dataset nodig. ▪ Plastic objecten die deformerende vormen een uitdaging. ▪ De experimenten zijn alleen in het lab uitgevoerd, daardoor zijn omgevingsfactoren zoals vissen, stenen, algen etc beperkt. 	Gepubliceerd ⁶
Deeper CHIRP + Fishfinder	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Echo sounding kan gebruikt worden voor het detecteren van zwevende macroplastics in rivieren. Gebruikmakend van een simpele fishfinder. 	Sophie Broere, Januari 2021
Single beam sonar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De grootte van objecten kan geschat worden aan de hand van de sonar scans. Echter moet hierbij rekening gehouden worden met factoren zoals: stroomsnelheid, object oriëntatie en object deformatie. 	Gepubliceerd ⁷

Naast beschikbare informatie over onderzoeken en initiatieven op het gebied van plastic detectie met geluid is ook geïnventariseerd welke apparatuur beschikbaar is bij Rijkswaterstaat. Hiervoor zijn gesprekken gevoerd met personen van de Centrale Informatievoorziening (CIV). Om te bepalen welk instrument het meest geschikt is voor plastic monitoring wordt de beschikbaarheid bij Rijkswaterstaat meegenomen. Dit komt voornamelijk naar voren in het kosten criterium in de multicriteria-analyse.

De beschikbare instrumenten in het beheer van Rijkswaterstaat (CIV) zijn:

- Nortek Aquadopp profiler 1 MHz, 2 MHz en 600 kHz
- Nortek DVL 1000
- TRDI Workhorse Monitor ADCP – 600 ,1200 kHz
- TDRI Workhorse H-ADCP 300, 600 kHz
- TRDI H-ADCP Channelmaster 600 kHz
- TDRI Riverray
- Kongsberg EM204 Multi Beam systeem
- Kongsberg EA440 singlebeam
- Klein 3900 Side scan sonar
- Klein 5000 side scan sonar

In hoofdstuk 5 zijn in het selectiemodel verschillende potentieel geachte technieken meegenomen. De geschiktheid hiervan kan worden beoordeeld op een aantal criteria.

⁶ Valdenegro, M.: Submerged marine debris detection with autonomous underwater vehicles. December 2016. https://www.researchgate.net/publication/317129538_Submerged_marine_debris_detection_with_autonomous_underwater_vehicles

⁷ Broere, S. et al.: Towards underwater plastic monitoring using echo sounding. Januari, 2021. https://www.researchgate.net/publication/348763860_Towards_underwater_plastic_monitoring_using_echo_sounding

3 Inventarisatie partijen

Dit hoofdstuk geeft een inventarisatie van het type partijen die werken met akoestische sensoren. Daarnaast is een overzicht gegeven van de interviews die zijn afgenomen voor dit project. Er zijn met een aantal partijen informatieve gesprekken gevoerd over het gebruik van akoestische sensoren voor verschillende doeleinden. De belangrijkste uitkomsten hiervan zijn in dit hoofdstuk vermeld.

3.1. Inventarisatie type partijen die werken met akoestische sensoren

Aangezien akoestische sensoren voor veel verschillende doeleinden gebruikt worden is een verdeling gemaakt op basis van type partijen. Het gaat om partijen die zich bezighouden met onderzoek en innovatie, akoestische sensoren produceren, of deze sensoren gebruiken.

Het eerste type partijen betreft verschillende universiteiten zoals de TU Delft, Wageningen University & Research en de Radboud Universiteit. Daarnaast zijn er ook een aantal onderzoeksinstellingen zoals TNO en Deltares die zich bezighouden met akoestische meetmethodieken.

Op het gebied van producenten van akoestische sensoren zijn er verschillende partijen werkzaam in Nederland en daarbuiten (vooral in de Verenigde Staten). In Nederland zijn dit onder andere Nortek, Geometius, Deep B.V. en Raymarine.

Het type gebruikers van akoestische sensoren is uiteenlopend. In de visserij wordt sonarapparatuur toegepast om de locatie en hoeveelheid van vis te bepalen. Akoestische sensoren worden door overheden gebruikt voor onder andere het monitoren en inmeten van rivier/zee bodems, sediment transport en vismigratie. Daarnaast worden akoestische sensoren momenteel ook door oQuay toegepast voor inspecties aan waterbouwkundige kunstwerken.

Uit bovenstaand genoemde type partijen is per type een partij gekozen om meer verdiepend inzicht te krijgen in de toepassing en het gebruik van akoestische sensoren. In de volgende twee paragrafen is dit in meer detail beschreven.

3.2. Doel interviews en introductie benaderde partijen

Het werkveld van de drie benaderde partijen is onderzocht. Dit geeft ook richting aan eventuele samenwerkingen in de toekomst. De partijen die benaderd zijn voor deze opdracht zijn: Nortek, TNO en oQuay.

Nortek is producent van akoestische sensoren, voornamelijk ADCP's. Het hoofdkantoor is gevestigd in Noorwegen. In Nederland is een tweede kantoor gevestigd in Badhoevedorp. Klanten schakelen de apparatuur en diensten van Nortek met name in voor het meten van stroming en golven.

TNO richt zich op onderzoek & innovatie op het gebied van akoestiek. TNO is onafhankelijk kennisinstituut die zich bezighoudt met toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek. In Den Haag heeft TNO een afdeling gerelateerd aan akoestiek. Bij TNO wordt daarnaast, bij een andere afdeling, ook onderzoek gedaan naar (micro)plastic, materiaaleigenschappen en recycling.

oQuay is een bedrijf dat inspecties uitvoert boven en onder de waterlijn. Er wordt gebruik gemaakt van verschillende methoden om de toestand van waterbouwkundige constructies in beeld te brengen. Voor de onderwaterinspecties wordt gebruik gemaakt van sonar. Op de sonar beelden zijn onder andere scheuren in kademuren te zien.

3.3. Belangrijkste uitkomsten uit interviews

Nortek is een van de marktleiders op het gebied van de productie van ADCP's. Deze instrumenten worden door klanten ingezet voor het meten van stromingsprofielen, golven en turbulentie. Daarnaast worden de ADCP's met bijbehorende software ingezet voor onderwaternavigatie. Nortek levert ook debietstations die op vaste locaties zorgen voor accurate debietmetingen. De belangrijkste resultaten uit het interview betreft de detectie van plastic zijn hieronder opgesomd.

- Op het gebied van plastic detectie is volgens Nortek een enkele echosounder het meest interessant om in te zetten. Wanneer ook stroomsnelheid gemeten dient te worden is een ADCP zeer geschikt.
- Wanneer de ADCP vanaf een boot ingezet wordt moet er rekening gehouden worden met factoren als stabiliteit en vaarsnelheid. De kwaliteit van de metingen is het hoogst als de sensor stabiel gehouden wordt.
- Als voorbeeld zou gemeten kunnen worden met Signature1000 ADCP. Deze sensor kan deeltjes detecteren tot op 3 mm nauwkeurig en kost ongeveer 20.000 euro⁸.

TNO kan op het gebied van akoestische sensoren inzicht geven in systeem parameters, type systemen en kosten. Hierbij gaat het om het kiezen van systemen die bruikbaar zijn vanuit technisch oogpunt. Verschillende experts op dit gebied zijn werkzaam bij de afdeling akoestiek in Den Haag. De belangrijkste resultaten uit het interview betreft de detectie van plastic zijn hieronder vermeld.

- Voor het detecteren van plastic met geluid moet inzicht verkregen worden in specifieke sensor eigenschappen. Hierbij gaat het om minimaal benodigde prestaties van het apparaat, golflengte en frequentie.
- De grootte van plastic objecten die je wilt detecteren (micro, meso of macro) is bepalend voor de sensor eigenschappen. De golflengte dient overeen te komen met de grootte van de objecten voor de beste detectie.
- Factoren die invloed kunnen hebben op de metingen zijn: scheepvaart, golven, vissen en waterplanten.
- TNO heeft momenteel niet een sensor beschikbaar die nu ingezet zou kunnen worden voor het detecteren van plastic in de waterkolom.

oQuay gebruikt sonar voor het opnemen van schades aan waterbouwkundige kunstwerken. Er wordt daarbij gemeten in verschillende type watergangen en gebieden. De sonar is gemonteerd aan een boot of onderwaterdrone waarmee de inspecties uitgevoerd worden. De toepassing van een onderwatercamera voor het uitvoeren van inspecties is eerst onderzocht, voor de aanschaf van een akoestische sensor. De belangrijkste resultaten uit het interview betreft de detectie van plastic zijn:

- Een onderwatercamera heeft in de meeste Nederlandse wateren maar beperkt zicht door de troebelheid van het water. Hierdoor is inspectie en detectie onderwater lastig.
- Tijdens inspecties van waterbouwkundige kunstwerken worden soms ook plastic objecten in de waterkolom gedetecteerd.
- De voornaamste factor die van invloed is op de detectie van objecten in de waterkolom is natuurlijke begroeiing. Natuurlijke begroeiing kan zorgen voor veel ruis en weinig zicht onderwater.
- Er wordt door oQuay gebruik gemaakt van een ARIS3000 sonar. Deze sensor wordt gemaakt in de Verenigde Staten en kost ongeveer 100.000 euro.

⁸ <https://www.nortekgroup.com/products/signature-1000/pdf>

4 Experimentele testen

Voor deze opdracht zijn experimentele testen uitgevoerd met een akoestische sensor. In hoofdstuk 4 staan de methode en de resultaten van de testen beschreven.

4.1. Doel testen en gebruikte sensor

Met deze testen is getracht inzicht te krijgen in de gevoeligheid van een geavanceerde fishfinder (Humminbird Helix sensor) voor de detectie, grootte en materiaaleigenschappen van plastic items. De testen zijn uitgevoerd in een gecontroleerde omgeving, die qua omstandigheden tussen het laboratorium en het veld (rivier) in zit. Meer informatie over de test locatie en opstelling is gegeven in paragraaf 4.2.

Een geavanceerde fishfinder (Humminbird Helix 7 CHIRP MEGA SI GPS G3N⁹) is gekozen om de experimentele testen mee uit te voeren, zie Figuur 5. Deze keuze is gebaseerd op de literatuurstudie en interviews, beschreven in hoofdstuk 2 en 3. Uit de literatuurstudie is gebleken dat in voorgaand onderzoek gebruik is gemaakt van 3 type akoestische sensoren namelijk: ADCP, ARIS3000 sonar en een Deeper CHIRP+ fishfinder. Het verschil tussen deze sensoren is groot op het gebied van specificaties en prijs. De prijs varieert van 300 euro voor de Deeper CHIRP + fishfinder tot 100.000 euro voor de ARIS3000 sonar.

Daarnaast werd uit de interviews duidelijk dat voornamelijk het echosounder principe het best werkt voor plastic detectie. Om een vergelijking te kunnen maken op basis van kosten en performance is er voor dit onderzoek gekozen om een nieuwe, relatief goedkope fishfinder te testen op de potentie van plastic detectie. Het gebruikt van een nog niet geteste sensor heeft daarnaast het voordeel dat een breder beeld van de toepassing van akoestische technieken voor plastic monitoring wordt verkregen.

De Humminbird Helix is een veel gebruikte meer geavanceerde fishfinder dan de Deeper CHIRP + en kost rond de 1000 euro. Deze sensor biedt de mogelijkheid om meer instelling aan te passen op het gebied van frequentie en gevoeligheid dan de Deeper CHIRP +. De voornaamste specificaties van de Humminbird Helix sensor zijn weergegeven in Tabel 2.



Figuur 5 Humminbird Helix 7 CHIRP MEGA SI GPS G3N. Bron: <https://humminbird.johnsonoutdoors.com/fish-finders/helix/helix-7-chirp-mega-si-gps-g3n>

Tabel 2 Specificaties Humminbird Helix 7 CHIRP MEGA SI GPS G3N

Categorie	Specificatie
Sonar	Dual Spectrum CHIRP
	MEGA Down Imaging
	Mega Side Imaging

⁹ <https://humminbird.johnsonoutdoors.com/fish-finders/helix/helix-7-chirp-mega-si-gps-g3n>

Sonar dekking	20°, 42°, 60°, 86°
CHIRP frequenties	Full mode: 150-220 kHz
	Narrow mode: 180-240 kHz
	Wide mode: 140-200 kHz
Sonar frequenties	50/80/200/455 kHz
Diepe sonar	360 m
Diepte Down Imaging	150 m
Range Side Imaging	150 m

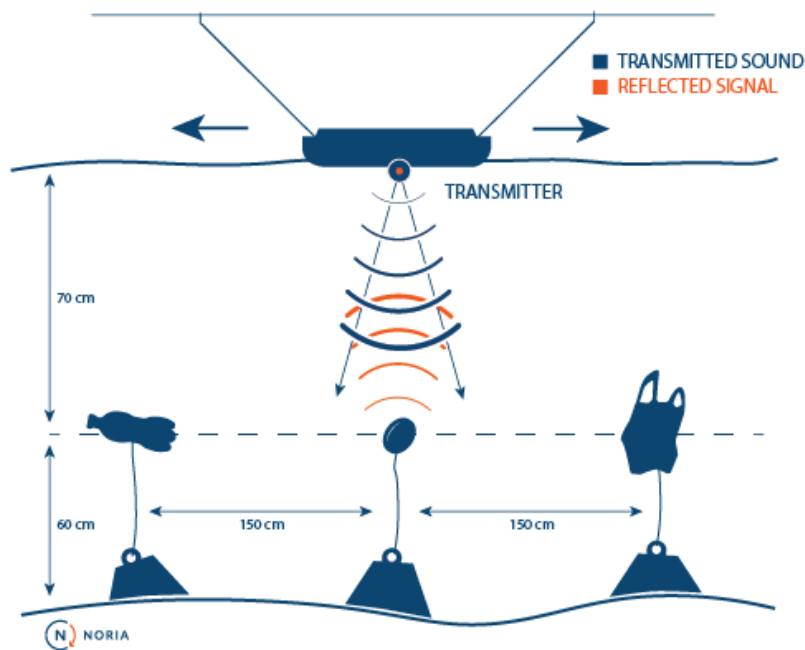
4.2. Locatie en methode testen

De experimentele testen zijn uitgevoerd in een bassin bij Flood Proof Holland. Deze locatie is een proeftuin gelegen op de campus van de TU Delft waar studenten en bedrijven hun innovatieve oplossingen kunnen testen. Voor het testen van de Humminbird Helix sonar is een deel van het bassin aangegeven in Figuur 6 gebruikt. Het bassin is gevuld met water, heeft een oppervlakte van 400 m² en een diepte van 1.30 m.



Figuur 6 Overzichtsfoto Flood Proof Holland terrein. Bron: Google Maps

De testen zijn uitgevoerd in stilstaand water waarbij verschillende objecten met gewichten in de waterkolom zijn gepositioneerd. De sensor zelf is nabij de wateroppervlakte bevestigd en in een lijn over de objecten heen getrokken, zie Figuur 7 en Figuur 8 voor de situatie.



Figuur 7 Schematische weergave sensor en plastic objecten gepositioneerd in waterkolom



Figuur 8 Situatie sensor in bassin bij Flood Proof Holland. Foto gemaakt door Phil Nijhuis.

De beelden gegenereerd door de sensor zijn opgenomen en opgeslagen op een SD kaart. Er zijn tijdens de testen zowel video's als foto's opgenomen. Voor de video's is de sensor met constante snelheid over de objecten heen getrokken. Voor het nemen van de foto's is de sensor boven ieder object stil gehangen.

Voor de testen is gebruik gemaakt van plastic voorwerpen variërend in grootte, vorm en materiaaleigenschappen. Ook is onderzocht of er onderscheid gemaakt kan worden tussen de detectie van plastic items en organisch materiaal. Foto's van de gebruikte objecten zijn toegevoegd in de bijlage van dit rapport.

De volgende objecten zijn gebruikt voor de testen:

- Plastic fles 1.5 L deels gevuld met water (materiaal: PET)
- Plastic flesje 0.5 L deels gevuld met water (materiaal: PET)

- Plasticfolie 25x25 cm (materiaal: LDPE)
- Plasticfolie 10x10 cm (materiaal: LDPE)
- Plastic dop 8.5 cm diameter (materiaal: PP)
- Plastic dop 3 cm diameter (materiaal: PP)
- Onderwaterplanten uit het bassin

Deze objecten zijn gekozen om inzicht te krijgen in onderstaande vragen:

- Kan plastic gedetecteerd worden met de sensor?
- Is verschil in grootte van plastic objecten waar te nemen?

Daarnaast is aan de hand van de uitgevoerde testen gekeken of inzicht verkregen kan worden in onderstaande vragen:

- Is verschil in type plastic (materiaaleigenschappen) waar te nemen in deze verkenning?
- Is verschil in plastic en organisch materiaal waar te nemen in deze verkenning?

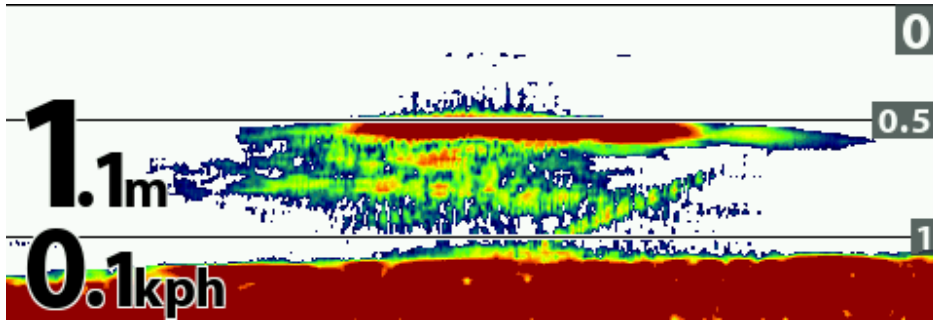
4.3. Resultaten

Tabel 3 geeft een overzicht van de resultaten uit de testen weer. Hierin is te zien dat het detecteren van plastic objecten mogelijk is met de Humminbird Helix sensor. De detectie van een item is vastgesteld door het sonar beeld te analyseren voor het moment dat de sensor zich boven het specifieke item bevond. Voor vrijwel alle objecten kwam een duidelijke reflectie terug in het sonar beeld. In Figuur 9 is hiervan een voorbeeld gegeven, voor de detectie van de 1.5 L fles deels gevuld met water.

Voor de relatie tussen object grootte en sonar signaal is er gekeken of er verschil in signaal te zien was tussen de grote en kleine variant van hetzelfde object. In de tabel is aangegeven wanneer hiervan sprake was voor de geteste items. Dit is voor zowel de grote als kleine variant van hetzelfde object in de tabel weergegeven.

Tabel 3 Overzicht resultaten testen Humminbird Helix voor verschillende grootte van plastic objecten

Item	Detectie mogelijk	Relatie object grootte
Plastic fles 1.5L deels gevuld met water (materiaal: PET)	✓	?
Plastic flesje 0.5 L deels gevuld met water (materiaal: PET)	?	
Plasticfolie 25x25 cm (materiaal: LDPE)	✓	✓
Plasticfolie 10x10 cm (materiaal: LDPE)	✓	
Plastic dop 8.5 cm diameter (materiaal: PP)	✓	✓
Plastic dop 3 cm diameter (materiaal: PP)	✓	



Figuur 9 Sonar signaal voor de 1.5 L fles deels gevuld met water. De fles bevindt zich tussen 0.5 en 0.7 m diepte. De verticale as staat voor diepte, de horizontale as voor tijd.

Een aantal dingen vallen op aan bovenstaande resultaten. Allereerst is de 0.5 L plastic fles niet gedetecteerd door de sensor. Een verklaring hiervoor is dat de fles in de breedte te ver van de sensor gepositioneerd was in het water. Met het verwijderen van de items uit het bassin bleek de 0.5 L fles niet op de vooraf ingestelde locatie te liggen. In vervolgtesten moet hiermee rekening worden gehouden. Aangezien alle geteste items met de sensor gedetecteerd konden worden is het aannemelijk dat dit ook voor de 0.5 L fles geldt. Door het missen van sonar data van de 0.5 L fles kan de relatie tussen object grootte voor de 0.5 en 1.5 L fles niet worden vastgesteld. De verwachting is dat er een relatie is tussen de grootte van het object en het sonar signaal aan de hand van de andere resultaten van de andere items.

De relatie tussen de reflectie sterkte en het materiaal type van de geteste items is op basis van de verkregen data lastig vast te stellen. Meer data en uitgebreidere testen zijn nodig om deze relatie te onderzoeken. Dit geldt ook voor het verschil tussen plastic en organisch materiaal. Beide worden gedetecteerd door de sensor. Uit eerder onderzoek lijkt organisch materiaal minder te reflecteren dan plastic items. Op basis van de resultaten van de testen voor dit project is dit niet met zekerheid vast te stellen. Een significante hoeveelheid testen met verschillende materialen naast plastic, waaronder organisch materiaal, is nodig om vast te stellen of dit onderscheid gemaakt kan worden. Dit zal zeer bepalend zijn voor de potentie van het monitoren van onderwater plastic met akoestische sensoren.

In het algemeen moet de kanttekening worden gemaakt dat de testen voor dit project experimenteel waren en maar een relatief kleine dataset hebben gegenereerd. Om gefundeerde uitspraken te kunnen doen over verschillende relaties tussen grootte, materiaal type en vorm dient aanvullend onderzoek uitgevoerd te worden. Hiervoor zal eerst één of twee sensoren gekozen moeten worden om verder mee te gaan testen. Hierbij kan het selectiemodel, beschreven in hoofdstuk 5, helpen. Daarna zullen testen onder gecontroleerde omstandigheden met verschillende objecten uitgevoerd moeten worden de detectie met akoestische sensoren beter te begrijpen. Daarbij is het belangrijk om de afweging te maken of plastic van ander zwerfafval van elkaar onderscheiden dient te worden of niet. Wanneer dit wenselijk is zullen testen gedaan moeten worden met verschillende objecten van plastic, glas, blik, textiel en organisch materiaal. Als dit niet per se wenselijk is dan moet vooral gekeken worden of plastic van organisch materiaal onderscheiden kan worden met sonar. Dit bepaalt daarna de vervolg stappen voor in stromende condities.

5 Selectiemodel

De criteria die gebruikt kunnen worden om te bepalen of een sonartechniek interessant is voor het monitoren van macroplastics in de waterkolom worden in een selectiemodel toegepast. Het selectiemodel is hiermee een hulpmiddel om een objectieve selectie te maken van de systemen die geschikt zijn voor het specifieke beoogde doel.

5.1. Criteria voor de selectie van een akoestische monitoring techniek

Het selectiemodel is ontwikkeld als middel om geschikte systemen te selecteren uit de gehele set van akoestische geanalyseerde systemen. Het model berust op verschillende criteria. Per criterium zijn er een aantal opties om uit te kiezen. Dit zorgt ervoor dat systemen afvallen wanneer deze niet aan gekozen criterium waarden voldoen. Hiermee komt er op basis van de opgegeven voorkeur één of meer systeem/systemen uit die aan deze voorwaarden voldoet/voldoen.

Het doel van een selectiemodel is een selectie van systemen maken voor specifieke omstandigheden en concrete doelen/wensen die bij de monitoringsactiviteit een rol spelen. Hierbij gaat het er dus niet om of een systeem goed of slecht is in het algemeen. Het systeem dat overblijft is afhankelijk van de voorkeuren die worden opgegeven.

Deze selectie is gericht op de geschiktheid voor het monitoren van macroplastic in de waterkolom met akoestische sensoren. Voor het selecteren van geschikte akoestische systemen maakt het model gebruik van de volgende criteria:

1. Meekoppelkans met bestaande meting
2. Vanaf welke diepte detecteerbaar
3. Opslag van data
4. Openingshoek waarmee geluidssignaal wordt uitgezonden
5. Aanpasbaarheid van het akoestische systeem
6. Complexiteit bediening
7. Aanschafkosten
8. Aantal mensen dat nodig is tijdens uitvoering
9. Huidige ontwikkeling van de methode voor plastic detectie

Voor elke categorie is een korte toelichting gegeven. Daarbij zijn tevens de opties die in het selectiemodel aangevinkt kunnen worden benoemd.

Meekoppelkans met bestaande meting

Het inzetten van akoestische sensoren voor het meten van plastics in de waterkolom kan mogelijk gecombineerd worden met bestaande metingen voor andere doeleinden welke periodiek worden uitgevoerd. De mate waarin dit kan hangt af van de beschikbaarheid van de apparatuur en de metingen die worden uitgevoerd. De volgende opties zijn opgenomen voor het criterium over de meekoppelkans met bestaande metingen:

- Techniek wordt niet ingezet
- Techniek wordt soms ingezet
- Techniek wordt vaak ingezet

Vanaf welke diepte detecteerbaar

De plastics in de waterkolom kunnen vanaf het wateroppervlak gemeten worden. Tussen de verschillende systemen zit er een verschil in de diepte waarop de meting begint. Dit hangt af van de frequentie waarmee geluid wordt uitgezonden. Over het algemeen geldt: hoe hoger de frequentie, hoe kleiner de diepte vanaf waar gemeten kan worden. Een hoge frequentie zorgt daarnaast voor een hoog detailniveau van de meting, maar voor een kleinere straal (totale oppervlakte) waarin gemeten wordt. Dit betekent dat wanneer er een bepaald oppervlak gemeten moet worden, een hogere nauwkeurigheid ten koste gaat van het oppervlak en er dus meer metingen nodig zullen zijn. De volgende opties zijn opgenomen voor het criterium vanaf welke diepte de plastics detecteerbaar zijn:

- 0-10 cm vanaf wateroppervlakte
- 10-30 cm vanaf wateroppervlakte
- 30-70 cm vanaf wateroppervlakte
- 70-100 cm vanaf wateroppervlakte

Opslag van data

De vorm waarin de data opgeslagen kan worden na de meting voor verdere analyse verschilt per systeem. De volgende opties zijn opgenomen voor het criterium van opslag van data:

- Geen opslag, alleen live waarneming mogelijk
- Opslag van beelden in PNG-formaat
- Opslag van beelden in PNG- en videoformaat en ruwe data over reflectie

Openingshoek waarmee geluidssignaal wordt uitgezonden

Het gedeelte van de waterkolom waarin wordt gemeten verschilt per apparaat. Dit is vooral afhankelijk van de openingshoek. De openingshoek is bepalend voor het oppervlak dat kan worden gemeten. Over het algemeen geldt dat, een grotere openingshoek gepaard gaat met een lagere frequentie wat resulteert in een lager detailniveau van de meting. De volgende opties zijn opgenomen voor het criterium van het gedeelte van de waterkolom waarin gemeten wordt:

- Openingshoek 0-15 graden
- Openingshoek 15-30 graden
- Openingshoek 30-70 graden

Aanpasbaarheid van het akoestische systeem

Is het mogelijk om de systeeminstellingen aan te passen? Hierbij gaat het met name om het aanpassen van de frequentie waarmee geluid uitgezonden wordt. Wanneer de frequentie aangepast kan worden kan daarmee de openingshoek en resolutie worden gevarieerd. Een hogere frequentie zorgt voor een meer gedetailleerd beeld, maar ook voor een kleiner meetoppervlak. Een lage frequentie zorgt voor een lager detailniveau maar een groter meetoppervlak. De volgende variabelen zijn opgenomen voor het criterium van aanpasbaarheid van de instellingen van het systeem:

- Frequentie kan niet aangepast worden
- Frequentie kan beperkt aangepast worden
- Frequentie kan volledig aangepast worden

Complexiteit bediening

De bediening van de akoestische sensor kent een bepaald niveau van complexiteit. Sommige sensoren kunnen gebruikt worden zonder extra uitleg of training. Voor andere sensoren is juist uitleg nodig voor gebruik. De complexiteit van de bediening is vaak gerelateerd aan het detailniveau van de data. Afhankelijk van de wensen kan er gekozen worden voor systemen die zeer eenvoudig te gebruiken

zijn of waarvoor uitleg/training is vereist. Wanneer de ruwe data van de reflectie geanalyseerd dient te worden zal dit gepaard gaan met het gebruik van systemen waarbij uitleg nodig is. De volgende variabelen zijn opgenomen voor het criterium van complexiteit van de bediening:

- Geen uitleg nodig
- 1 uur uitleg
- Minimaal 1 dag uitleg/training

Aanschafkosten (CAPEX)

Wat is het beschikbare budget voor de aanschaf of de huur van de akoestische apparatuur. Dit kan afhankelijk van de doelstellingen en/of voorschriften variëren. De volgende variabelen zijn opgenomen voor het criterium van beschikbare budget voor de aanschaf of huur:

- €0 - €1.000
- €1000 - €5.000
- €5000 - €10.000
- €10.000 - €50.000
- €50.000 - €100.000
- > €100.000

Benodigd aantal mensen tijdens uitvoering

Het aantal personen dat nodig is voor de uitvoering van de meting met de akoestische sensor kan variëren. Zo is bij sommige apparatuur slechts 1 persoon nodig terwijl er bij andere systemen minimaal 2 personen nodig zijn. Hier kan een beperking vanuit de opdrachtgever zijn in het aantal in te zetten personen tijdens een meting of beschikbaarheid van mensen voor een bepaalde meting. De volgende variabelen zijn opgenomen voor het criterium van aantal benodigde personen tijdens de uitvoering:

- Uitvoerbaar door 1 persoon
- Minimaal 2 personen nodig voor het uitvoeren van deze meting

Huidige status van ontwikkeling van de techniek voor plastic detectie

Hoe ver een techniek ontwikkeld is voor het detecteren van plastics kan helpen bij het selecteren van een bepaalde sensor. Over het algemeen is er nog weinig fundamenteel onderzoek uitgevoerd naar de detectie van plastic met akoestische sensoren. Wel zijn er een aantal testen gedaan die de potentie ervan aangeven. De volgende variabelen zijn opgenomen voor het criterium van de huidige status van ontwikkeling van de techniek voor plastic detectie:

- Nog geen testen uitgevoerd
- 1 test uitgevoerd
- > 1 test uitgevoerd
- Methode is ontwikkeld

5.2. Werking en doel van het selectiemodel

Zoals reeds aangegeven is het doel van het selectiemodel om in een situatie waarin behoefte is om metingen uit te voeren snel tot een selectie van mogelijk meetsystemen te komen. De technieken worden uitgesloten als de waarde van deze techniek voor dat criterium niet overeenkomt met de door de gebruiker gewenste waarde op dit criterium. Belangrijk punt om hierbij mee te geven is dat het model bedoeld is om een selectie te maken voor een bepaalde situatie. Indien het selectiemiddel, na selectie van gewenste waarden per criterium, meerdere meetsystemen geeft, kunnen deze systemen

vervolgens met elkaar worden vergeleken. De vergelijking van enkele systemen is altijd aanzienlijk eenvoudiger dan vele systemen.

Verder heeft het selectiemodel het doel om te fungeren als gespreksmiddel om uit meerdere opties zo objectief mogelijk geschikte systemen te selecteren. Dit selectiemodel kan ingezet worden tijdens een gezamenlijke sessie met experts op dit vlak vanuit Rijkswaterstaat voor het bepalen van de geschikte techniek of wanneer in een kleiner project iemand snel wil weten welke systemen in potentie geschikt zouden zijn. Aanbevolen wordt om deze eerste opzet voor het selectiemodel in een expertsessie samen met Noria en Deltares en RWS uit te voeren om daaruit voortkomende potentiële verbeteringen in het model door te voeren.

6 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de conclusies van deze verkenning gepresenteerd. Daarnaast wordt een aantal aanbevelingen gedaan voor mogelijke vervolgstappen.

6.1. Conclusies

Het gebruik van geluid voor objectdetectie wordt al veelvuldig toegepast voor verschillende doeleinden. Denk hierbij aan het monitoren van vismigratie, rivierbodems en sediment transport. Er zijn verschillende type sensoren die de waterkolom en rivier/zee bodem scannen. De detectie van onderwater objecten met geluid hangt van een aantal factoren af.

De dichtheid van een object is een belangrijke factor voor de mate van detecteerbaarheid. Objecten met een hoge dichtheid zorgen voor een sterkere reflectie van het geluid dan objecten met een lage dichtheid. Ook dichtheidsverschillen zijn hierbij van belang. Wanneer het verschil in dichtheid groot is, zoals tussen water en lucht, resulteert dit in een sterke reflectie van de luchtbellens in het water. Daarnaast is ook de oppervlaktestructuur van het object van invloed op de reflectie van geluid. Objecten met een ruw oppervlak zijn over het algemeen beter te detecteren dan objecten met een glad oppervlak.

Naast objecteigenschappen zijn ook omgevingsfactoren van belang voor de detecteerbaarheid van objecten met geluid. Hierbij gaat het onder andere om de aanwezige sediment concentratie in de rivier en de watertemperatuur. Naast omgevingsfactoren hebben ook de eigenschappen van het signaal (en sensor) invloed op de mate waarin objecten gedetecteerd kunnen worden. Deze eigenschappen zijn de frequentie, verspreidingshoek en sterkte van het uitgezonden signaal.

Verder geldt dat de bovenste laag van de waterkolom, bij het wateroppervlak, vaak lastig te meten is. Dit komt door het natrillen van de transducer na het uitzenden van een geluidsgolf. Hierdoor kan deze tijdelijk geen inkomend signaal waarnemen. Dit wordt ook wel de blanking-zone genoemd. Hoe groot de zone is waarin geen objecten waargenomen kunnen worden is sensor specifiek. Het kan variëren tussen de 5 en 100 centimeter.

Uit het literatuuronderzoek kan daarnaast geconcludeerd worden dat het meten van onderwaterplastics met geluid veel potentie heeft. Er zijn een aantal principetesten uitgevoerd met verschillende sensoren (ADCP, ARIS-sonar, Deeper CHIRP + fishfinder) waarbij plastic objecten in de waterkolom gedetecteerd konden worden.

De potentie van komt overeen met de uitkomsten van de principetest die is uitgevoerd voor deze verkenning. Tijdens deze verkenning is gemeten met de Humminbird Helix fishfinder. Er is voor de testen gebruik gemaakt van plastic flessen, plasticfolies, plastic doppen en onderwaterplanten. Al deze items konden met de gebruikte sensor gedetecteerd worden. Daarbij is een relatie gevonden tussen objectgrootte en reflectie van geluid. Dit houdt in dat een groter object voor meer reflectie van geluid zorgt dan een klein object.

Naast de detectie van onderwaterplastics met de Humminbird Helix is ook bekeken of materiaaleigenschappen gelinkt kunnen worden aan reflectie sterkte. In de uitgevoerde principetest is dit niet duidelijk naar voren gekomen. Echter, dit betreft een relatief kleine dataset. Om hier beter antwoord op te kunnen geven zijn meer testen noodzakelijk.

Met behulp van een aantal gekozen criteria is een selectiemodel opgesteld voor verschillende typen akoestische sensoren. In dit selectiemodel zijn criteria opgenomen die bepalend zijn voor de toepassing van de sensor op het gebied van plastic monitoring. Omdat er nog weinig onderzoek heeft plaatsgevonden op dit gebied is de potentie voor plastic detectie van de verschillende sensoren niet

direct af te leiden. Het model kan gebruikt worden als handvat en richting geven voor het uitvoeren van vervolgonderzoek. De uitkomst van het selectiemodel is afhankelijk van de variabelen die per criterium worden geselecteerd.

Een belangrijk verschil in apparatuur voor de detectie van plastics is de meetresolutie. Het voordeel van fishfinders (single beam sonar, Deeper CHIRP + en Humminbird Helix) is het grote detail waarmee plastic items gedetecteerd kunnen worden. Bij ADCP's wordt de verticale as in cellen (bins) verdeeld, wat de resolutie vermindert. Plastics zouden hierdoor voornamelijk aan de intensiteit per bin kunnen worden herkend. Hoewel het detailniveau voor plastic detectie minder groot is vergeleken met fishfinders, worden ADCP's wel veelvuldig gebruikt. Ook multibeam sonars worden al ingezet voor andere doeleinden. Hiermee wordt voornamelijk data over bodemprofielen verzameld. Om plastic concentratie te kunnen meten zal daarnaast data over de waterkolom opgeslagen moeten worden. Deze zowel continue als eenmalige metingen bij hoge afvoeren zijn bruikbaar voor analyse van plastic transport. Daarmee kan na het ontwikkelen van een plastic detectiemethode direct een groot meetnetwerk worden gerealiseerd.

6.2. Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Dit project biedt een eerste inzicht in de mogelijkheden voor toepassing van akoestische sensoren voor detectie en monitoring van onderwater plastic. Het detecteren van plastic in de waterkolom is experimenteel getest. Op basis van de literatuurstudie en resultaten van de testen lijkt het meten van plastics in de waterkolom met akoestische sensoren een methode met veel potentie. Het meten van plastics in de waterkolom met akoestische sensoren heeft een aantal voordelen vergeleken met de huidige methode met netten. Ze kunnen onder variërende rivieromstandigheden ingezet worden, vormen geen hinder voor de scheepvaart en kunnen meten tot op de bodem. Echter blijft het monitoren met netten waarschijnlijk het meest betrouwbaar omdat hierbij de plastics ook daadwerkelijk worden afgevangen en geanalyseerd kunnen worden. Akoestische sensoren zoals multibeam sonars en ADCP's worden door Rijkswaterstaat al ingezet voor het meten van bodemprofielen en afvoeren. Het combineren van deze metingen met plastic transport zou zeer interessant zijn.

Voordat plastic transport gemeten kan worden met akoestische sensoren is uitgebreid vervolgonderzoek noodzakelijk. In een vervolgonderzoek zouden een aantal stappen aan bod moeten komen. De eerste stap is het kiezen van één of twee apparaten om verder mee te testen. De keuze voor deze apparaten is afhankelijk van een aantal factoren en kan verschillen per organisatie. Geadviseerd wordt om een werksessie te organiseren met betrokkenen vanuit Rijkswaterstaat, Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening, Deltares, TNO en Noria. Hierin kan uitgebreid worden gesproken over de mogelijkheden en beschikbaarheid van apparatuur. Met name het naast elkaar leggen van deze twee aspecten kan leiden tot een versnelde ontwikkeling.

Wanneer er een gezamenlijke keuze is gemaakt betreft de te gebruiken akoestische apparatuur, is het van belang om op korte termijn data te verzamelen. Uitgebreide testen voor verschillende plastic items, dieptes en omgevingsfactoren zijn nodig om een beeld te krijgen van de daadwerkelijke toepassing voor het meten van plastic. De vervolgstap hierin is testen met organisch materiaal en plastic om vast te stellen of hiertussen duidelijk onderscheid gemaakt kan worden. Wanneer dat mogelijk is, kan gekeken worden naar het detecteren van verschillende objecten van plastic, glas, blik, textiel, etc.

Naast het gecontroleerd testen van akoestische sensoren is het ook aan te raden om meetresultaten van akoestische sensoren in het veld op hetzelfde moment te vergelijken met netmetingen op dezelfde locatie. Netmetingen voor het monitoren van plastics wordt al toegepast op verschillende

locaties in Nederland. Het tegelijk inzetten van een akoestische sensor heeft het voordeel dat de metingen op basis van geluid gevalideerd kunnen worden met de netmetingen.

Tot slot zal er, om van handmatige interpretatie van de reflectiesignalen naar het automatisch detecteren van plastic te komen, een algoritme moeten worden ontwikkeld. Dit kan op het gebied van beeldherkenning zijn of op basis van interpretatie van de ruwe data over signaalsterkte. Voor het opzetten van een dergelijk algoritme is veel data nodig van gedetecteerde plastic items in de waterkolom. Dit zal zoals hierboven beschreven eerst verzameld moeten worden en is de vervolgstap voor lange termijn.

Colofon

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat WVL

Uitgave

Noria Sustainable Innovators
Schieweg 13
2627AN Delft

Deltares
Boussinesqweg 1
2629HV Delft

Telefoon

06 – 248 560 70

Auteurs

Sophie Broere - Noria
Rinze de Vries - Noria
Arnoud van der Vaart - Noria
Frans Buschman - Deltares





Datum oplevering Rapport

November 2021

Projectnummer

2021-RWS-002

Bijlage

<p>Plastic fles 1.5 L deels gevuld met water (materiaal: PET)</p>	<p>Plastic flesje 0.5 L deels gevuld met water klein (materiaal: PET)</p>
	
<p>Plasticfolie 25x25 cm (materiaal: LDPE)</p>	<p>Plasticfolie 10x10 cm (materiaal: LDPE)</p>
	
<p>Plastic dop 8.5 cm diameter (materiaal: PP)</p>	<p>Plastic dop 3 cm diameter (materiaal: PP)</p>

