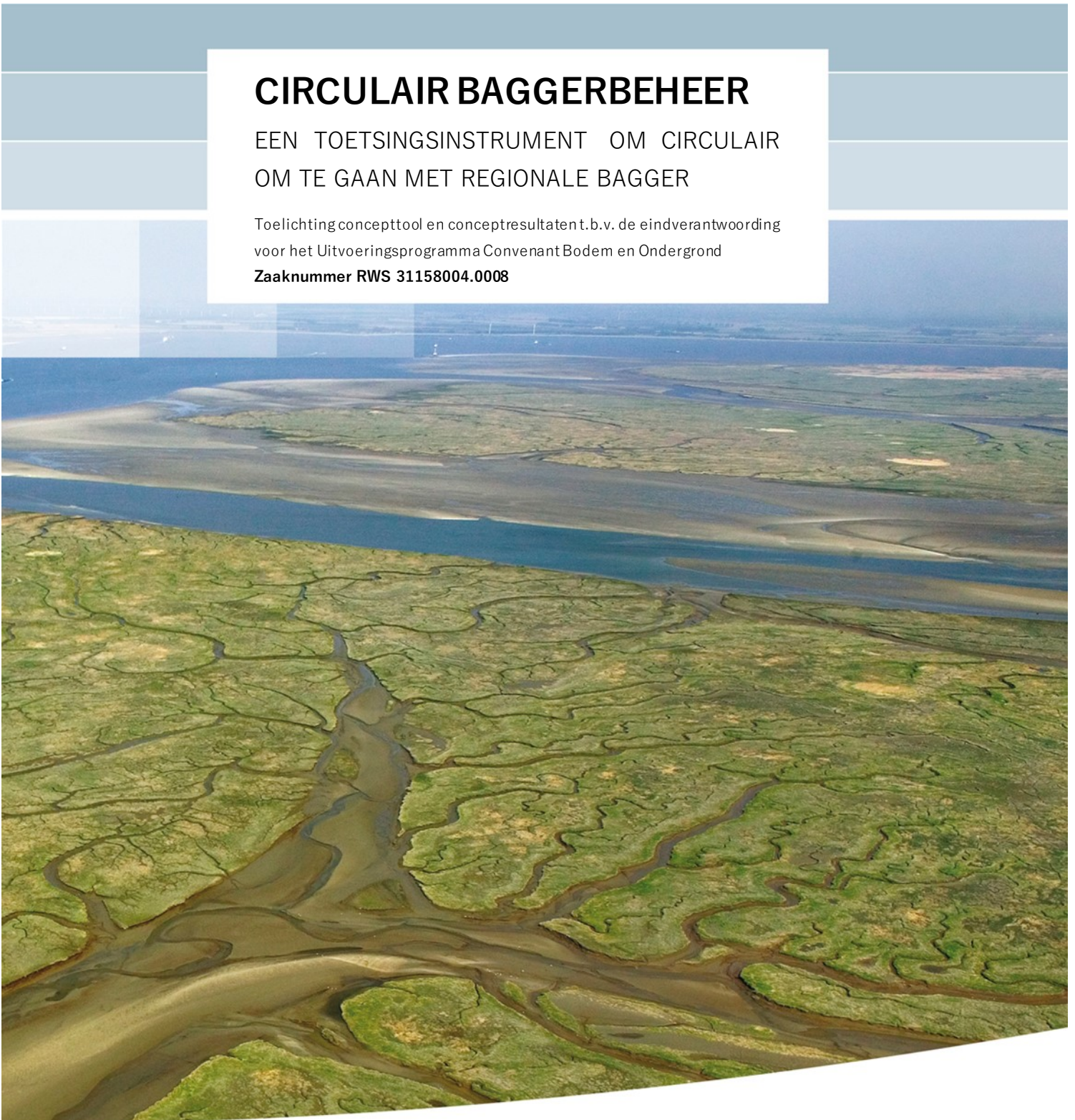


CIRCULAIR BAGGERBEHEER

EEN TOETSINGSINSTRUMENT OM CIRCULAIR
OM TE GAAN MET REGIONALE BAGGER

Toelichting concepttool en conceptresultatent.b.v. de eindverantwoording
voor het Uitvoeringsprogramma Convenant Bodem en Ondergrond

Zaaknummer RWS 31158004.0008



COLOFON

AUTEURS Eldert Besseling, NETICS
 Ewoud Volbeda, NETICS
 Jip Koster, NETICS
 Luca Sittoni, Deltares
 Vincent van Zelst, Deltares

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Fred de Haan, Waternet, (voorzitter)
Rik Kraaij, Hoogheemraadschap van Rijnland
Gerrit Meijerink, Waterschap Vechtstromen
Marc Bethlehem, Waterschap Noorderzijlvest
Margit Akkerman, Waterschap Noorderzijlvest
Peter van Dijk, Waterschap Vallei en Veluwe
Anouska ten Have, Waterschap Rijn en IJssel
Karsten Hopman, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK)
Michelle Talsma, STOWA
Leon Boot, Waterschap Rivierenland

TOELICHTING

Deze rapportage beschrijft het kennisproject de ontwikkeling van de concepttool die wordt ontwikkeld voor het beoordelen van de mate van circulair omgaan met regionale baggerprojecten van de waterschappen. Dit rapport is opgesteld als eindverantwoording ten behoeve van de financiële bijdrage vanuit het Uitvoeringsprogramma Convenant Bodem en Ondergrond. Zaaknummer RWS 31158004.0008

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

‘Baggerspecie verwerkt tot een bouwproduct zou bijvoorbeeld duurzaamheidslabel B kunnen krijgen, verspreidt op het aangrenzende perceel bijvoorbeeld label D. Zo kan op projectniveau de juiste keuze worden gemaakt in het circulair verwerken van baggerspecie’.



Fred de Haan: ‘Verbluffend hoe te komen tot een zuiver objectieve afweging’

Grootste afvalstroom

‘De waterschappen willen in 2050 100 procent circulair werken, maar hoe dat precies vorm moet krijgen is nog onduidelijk’, vertelt Fred de Haan van Waternet en projectleider van een onderzoek naar circulair omgaan met regionale baggerspecie, waaraan UP Kennis een financiële bijdrage heeft geleverd. De opdracht wordt uitgevoerd door NETICS en Deltares. ‘Baggerspecie is een van de grootste afvalstromen bij de waterschappen’, vervolgt hij. ‘Een zo volledig mogelijk hergebruik daarvan draagt bij aan de doelstellingen voor duurzaamheid, vermindering van de CO₂ uitstoot, het oplossen van de stikstofproblematiek etc. In ons onderzoek richten wij ons op de vraag hoe baggerspecie zo circulair (en efficiënt) mogelijk kan worden toegepast in de optiek van een Levenscyclusanalyse (LCA) en maatschappelijke kosten. En meer nog, dat zelfs een bijdrage kan worden geleverd aan de instandhouding en zo mogelijk een verbetering van de biodiversiteit’.

Integrale afweging

De bij het onderzoek betrokken negentien waterschappen en STOWA willen de gehele baggerketen erbij betrekken. ‘Gezamenlijk met de marktpartijen streven we naar het ontwikkelen van toetsingsinstrumenten waarmee waterschappers zelf een beoordeling kunnen maken op welke wijze de baggerspecie kan worden verwerkt. En op een integrale wijze, waarbij de keuzes ook in onderlinge samenhang kunnen worden gemaakt’. Fred de Haan geeft aan dat voor het te ontwikkelen instrumentarium inmiddels ook Rijkswaterstaat belangstelling heeft. ‘De in ontwikkeling zijnde toets koppelt de resultaten bijvoorbeeld ook aan Milieukostenindicator (MKI)-waarde, iets wat nooit eerder op deze schaal voor baggerwerken is gedaan’.

Bij een eerste workshop waarin verschillende ketens van baggeren en verwerkingsmogelijkheden werden vergeleken, participeerden ook deskundigen uit de VS, België, Rijkswaterstaat en het havenbedrijf Rotterdam. Met als resultaat dat het toetsingsinstrument als nuttig wordt ervaren. Bovendien toetst het model niet alleen de toepassing van bagger, maar de hele keten van baggeren tot toepassen. ‘We kregen mee dat we de titel van het onderzoek breder moesten trekken dan alleen circulariteit, met meer duurzaamheidsfacetten – “we deden ons zelf te kort!”’

Verbluffende resultaten

Fred de Haan is zeer enthousiast over de resultaten van het onderzoek. 'Het is verbluffend hoezeer het mogelijk blijkt te kunnen komen tot een zuiver objectieve afweging, waarbij tal van factoren gewogen kunnen worden. Zoals wat er tijdens het baggeren aan methaangas vrijkomt. Ook dat wordt meegenomen in het toetsingskader. Een zo volledig instrumentarium maakt het ook mogelijk om een afweging te maken wanneer het gaat om bijvoorbeeld zwaar verontreinigde baggerspecie. Als de teer eraf druipt moet je niet willen streven naar 100 procent circulariteit, dan is die doelstelling te rigide'. Hij noemde de belangstelling van Rijkswaterstaat al. 'Het toetsingsinstrumentarium kan ook inzetbaar zijn bij de veel grotere werken, zoals de Kleirijperij bij Eems-Dollard'.

Medio 2021 moet het onderzoek worden afgesloten. 'Voor die tijd verzorgen we nog enkele workshops, bijdragen aan congressen en expertmeetings voor alle betrokkenen in de keten. Dat moet leiden tot een breed draagvlak om met het toetsingskader aan de slag te gaan en baggerspecie te gaan labelen, zoals we dat inmiddels ook gewend zijn met het beoordelen van de duurzaamheid van ons woonhuizen.'

Theo van Oeffelt, Expertise Netwerk Bodem en Ondergrond

SAMENVATTING

In dit project wordt onderzocht hoe de waterschappen regionale baggerspecie zo doelmatig mogelijk kunnen toepassen, op een manier die zoveel mogelijk voldoet aan de geformuleerde circulariteitsdoelstellingen.

Circulair hergebruik baggerspecie

De waterschappen hebben concrete circulariteitsdoelstellingen geformuleerd: in 2030 willen ze voor 50 procent circulair zijn en in 2050 zelfs volledig circulair. Hoe deze opgave precies vorm moet krijgen voor baggerspecie is nog niet uitgewerkt. De baggerspecie die vrijkomt bij het onderhoud van watergangen vormt één van de grootste materiaalstromen bij de waterschappen. Het circulair hergebruik van baggerspecie heeft raakvlakken met belangrijke maatschappelijke doelen, zoals duurzaamheid, klimaatverandering (CO₂), stikstofproblematiek, economie (kosten), gebruik van gebiedseigen materiaal. De centrale vraag van de waterschappen is hoe ze hun regionale baggerspecie zo efficiënt mogelijk (kosteneffectief) kunnen toepassen op een manier die zoveel mogelijk voldoet aan de circulariteitsdoelstellingen.

Ontwikkelen toetsingsinstrument

Het hoofddoel van het gehele project is het ontwikkelen, verzamelen, ontsluiten, delen en implementeren van praktisch toepasbare kennis die nodig is bij het beoordelen van circulair omgaan met baggerspecie. Hiervoor wordt een instrument ontwikkeld om te kunnen toetsen op welke wijze bagger zo goed mogelijk circulair kan worden afgezet dan wel verwerkt. Dit instrument wordt getest in drie casussen en daarna geïmplementeerd. De casussen zijn samen met de begeleidingscommissie gekozen en betreft de meest voorkomende baggerketens, vervolgens zijn deze met externe experts besproken. De conclusie is dat de gekozen casussen de range aan vrij toepasbare alsook fysisch en chemisch verontreinigde bagger dekken inclusief een aantal kansrijke toepassingsmogelijkheden. Er wordt een praktische STOWA handreiking opgesteld die achtergronden en handvatten geeft voor het gebruik van het instrument. Het instrument geeft op basis van circulariteitsaspecten en bijbehorende beoordelingsvariabelen aan of een casus meer circulair is dan een andere casus. Een catalogus vormt de database voor de tool waarin bijvoorbeeld gegevens zijn opgenomen van equipment. In de toekomst kan de tool op maat worden gemaakt voor een waterschap of aannemer door de gegevens in de catalogus af te stemmen op het eigen equipment of de lokale markt. Daarnaast is de tool zo gemaakt dat er andere ketens aan kunnen worden toegevoegd, dit dient dan wel door de programmeurs te gebeuren.

Mogelijke knelpunten

Daarnaast laat de studie zien wanneer op basis van de vigerende wet- en regelgeving circulaire toepassing onmogelijk is of wanneer de kosten van circulair toepassen extreem veel hoger worden. Dan kan het gaan om verontreinigde baggerspecie of bijvoorbeeld om het mengen van afvalstoffen. De resultaten van de studie worden gebruikt om bestuur en politiek te informeren. Ook kunnen deze resultaten worden gebruikt om met het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat te overleggen hoe knelpunten kunnen worden opgelost. De tool kan ook worden gebruikt in een aanbestedingstraject, door de opdrachtnemers zoals door de opdrachtgever om verschillende optie te beoordelen m.b.t .circulariteit.

Samenwerking

In 2018 en 2019 hebben NETICS en Deltares, in opdracht van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en begeleid door een werkgroep vanuit de waterschappen, al een eerste verkennend onderzoek uitgevoerd naar het circulair omgaan met regionale baggerspecie. In opdracht van STOWA en begeleid vanuit de waterschappen wordt momenteel inzichtelijk gemaakt wat de klimaat- en milieueffecten zijn van de verschillende ketens van baggeren. Dit levert de basis op om de verschillende ketens met elkaar te vergelijken en te onderbouwen welke ketens het duurzaamst zijn. Dit gezamenlijke project van STOWA en de waterschappen wordt ook uitgevoerd door NETICS en Deltares. Een deelsubsidie is verstrekt door Rijkswaterstaat Leefomgeving (UP). Dit project is ook indirect verbonden met de Strategische Onderzoek activiteiten van Deltares. Deltares werkt daarin aan de ontwikkeling van basiskennis m.b.t. circulariteit van natuurlijke bronnen. Deze kennis is direct gebruikt in dit project.

Planning

Het project is gestart in juni 2020 en zal na de zomer van 2021 worden afgerond.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk– juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de ‘kennis– vragen van morgen’ – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennis– vragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regio– nale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis

NETICS EN DELTARES IN HET KORT

NETICS B.V. 'The Sediment Engineers' is een toonaangevend ingenieurs- en adviesbureau en wordt internationaal gezien als dé expert op het gebied van hergebruik en bouwen met baggerspecie. NETICS heeft al de kennis en kunde in huis om deze normaal gesproken nutteloze modder om te laten zetten tot bouwmaterialen om constructies zoals waterkeringen, dammen en dijken te bouwen en zelfs gebouwen. NETICS schrijft landelijk bekende handboeken over hergebruik van bagger en geeft postacademische cursussen over dit onderwerp. Dagelijks worden door NETICS op deze wijze ecologische constructies berekend, ontwerpen gemaakt en wordt wereldwijd de uitvoering ervan begeleid. Hiermee versterkt NETICS het wereldberoemde imago van Nederland als dé waterbouwers van de wereld en koplopers in circulaire economie. NETICS participeert in netwerken zoals CEDA, SedNet, USAR en Prisma. Als een van de ondertekenaars van het Nationale Grondstoffenakkoord is NETICS actief om hergebruik van baggerspecie binnen een circulaire economie zo snel als mogelijk gemeengoed te maken.

Deltares heeft langdurige nationale en internationale ervaring met sediment onderzoek, engineering en beheren. Sinds 2014 heeft Deltares een toegewijde Soft Sediment (of Bouwen met slib) groep. Deze groep integreert onderzoek en projecten activiteiten in het gebied van: bouwen met slib; hergebruik van bagger; natuur, milieu, estuaria en kust herstellen en beheren; en mijnbouw. Deze groep bestaat uit experts van grondmechanica, vloeistofmechanica, geochemie, ecologie, met uitgebreid historische ervaring en kennis in sediment beheren en sediment-gerelateerd projecten in Nederland en in het buitenland. Experts in deze groep zijn betrokken in: ongoing iconische sediment projecten zoals Kleirijperij, Markerwadden en Suricates; EcoShape en EcoShape Living Lab for Mud; netwerken groeps zoals CEDA, SedNet en PIANC. In al deze activiteiten staat sediment, baggeren en nuttig hergebruikt centraal.

INHOUD

COLOFON	2
TEN GELEIDE	3
SAMENVATTING	5
DE STOWA IN HET KORT	7
NETICS EN DELTARES IN HET KORT	8
INHOUD	9
1 INLEIDING	10
1.1 AANLEIDING	10
1.2 ONDERZOEKSOPZET	10
1.3 PLAN VAN AANPAK MET WERKPAKKETTEN	11
1.4 UITVOERINGSPROGRAMMA (UP) BODEM EN ONDERGROND	11
1.5 LEESWIJZER	12
2 ACHTERGROND THEORIE EN AANPAK	13
2.1 DEFINITIE CIRCULARITEIT	13
2.2 PRAKTIJKCASUSSEN	15
2.3 KETENS	16
2.4 VAN PRAKTIJKCASUSSEN NAAR KETENS	17
2.5 DEFINITIEVE VASTSTELLING KETENS VOOR BEPALING CIRCULARITEITSSCORE	18
2.6 CIRCULARITEITSASPECTEN EN BEOORDELINGSVARIABLEN	19
3 Beoordelingsinstrumentarium	21
3.1 Catalogus en referentie scenario's	22
3.1.1 Catalogus	22
3.1.2 Referentie scenario's	24
3.2 Referentiescores	25
3.2.1 Berekening van de beoordelingsvariabelen	26
4 Toepassing van de tool op drie casussen	27
4.1 OVERZICHT DATABASE RESULTATEN VOOR DRIE TOEPASSINGEN	27
4.2 TOEPASSING VAN DE TOOL OP DRIE CASUSSEN	29
5 Conclusie en vervolgende stappen	31
5.1 Circulariteitstool	31
5.2 verbinding met kennisprojecten up	32
REFERENTIES	34

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Het circulair omgaan met baggerspecie raakt de opgaven van de decentrale overheden zoals waterschappen, andere overheden en beheerders van water. Om een (circulaire) transitie van 'afval naar grondstof' te krijgen zijn concrete doelstellingen nodig. Waterschappen hebben als doelstelling in 2030 voor 50% en in 2050 zelfs 100% circulair te zijn. Hoe deze opgave precies vorm moet krijgen en wat er moet gebeuren is nog niet ingevuld en uitgekristalliseerd. Een van de grootste materiaalstromen binnen de waterschappen is de baggerspecie die vrijkomt bij het onderhoud van watergangen. Circulair hergebruik van deze baggerspecie heeft raakvlakken met duurzaamheid, klimaatverandering (CO₂), stikstofproblematiek, economie (kosten), gebruik van gebiedseigen materiaal, et cetera.

De centrale vraag van de waterschappen is hoe hun regionale baggerspecie zo efficiënt (kost-effectief) mogelijk kan blijven worden toegepast, op een manier die zoveel mogelijk voldoet aan de circulariteitsdoelstellingen.

1.2 ONDERZOEKSOPZET

Het project 'circulair baggerbeheer: circulair omgaan met regionale bagger' is in 2019 gestart met een eerste fase (Fase 1 – (NETICS & Deltares, 2019)). Tijdens Fase 1 werd een definitie van circulariteit van bagger gedefinieerd, een literatuur onderzoek uitgevoerd rond de hergebruikt mogelijkheden ontwikkelde in de afgelopen 30 na 40 jaren en een concept inventarisatie van de volumestromen van bagger binnen de verschillende waterschappen. Fase 1 belichtte de behoefte aan een pseudo-kwantitatief instrumentarium voor circulariteit van baggerprojecten.

Als vervolg op Fase 1 is daarom het doel om in Fase 2 een instrumentarium voor circulair werken met baggerspecie te ontwikkelen in de vorm van een toetsingsinstrument (tool). I inclusief een STOWA-handreiking met de benodigde achtergronden en handvatten. Beide dienen direct na de afronding van Fase 2 door de waterschappen te kunnen worden gebruikt om voor een bepaald project de verschillende toepassingsmogelijkheden te beoordelen op de mate van circulariteit te kunnen beoordelen. Op basis hiervan kan het waterschap een beargumenteerde keuze maken voor de realisatie. Het eindresultaat van Fase 2 is daarmee een instrumentarium wat bestaat uit de oplevering van:

- Een praktisch inzetbare tool;
- Een STOWA-handreiking

Beoogd is om een circulariteitslabel te ontwikkelen. Net zoals een energielabel aangeeft hoe energiezuinig een huis of een apparaat is, zo geeft het circulariteitslabel aan in welke mate de uitvoering voldoet aan circulariteitseisen. De uitkomst van de inzet van het instrumentarium (1. en 2. samen) genereert een dergelijk label. De verschillende alternatieven in de uitvoering van baggerprojecten kunnen worden beoordeeld alsook worden ingericht op de mate van circulariteit, de circulariteitsprestatie. Hierdoor ontstaat inzicht in de mate van circulair gebruik van bagger en kunnen baggerprojecten bij de waterschappen zo circulair als mogelijk of zo circulair als wenselijk worden uitgevoerd.

Fase 2 richt zich specifiek op de waterschappen en hun regionale baggerspecie. De verwachting is dat het instrumentarium in de basis ook bruikbaar is voor andere waterbeheerders zoals Rijkswaterstaat, havenbedrijven, provincies en gemeentes. Een mogelijke Fase 3 van het project kan ingaan op verdere ontwikkeling en nog bredere inzet en impact van het toetsingsinstrumenten de handreiking. Fase 3 is geen onderdeel van deze opdracht.

1.3 PLAN VAN AANPAK MET WERKPAKKETTEN

Om naar het eindresultaat te komen is Fase 2 in 4 werkpakketten (WP) opgedeeld.

WP 1. Ontwikkeling toetsingsinstrument (tool);

WP 2. Het testen van het toetsingsinstrument op 3 casussen;

WP 3. Delen van kennis en ervaringen en implementatie instrumentarium;

WP 4. Opstellen praktische STOWA handreiking.

Dit project koppelt milieu- en klimaatmissies van verschillende toepassingsmethoden aan het opstellen van een concreet, praktisch en snel inzetbaar instrumentarium. Om dit resultaat te bereiken is voor een aanpak gekozen die van grof naar fijn (of eenvoudig naar complex) gaat met daarbij zo veel mogelijk interactie met de waterschappen. Interactie wordt bereikt door frequente vergaderingen met de begeleidingscommissie en middels twee workshops met de eindgebruikers. Een commissie met experts wordt ingeschakeld om het instrumentarium te reviewen.

1.4 UITVOERINGSPROGRAMMA (UP) BODEM EN ONDERGROND

In maart 2015 is het convenant bodem en ondergrond 2016-2020 gesloten tussen het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), het Interprovinciaal Overleg (IPO), de VNG en de Unie van Waterschappen. Doel van het convenant is het bereiken van een duurzaam en efficiënt beheer en gebruik van de bodem en ondergrond in 2020. Het benadrukt het belang van de ontwikkeling, verspreiding en borging van kennis en expertise over de bodem en ondergrond. Daarom zijn afspraken gemaakt over het inrichten en onderhouden van een 'Kennisinfrastructuur Bodem en Ondergrond'. Het Uitvoeringsprogramma (UP) van het Convenant Bodem en Ondergrond 2016-2020 ondersteunt kennisprojecten. Voor dit onderzoek naar circulair gebruik van bagger wordt een bijdrage verkregen vanuit het UP van € 30.000 excl. BTW. Daarmee is werkpakket 2 gefinancierd: Het toetsen van het toetsinstrumentarium op 3 casestudies.

Op basis van een 'lean' werkwijze is de projectgroep vanaf start van het project meteen al met een aantal praktijkcases aan de slag gegaan. Er zijn met de begeleidingscommissie drie representatieve praktijkcases geselecteerd voor circulair werken met bagger. De uitwerking van deze drie cases moet inzicht geven in de

verschillende mogelijkheden en inspiratie en houvast bieden aan professionals die ook circulair willen gaan werken met bagger. Aan de hand van deze cases wordt de circulariteitstoets opgebouwd en getest. Ook wordt voorliggende handreiking op basis van deze cases opgebouwd. De lessons learned zullen leiden tot een advies tot aanscherping van dit type projecten. Binnen WP2 zijn de volgende zaken uitgevoerd die in dit rapport worden toegelicht:

- Selectie van 3 praktijkcases en uitwerken bijbehorende flowcharts
- Toepassen en verbeteren van de tool op basis van alle drie de casussen.
- Verbinding met kennisprojecten UP

1.5 LEESWIJZER

Dit rapport vormt een basis van de definitieve STOWA handreiking en heeft een focus op de processen, de achtergronden en de bouw van de tool. Het rapport geeft tevens de conceptresultaten weer met als doel om de potentie en de vermogen van de tool te laten zien. In het vervolg van het project wordt de tool samen met toekomstige gebruikers getest om vooral de toepasbaarheid in de dagelijkse praktijk in te regelen. Daar waar nodig wordt de tool aangepast en verbeterd. In de definitieve STOWA handreiking worden deze bevindingen, samen met de achterliggend formules en het eindresultaat van de tool beschreven inclusief een toelichting voor het gebruik ervan.

Hoofdstuk 2 → Achtergrond theorie en aanpak

Hoofdstuk 3 → Opzet van de tool

Hoofdstuk 4 → Toepassing van de tool aan drie praktijk casussen

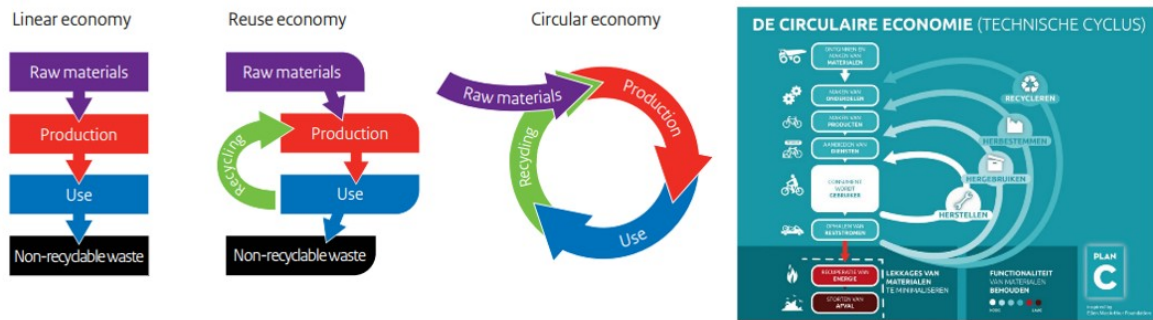
Hoofdstuk 5 → Concept conclusie en vervolgende stappen (inclusief verbinding kennisprojecten UP)

2

ACHTERGROND THEORIE EN AANPAK

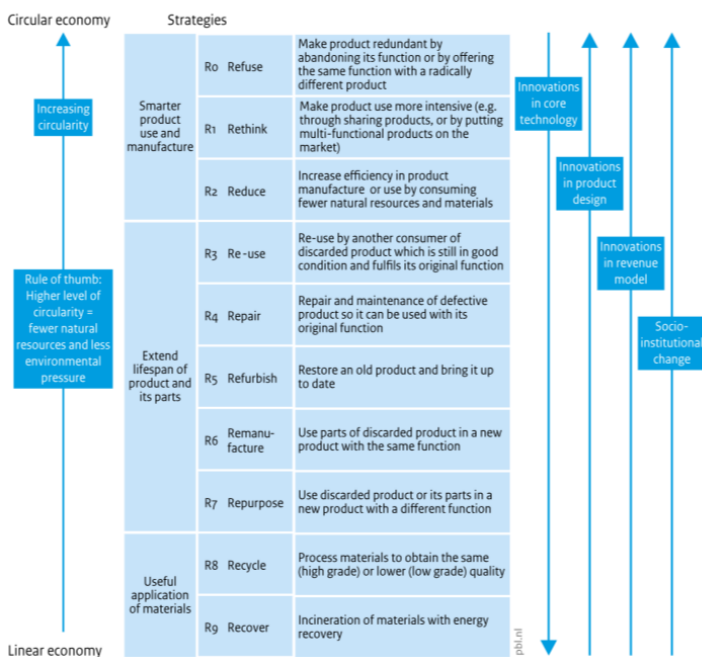
2.1 DEFINITIE CIRCULARITEIT

Bagger verschilt van andere traditionele producten omdat het een natuurlijk bron is. Het ontstaat in de natuur en in de natuur blijft. In de literaturen zijn er vele definities van circulariteit geformuleerd (Kirchherr et al., 2017; Saidani, 2019) (Figuur 2-1 en Figuur 2-2), in de grootste meerderheid van de gevallen zijn ze naar industriële producten ingericht (Potting et al., 2017). Daarnaast wordt baggerspecie (nog) onvoldoende erkend als schaarse stof (Philippo, 2020). Echter wordt wel onderkend dat het hergebruik van sediment goed past bij de filosofie van een circulaire economie (Brils et al., 2014).



Figuur 2-1: Typische voorbeeld van definitie van circulariteit voor een (industriële product) – (Rijksoverheid, 2020 ;Vlaanderen Circulair, 2020)

Circularity strategies within the production chain, in order of priority



Figuur 2-2: Schema van de negen R, vanaf Refuse naar Recover – (RLI, 2015).

In Fase 1 werd een definitie van circulariteit specifiek voor bagger ontwikkeld, gebaseerd aan de definities van de literatuur maar met focus naar de natuurlijke eigenschap van bagger. De definitie is gebaseerd aan drie principes en twee sleutelfactoren (Figuur 2-3):

1. Het maximaliseren van voordelen en waarde (incl. economisch, natuur en sociale);
2. Het maximaliseren van gesloten kringlopen en / of herbruikbaarheid
3. Het minimaliseren van afvalproducties.

De twee sleutelfactoren zijn:

- Zoveel mogelijk volgen van natuur (en natuurlijke processen)
- Zoveel mogelijk samenwerken met partners

In essentie focust circulariteit van bagger zich op zo nuttig en natuurlijk als mogelijk hergebruik in combinatie met een inspanning om zoveel als mogelijk samen te werken.



Figuur 2-3: illustratie van de definitie van circulariteit van bagger ontwikkeld in Fase 1 (NETICS & Deltares, 2019)

De beoordelingstool is ontwikkeld om de circulariteit van baggerprojecten van de waterschappen zoveel als mogelijk kwantitatief te beoordelen en wordt toegepast op (drie) echte daadwerkelijk uitgevoerde projecten (praktijkcasussen). Elke casus bevat een specifieke en representatieve baggerketen die de weg weergeeft die de bagger volgt vanuit het baggeren naar het toepassen. De tool beoordeelt vervolgens de circulariteit van een casus langs de verschillende stappen van de baggerketen volgen bepaalde beoordelingsvariabels. Uitkomst van de beoordelingstool is een beoordeling van de mate van circulariteit die vergelijkbaar is met een energielabel voor bijvoorbeeld huizen (Figuur 2-4).



Figuur 2-4: uitkomst van de beoordelingstool is een beoordeling die vergelijkbaar is met een energielabel.

2.2 PRAKTIJKCASUSSEN

De uitdaging van het bepalen van een score voor circulariteit is de grote variatie van verschillende mogelijkheden om baggerspecie te verwerken en op te werken. De aanpak is om eerst voor veelvoorkomende bekende casussen uit de praktijk een circulariteitscore te bepalen. Later wordt dit uitgebreid met variaties op deze casussen. Voor deze studie zijn vier casussen geselecteerd, zodanig dat de volgende maatgevende variabelen in al casussen voorkomen:

- Fysische en chemische verontreinigingen
- Samenstellingen van zand, fijn en humus
- Representatief voor veelvoorkomende bagger, transport en toepassingsmogelijkheden (en daarbij de beschikbaarheid van gegevens)
- Herkenbaarheid binnen de waterschappen

De vier praktijkcasussen zijn:

Plantageweg Muidergracht

De bagger in Plantage Muidergracht te Amsterdam is deels zodanig verontreinigd dat de bagger niet mag worden toegepast. Er zijn vrij veel gegevens beschikbaar over het materiaal, tot nu toe is het afgevoerd naar een stortplaats. Er is gezocht naar een alternatief voor de vrijgekomen bagger. Tot nu toe zijn er diverse pilots gedraaid met geoblokken die de verontreiniging immobiele maken en het gebruik van dit bagger dus juridisch toestaat. Er is vraag naar meer alternatieven voor het gebruiken en of schoonmaken van verontreinigde bagger.

Loodsrechtse plassen

Waternet, de provincie Noord-Holland, twee gemeenten en het Plassenschap zijn gezamenlijk betrokken bij het baggeren van de Loodsrechtse plassen. In 2017 is een pilot uitgevoerd om van 2 problemen 1 oplossing te maken. De 2 problemen waren: 1) er is teveel slib op de bodem en 2) veel van de oude legakkers die na de veenwinning zijn achtergebleven zijn door erosie verdwenen. De opdracht was om nieuwe legakkers te maken van slib van de bodem. Dat is met succes gelukt na ontwatering van de bagger. Er is eerst een als het ware een soort matras gemaakt van wiepen en daar is vervolgens de bagger ingebracht. Daarbovenop is riet aangebracht, waardoor het nu kan functioneren als natuurvriendelijke oever. Voor opschaling is de vraag wat er gebeurt als je dit op het hele baggerwerk zou toepassen.

HHSK / Damsterdiep

Zowel het project van Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard (HHSK) als het project bij het Damsterdiep in Groningen maken gebruik van een ontwateringsdepot. Na ontwatering is de bagger uitgereden (verspreid over het land), waarna het in de vervolgstap op een andere locatie is toegepast. De bagger is in beide projecten venig en kleiig.

Oranjekanaal

De functie van het oranjekanaal is na veenwinning beperkt tot aanvoer en afvoer van water. Daardoor is jarenlang weinig aan onderhoud gedaan. Nu is er vermoedelijk vanwege kwaliteitsredenen om te baggeren. De bagger is sterk zandig. In een eerder uitgevoerde pilot zijn, in samenwerking met NETICS, bouwblokken gemaakt van bagger. De volgende stappen zijn hierin genomen: 1) het mechanisch baggeren d.m.v. een graafmachine 2) het openluchtdrogen van bagger tot een acceptabel watergehalte 3) het laden en

transporteren van de grond per container naar een dichtbij zijnde toepassingsplaats 4) het chemisch, mechanisch en biologisch stabiliseren van het sediment d.m.v. een combinatie van diverse binders en het mixen van sediment tot baggerblokken 5) het toepassen van baggerblokken als oeverbeschoeiing. Er zijn meerdere toepassingen met deze blokken denkbaar en er is de ambitie om het concept verder te brengen en op te schalen met het oog op duurzaamheid en waardeontwikkeling.

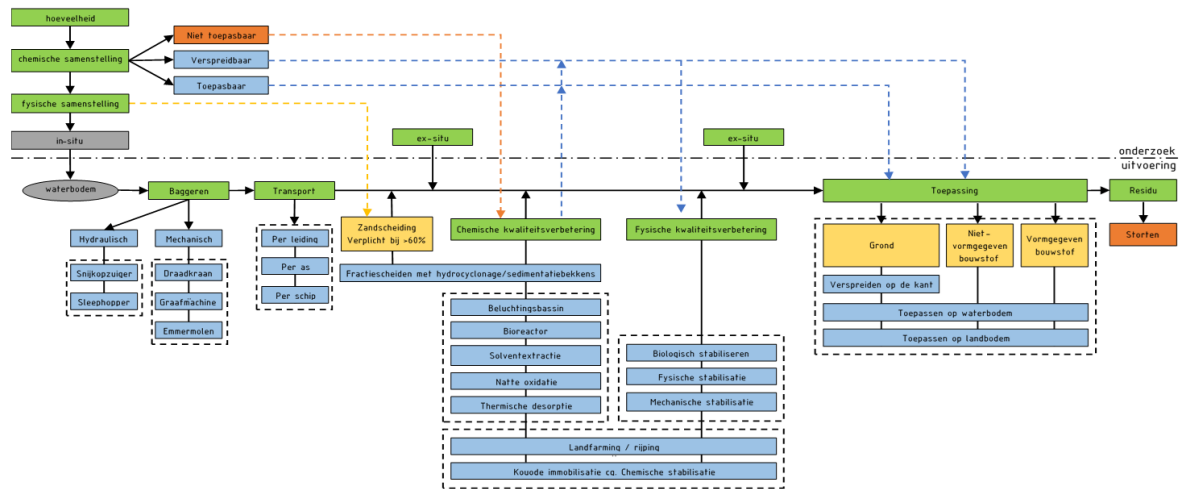
Tabel 2-1: Een overzicht van de praktijkcasussen en de specifieke bijdrage aan de eisen

Casus	Fysisch verontreinigd	Chemisch verontreinigd	Textuur	Toepassing
Plantageweg Muidergracht	Ja	Ja	Klei	Blokken / Verontdiepen
Loosdrechtse plassen	Nee	Ja	Veen	Kant / Weilanddepot
HHSK / Damsterdiep	Nee	Ja	Veen/klei	Doorgangsdepot
Oranjekanaal	Nee	Nee	Zand	Blokken

2.3 KETENS

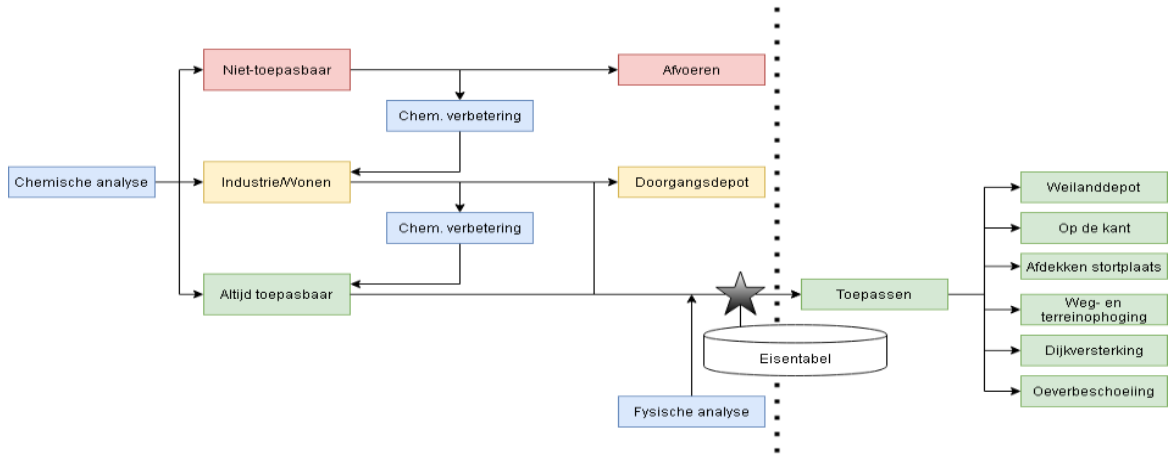
Een keten is een serie van opeenvolgende stappen die vrijkomende baggerspecie doorloopt vanaf het moment van ontgraven tot eindgebruik of stort. De stappen zijn bepaalde technieken en logistieke keuzen om de baggeractiviteit met de toepassingen van bagger te verbinden (bv. van baggeren naar grond of van baggeren naar een bouwstof). Daarnaast dienen de ketens als leidraad voor het toepassen van de beoogde toetsingsmethodiek voor het bepalen van de circulariteit van het hergebruik van baggerspecie.

Het uitgangspunt voor de ketens is Figuur 2-5 uit Fase 1 – circulair baggergebruik van bagger.



Figuur 2-5: Ketenoverzicht

In Fase 2 is het ketenoverzicht teruggebracht naar onderstaand processchema (Figuur 2-6). Het processchema maakt het mogelijk om de processen uit de praktijkcasussen te koppelen aan het ketenoverzicht. Het uitgangspunt in het opwerkingsproces is de chemische kwaliteit van de baggerspecie. Niet-toepasbaar slib kan worden afgevoerd of worden verwerkt. Een voorbeeld van verwerking is zandscheiding. Verspreidbare bagger kan naar een doorgangsdepot worden gebracht en in sommige gevallen direct worden toegepast. Anderzijds kan dit materiaal ook worden toegepast na een bewerkingslag. Indien het slib altijd toepasbaar is, kan het materiaal naar een doorgangsdepot of direct worden toegepast als grond.



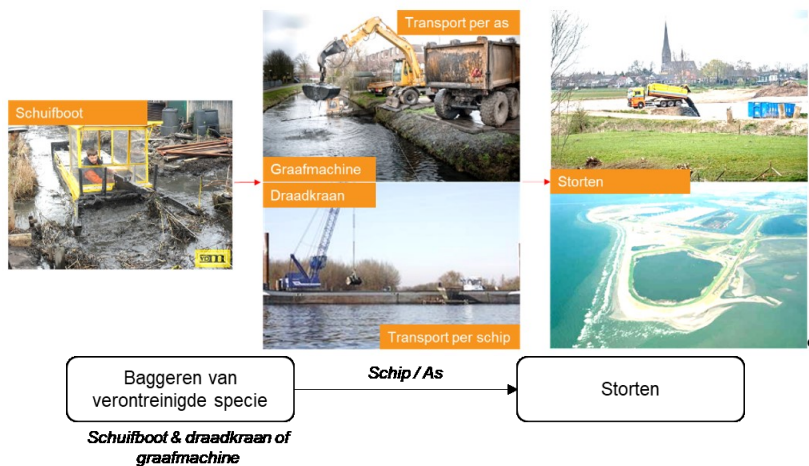
Figuur 2-6: Processchema toepassen van baggerspecie

Het toepassen van vrijkomende baggerslib is sterk afhankelijk van de samenstelling van het materiaal en de eisen vanuit de toepassing. Op basis van een eisentabel wordt er in kaart gebracht welk materiaal voor welke toepassing ingezet kan worden. Anderzijds biedt dit ook handvaten voor de opwerking die gedaan moet worden om aan de eisen van een toepassing te voldoen.

2.4 VAN PRAKTIJKCASUSSEN NAAR KETENS

In samenwerking met de begeleidingscommissie en met de inzet van werkbladen en het processchema zijn de praktijkcasussen vertaald naar vijf overzichtelijke ketens:

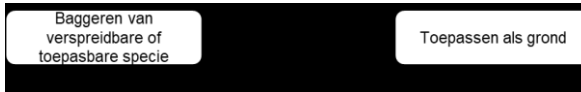
Casus 1 Gebaseerd op praktijkcasus Plantageweg Muidergracht



Casus 2a Gebaseerd op praktijkcasus Loosdrechtse plassen



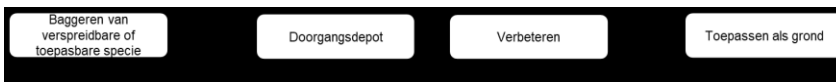
Casus 2b Gebaseerd op praktijkcasus Loosdrechtse plassen



Casus 3 Gebaseerd op praktijkcasus HHNK / Boterdiep

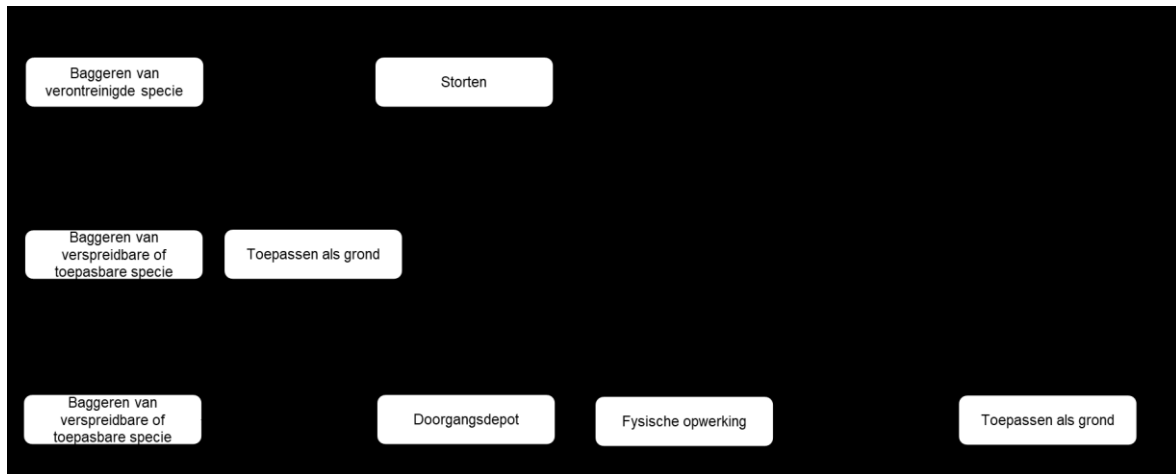


Casus 4 Gebaseerd op praktijkcasus Oranjekanaal



2.5 DEFINITIEVE VASTSTELLING KETENS VOOR BEPALING CIRCULARITEITSSCORE

Drie ketens zijn vastgesteld voor de bepaling van een circulariteitsscore. Deze ketens zijn zo gekozen dat elk los onderdeel ergens in de keten terugkomt. Daarnaast zijn de ketens zo gekozen dat ze dekkend zijn voor de meest voorkomende baggerwerken en bovenal dat de ketens makkelijk uitbreidbaar zijn in de circulariteitstool. In een later stadium kunnen stappen makkelijk aangepast kunnen worden, zodat ze nieuwe ketens vormen. Bijvoorbeeld door in Keten B een snijkopzuiger te gebruiken in plaats van een graafmachine. Of door het materiaal in Keten C toe te passen als dijkversterking na fysische opwerking in plaats van als oeverbescherming.



Figuur 2-7: Definitieve vaststelling unieke ketens

2.6 CIRCULARITEITSASPECTEN EN BEOORDELINGSVARIABLEN

Gebaseerd op de literatuurstudie van Fase 1 is een parallel onderzoek uitgevoerd met betrekking tot circulariteit van natuurlijke bronnen en een uitgebreide discussie met de begeleidingscommissie en de betrokken expertgroep, zijn 4 circulariteitsaspecten en 13 beoordelingsvariabels gedefinieerd.

Elk circulariteitsaspect bevat een aantal beoordelingsvariabelen. Deze variabelen worden gebruikt om de circulariteitsscore daadwerkelijk te kunnen berekenen.

De vier circulariteit aspecten zijn:

- 1) **Kosten en baten:** dit betreft de totale kosten en baten voor een keten (energiekosten, materieel, personeel) maar ook de (verkoop)waarde van de resulterende toepassing. De waarde is met name belangrijk voor circulariteit: slib in een kanaal heeft in de basis veelal een negatieve waarde (het ligt in de weg en kost geld om te weg te halen). Als dezelfde slib verspreid wordt op land of er wordt dijkenslib of een bouwsteen van gemaakt krijgt het een positieve waarde en steunt het dus circulariteit.
- 2) **Volumes:** in de definitie van circulariteit is het sluiten van kringlopen van belang waarbij met name weinig tot geen afval ontstaat. Dit circulariteitsaspect gaat over het maximaliseren van de hoeveelheid hergebruikte bagger. Dat wordt mogelijk gemaakt door verschillende bewezen toepassingsvormen die afhankelijk zijn van de kwaliteit van de slib.
- 3) **Emissies:** terwijl niet expliciet aangegeven in de definitie wordt het verminderen van emissies geassocieerd met circulariteit, ook omdat emissie effectief een afval is. Met emissie wordt meestal broeikasemissies bedoeld, maar dit kan ook generieker zijn. Specifiek aan broeikas in relatie tot bagger, is dat hier niet alleen de traditionele emissie uit machines moeten worden meegenomen, maar ook de emissies uit de bagger zelf, in of buiten het water. Dit is een actueel onderwerp waarnaar een onderzoek loopt waarbij ook Deltares is betrokken. Op dit aspect maken we daarom gebruik van de laatste concept ontwikkelingen en formulering.
- 4) **Systeem impact:** dit aspect is met name gerelateerd aan de sleutelfactoren zoals deze terugkomen in

de definitie van circulariteit van bagger. Het gaat daarbij over het stimuleren van het actief gebruik van natuurlijke processen, het maximaliseren van het samenwerken tussen verschillende partijen en van de toegevoegde waarde aan de maatschappelijke omgeving. Dit aspect is intrinsiek kwalitatief. In een systeem zonder dijk wil het slib door de natuurlijke processen op land of kwelder sedimenteren, bijvoorbeeld ten gevolge van de natuurlijke tijd dynamiek of in het geval van vloed. Een project waarbij deze dynamiek wordt gesimuleerd, bijvoorbeeld door het strategische verspreiden van slib op een kwelder of op land krijgt daarmee een positief score in dit aspect. Dat geldt ook voor de projecten waar het koppelen van vraag en aanbod is maximaal gestimuleerd door bijvoorbeeld verschillende partijen (of tussen verschillende afdelingen in dezelfde partij) die normaal gesproken niet met elkaar interacteren nu wel te laten samenwerken. Bijvoorbeeld een project waar het slib van een havenbedrijf is gebruikt door een waterschap om een dijk te versterken na rijping tot klei. Ten slotte is het van belang om een zo positief als mogelijk effect te hebben naar de maatschappelijke omgeving. Bovenal, circulariteit kan niet een doel zijn dat bereikt wordt ten koste van andere maatschappelijke waarden en andere kringlopen.

Tabel 2-2: Beoordelingsvariabelen gesorteerd per circulariteitsaspect. Elke variabele is aangegeven met de passerende unit. Alle variabelen binnen een aspect hebben dezelfde unit.

<i>Circulariteitsaspecten en beoordelingsvariabelen</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Toelichting</i>
Kosten en baten	EUR	
Kosten	EUR	Kosten
Baten	EUR	Baten/verkoopwaarde
Volumes	m ³	
Volumevermindering	m ³	Volume vermindering per stap
Volume toename	m ³	Bijvoorbeeld binders
Volume hergebruikt	m ³	Hergebruik t.o.v. capaciteit toepassing
Emissies	kg	
Emissies CO ₂ eq	kg	CO ₂ , CO ₂ baten, andere emissies CO ₂ -eq
Emissies NO _x	kg	NO _x (ook samen met CO ₂ ?)
Natuur en milieu	+/-	
Natuur-flow en -ontwikkeling	+/-	Score nabootsing natuur
Impact op het systeem	+/-	Chemisch, ecologisch en sociaal

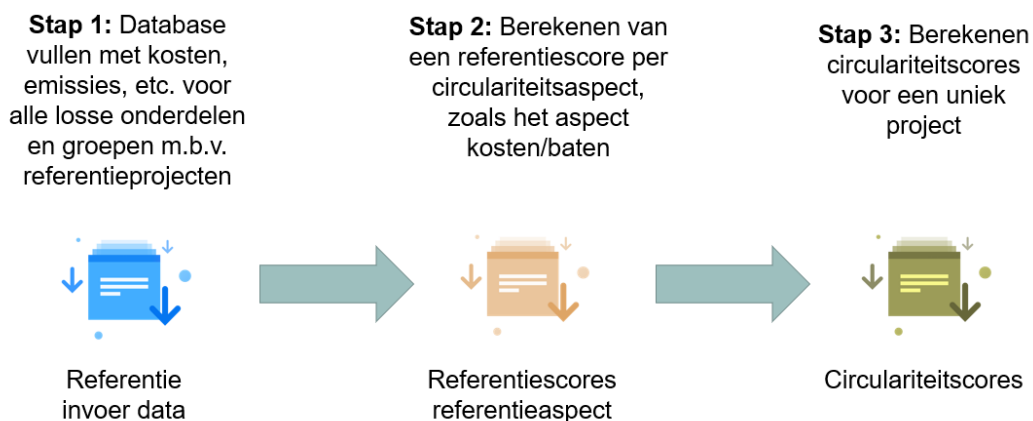
3

Beoordelingsinstrumentarium

Gebruik van het beoordelingsinstrumentarium resulteert in een project specifieke circulariteitscore. Een individuele projectcirculariteitscore kan pas geïnterpreteerd worden als meer of minder circulair als bekend is hoe een projectketen qua circulariteit presteert ten opzichte van een bepaalde maatstaaf. Betreft de maatstaaf kunnen twee kwantitatieve hoofdmethodes worden onderscheiden:

1. De maatstaaf kan in absolute zin worden vastgesteld. In dit geval wordt bijvoorbeeld een (deel)score toegekend aan het beoordelingsaspect *emissies* indien de totale emissies in CO₂-equivalent per kuub baggerspecie in een bepaalde emissie groep valt. Deze emissiegroepen dienen vooraf te worden vastgesteld en zijn onderhevig aan een mate van subjectiviteit.
2. (Deel)scores worden toegekend op basis van de presentatie van een beoordelingsindicator ten opzichte van referentie scenario's. Deze relatieve scoringsmethode vermijdt de noodzaak om een (subjectieve) scoringsmaatstaaf op te stellen, omdat deze indirect wordt bepaald door de positionering van een project ten opzichte van de referentie scenario's.

In dit project is gekozen voor de relatieve scoringsmethode (2). De opbouw en werking van het beoordelingsinstrumentarium wordt uiteengezet op basis van drie stappen (Figuur 3-1). De **eerste stap** omvat de verzameling van referentie data, bepaling van spreiding in de data en bepaling van fictieve referentie scenario's. De **tweede stap** betreft de bepaling van de presentaties voor de vier circulariteitsaspecten en de bijhorende bijdrage aan de circulariteitscore voor de fictieve referentie scenario's. De **derde stap** adresseert de bepaling van een projectscore middels positioneringsbepaling ten opzichte van de fictieve-referentie scenario's database welke is gegenereerd in Stap 1 en 2.



Figuur 3-1 Opzet beoordelingsinstrumentarium

3.1 CATALOGUS EN REFERENTIE SCENARIO'S

De catalogus bevat informatie gerelateerd aan de vier beoordelingsaspecten afkomstig uit referentieprojecten en literatuur. Bijvoorbeeld de totale kosten voor gebruik van een graafmachine of schuifboot uitgedrukt in euro/m³ baggerspecie. Er bestaat geen vaste eenheidsprijs voor deze kosten, omdat er bijvoorbeeld verschillende soorten graafmachines op de markt zijn. Om deze reden is de catalogus gebaseerd op meerdere representatieve waarden welke tezamen een spreiding geven. Op basis van deze spreidingen zijn fictieve-referentie scenario's afgeleid.

3.1.1 Catalogus

De catalogus is een spreadsheet waarin de beoordelingsvariabelen en de verschillende baggerketen (respectievelijk de rijen en de kolommen) worden gerepresenteerd. De vier beoordelingsaspecten (kosten-baten, emissies, volumes en impact of natuur en systeem) zijn onderverdeeld in subgroepen (Hoofdstuk 2). Hier worden de subgroepen verder geïntroduceerd.

Schuifboot



Eenvoudig rechthoekig open vaartuig gelijkend op de maalboot aan de voorzijde voorzien van een driedelig, stevig, fijnmazig 'net' waarmee men bagger bijeen schuift om het vanaf die plaats makkelijker verder te kunnen transporteren. Deze vaartuigen worden over het algemeen gebruikt voor sloten, vaarten en waterpartijen, die niet via bevaarbaar water bereikbaar zijn. Ze worden over de weg getransporteerd en terplaatse te water gelaten. Ze verplaatsen zich door zich aan verankerde kabels voort te trekken. Voor een voldoende sterke aandrijving met schroeven is zowel in het vaartuig, als in het vaarwater geen plaats, bovendien zou een dergelijke aandrijving schade aan oevers en bodem veroorzaken. Zware objecten die zich in het water bevinden, verstoren de arbeid van de veeboot niet. Ze worden eveneens mee geschoven. In eerste instantie gebruikte men voornamelijk de term veeboot. Later is schuifboot en baggerschuifboot in zwang gekomen.

Algemeen			
Brandstofverbruik	10 l/km		
Capaciteit	2000 m ³		
Kosten			
Uitvoering	€ 2.000	Overtzetten	€ 5.000
Huur	€ 10.000		
Emissies			
CO ₂	20 kgCO ₂ /m ³	CO ₂ sediment	5kgCO ₂ /m ³
Nox	5 KgNox/m ³	SO ₂	3 kgSO ₂ /m ³
Volumes			
Volume vermindering	10%		
Natuur en systeem			
Natuurmitatie	6	Ecologie	3
bodem en grondwater	5	Ruimtegebruik/filevern	9
social impact	8		



Referenties
 Baggering baggerwerk schou/Wespetrekvaart
 Bodegraven: Ietrapart
 baggerwerk W16_HOVEN: nordstrand
 Borden: hayman
 Bergse bos: wellington

Kosten-verkoopwaarde

Transport

Kosten ten behoeve van transport van baggerspecie per schip / per as / per leiding van de baggerlocatie naar een tussenlocatie en/of toepassingslocatie. Deze kosten omvatten gebruikerskosten (brandstofverbruik, personeelskosten), materieel afschrijving en mobilisatie kosten. Gemakshalve wordt er gebruik gemaakt van eenheidskostprijzen in euro's per kuub per kilometer.

Bagger- en bouwkosten

Kosten ten behoeve van baggerwerkzaamheden en bouwwerkzaamheden voor de realisatie van een toepassing. Deze kosten omvatten gebruikerskosten (brandstofverbruik, personeelskosten), materieel afschrijving en mobilisatie kosten. Exclusief kosten voor vergunningsaanvragen, veldonderzoek, ontwerpkosten en project organisatie.

Totaalbatan

Toegevoegde waarde horende bij de drie toepassingen: storten, aanbrengen van baggerspecie op de kant en het verwerken van slib als oeverbeschoeiing. Storten, geen batan omdat het storten van baggerspecie wordt gezien als een verliesterm van materiaal.

- Op de kant, batan voortkomend uit het aanbrengen van vruchtbare grond in plaats van mest.
- Oeverbeschoeiing, batan in termen van verkoopwaarde van een gelijkwaardige oplossing. Houten -en betonnen beschoeiingen zijn meegenomen als gelijkwaardige oplossingen.

Emissies

Machinerie

Broeikasgassen welke vrijkomen bij transport (uitgedrukt als CO₂-equivalent in g per ton bagger per kilometer transport).

Broeikasgassen welke vrijkomen tijdens bagger/toepassing werkzaamheden (uitgedrukt in CO₂-equivalent in kg per kuub bagger). Emissies die vrij kunnen komen tijdens het onttrekken van baggerspecie worden buiten beschouwing gelaten, omdat hierover momenteel nog onvoldoende wetenschappelijke basis voor is.

Rippen

Voor een deel van de ketens zal de gebaggerde specie op het droge worden geplaatst op de kant of in een doorgangsdepot. Op deze locatie zal consolidatie plaatsvinden. Tijdens het consolidatie proces zullen de sedimentdeeltjes een dichtere structuur aannemen door een overbelasting op het grondmassief (Terzaghi & Peck, 1967). Een ander proces dat speelt is rijpening. Theoretische begint de rijpeningsfase zodra verdamping van water domineert over het verlagen van het waterpercentage door consolidatie (Vermeulen et al., 2003). Deze fase kan onderverdeeld worden in drie componenten: fysische rijpening (Rijniersce, 1983), chemische rijpening (Pons & Van der Molen, 1973) en biologische rijpening (Pons & Zonneveld, 1965). Tijdens deze fase zullen broeikasgassen vrijkomen door biochemische processen, waarbij organische koolstof wordt omgezet tot CO₂ en CH₄.

De beginsnelheid waarmee de organische koolstof in het grondpakket wordt afgebroken en wordt omgezet tot broeikasgassen is sterk afhankelijk van de leeftijd van de koolstof. In een nutriënt rijke omgeving met veel algengroei is de koolstof doorgaans jong en is daarom relatief gemakkelijk afbreekbaar. Voor veenrijke bodems daarentegen zal de afbraak langzamer verlopen.

De hoeveelheid CO₂ – equivalent welke vrijkomt tijdens dit proces is sterk afhankelijk van de zuurstofhuishouding in het grondpakket. Tijdens aerobe (zuurstofrijke) condities neemt de afbraaksnelheid toe en zal overwegend CO₂ vrijkomen. In anaerobe condities is de afbraaksnelheid lager, maar zal overwegend methaan (CH₄) vrijkomen. Methaan is gelijk aan ongeveer 34 CO₂ equivalent. Factors die bepalend zijn voor aerobe/anaerobe condities zijn gelinkt aan de doorlatendheid van het grondpakket, welke niet constant is in de tijd door bijvoorbeeld consolidatie en scheurvorming. Als (conservatieve) schatting kan worden gesteld dat de toplaag aerob is en de rest van het grondpakket anaerob.

De emissies die vrijkomen tijdens het rippen van de grond wordt in dit project geschat middels aanpassing van de functie bij Middelburg (1989) (in ontwikkeling). Hierin wordt het effect van de hoeveelheid organische koolstof, laagdikte, leeftijd en de blootstellingstijd meegenomen. Andere factoren zoals pH, temperatuur en redoxcondities zijn buiten beschouwing gelaten, omdat dit biochemische modellering vergt. De complexiteit van processen rond gasemissies tijdens rippen is groot en is onderwerp van huidige wetenschappelijk onderzoek. De huidige project aanpak resulteert in een eerste (conservatieve) schatting van de emissie en moet ook zo worden geïnterpreteerd.

Storten Baggerspecie dat onderwater wordt gestort verhoogd de gasemissies in een gebied. De hoeveelheid emissies is sterk afhankelijk van de hoeveelheid organische koolstof in de te storten baggerspecie en de nutriënt huishouding van de stortlocatie. Een rijke nutriënt huishouding zal het storten van extra organisch materiaal kunnen dienen als olie op het vuur, omdat er pre-storten al sprake was van een actief biochemische omgeving. Echter kan dit effect ook uitblijven vanwege een tekort van bijvoorbeeld stikstof of fosfor. Een wetenschappelijke basis voor het schatten van emissies door het storten van baggerspecie is dun. Op het moment van schrijven wordt er gewerkt aan een schattingsmethodiek.

Volumes

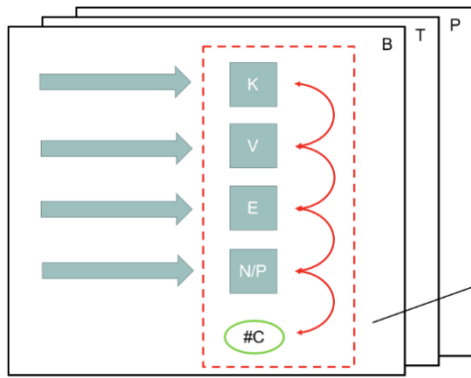
Volumevermindering Verandering van volume tijdens baggerwerkzaamheden en tijdens toepassing. Afhankelijk van de gekozen baggermethodiek kan een deel van gebaggerde materiaal terugvloeien. De subgroep adresseert hiermee de efficiëntie van de baggermethode. Er wordt nog onderzocht in hoeverre er overlap zit in de emissies en kosten voor het baggeren zelf. Een minder efficiënte methode zal duurder zijn per /m³. Verder stellen de verschillende toepassingen eisen aan de kwaliteit van de grond, bijvoorbeeld in termen van compactheid, water percentage. Hierdoor is sprake van een volumevermindering.

Toegevoegd volume Toevoeging van zand ten behoeve van het creëren van de toepassingen: afdekken stortplaats, wegophoging of terreinophoging of een dijk kern. Daarnaast kan het noodzakelijk zijn om binders toe te voegen om een toepassingen te verwezenlijken. Dit laatste gaat voor de opgestelde ketens op voor de oeverbeschoeiing.

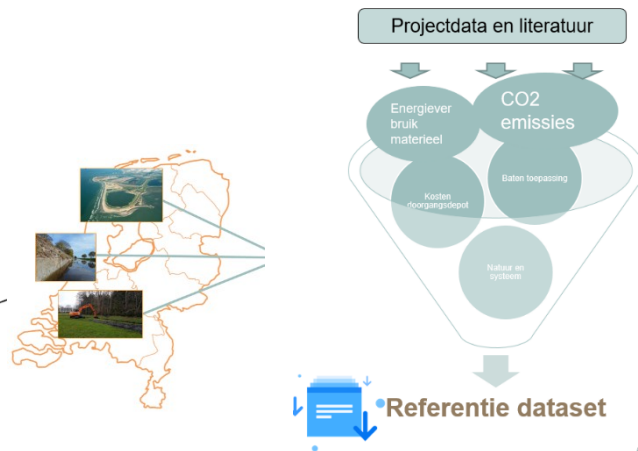
Volume hergebruikt Het percentage van de gebaggerde specie dat kan gebruikt kan worden als een van de toepassingen. Deze subgroep introduceert hier marktwerking tussen het aanbod (gebaggerde materiaal) en de vraag voor een specifieke toepassing.

3.1.2 Referentie scenario's

Voor iedere subgroep is voor de relevante stappen (bijvoorbeeld kosten voor baggeren) een spreiding toegekend op basis van literatuur en expertschatting, dit wordt in de catalogus opgenomen en toegelicht. Deze spreiding is opgesteld om een breed scala aan mogelijke praktijk scenario's te vatten in fictieve referentie scenario's. Een scenario is hier gedefinieerd als een projectsituatie waarin de waardes voor de subgroepen als randvoorwaarden dienen tijdens het maken van een circulaire keuze. De randvoorwaardes (bijvoorbeeld beschikbaar materieel, vraag naar toepassingen) zullen per project verschillen. De concept referentie scenario database bevat ongeveer 1000 fictieve scenario's.



Figuur 3-2 Berekening sub-scores



Figuur 3-3 Opbouw referentie dataset

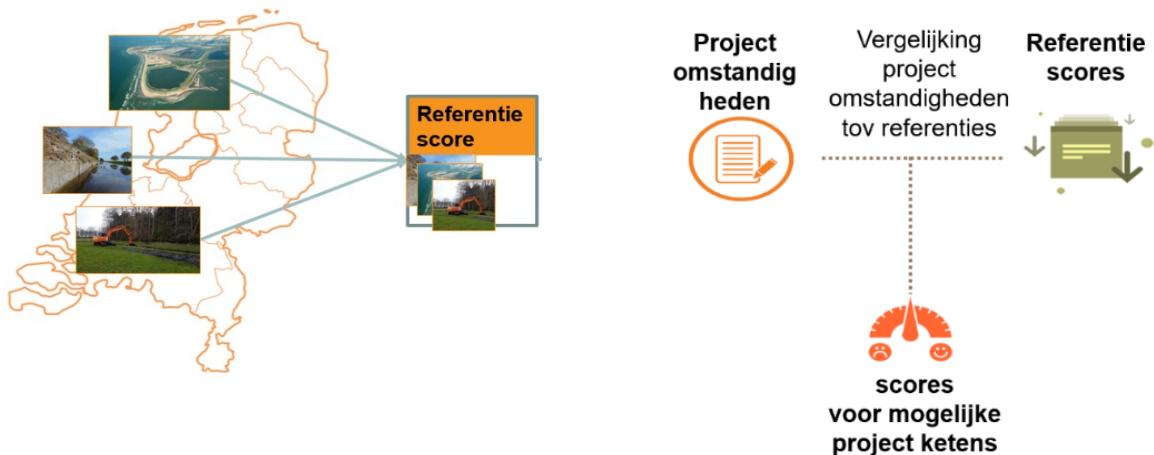
3.2 REFERENTIESCORES

Op basis van de fictieve referentie scenario's zijn referentiecirculariteitscores voor de ketens berekend en toegevoegd aan een database.

Dit beoordelingsproces is opgedeeld in vier stappen:

1. Berekening van de beoordelingsvariabelen
2. Sommatie van beoordelingsvariabelen scores voor elke ketenstap
3. Berekening circulariteitscore per beoordelingsvariabele voor elke ketenstap
4. Berekening circulariteitscore per keten

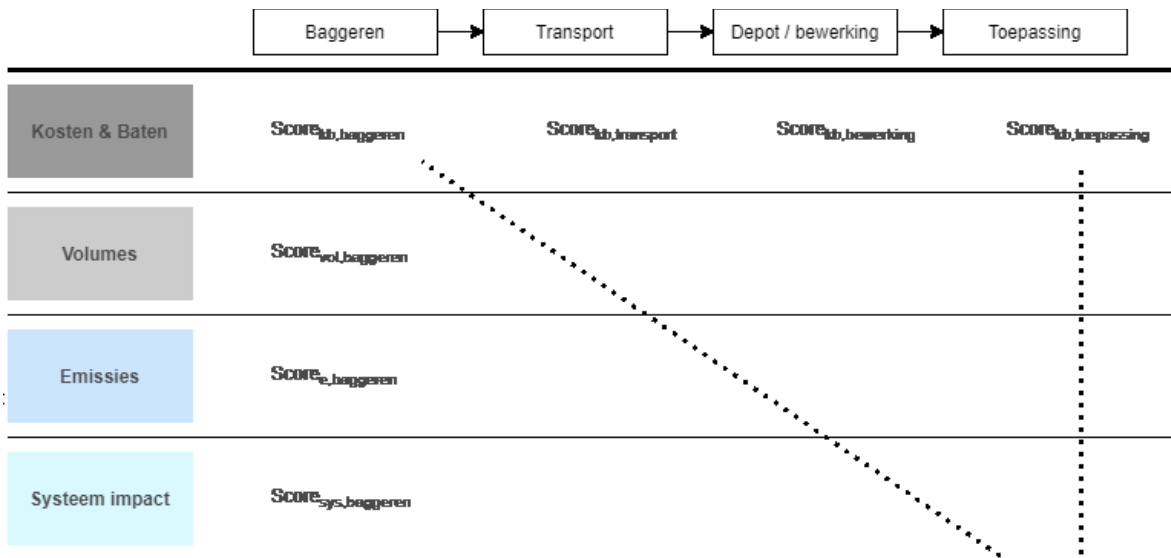
De project circulariteitscore wordt bepaald op basis van het corresponderende referentie scenario en de overige gebruikersinvoer (bijvoorbeeld transportafstanden). Door toepassing van lineaire regressie worden afstand scenario's benaderd buiten de referentiedatabase. Deze methodiek levert per keten scores voor de vier beoordelingsaspecten waaruit de project circulariteitscores worden afgeleid.



Figuur 3-4 Project specifieke circulariteitscores worden bepaald door positionering van het project ten opzichte van de referentie scenario's.

3.2.1 Berekening van de beoordelingsvariabelen

Met als randvoorwaarde de waarden uit de fictieve referentie scenario's zijn voor alle ketens de scores berekend per beoordelingsvariabele. Voor de processtap 'transport' zijn een drietal kilometrages doorgerekend, 15, 30 en 60 kilometer.



Figuur 3-5 Scores matrix met als rijen de beoordelingsaspecten en als kolommen de ketenstappen. De circulariteitscore is eerst horizontaal en dan verticaal berekend.

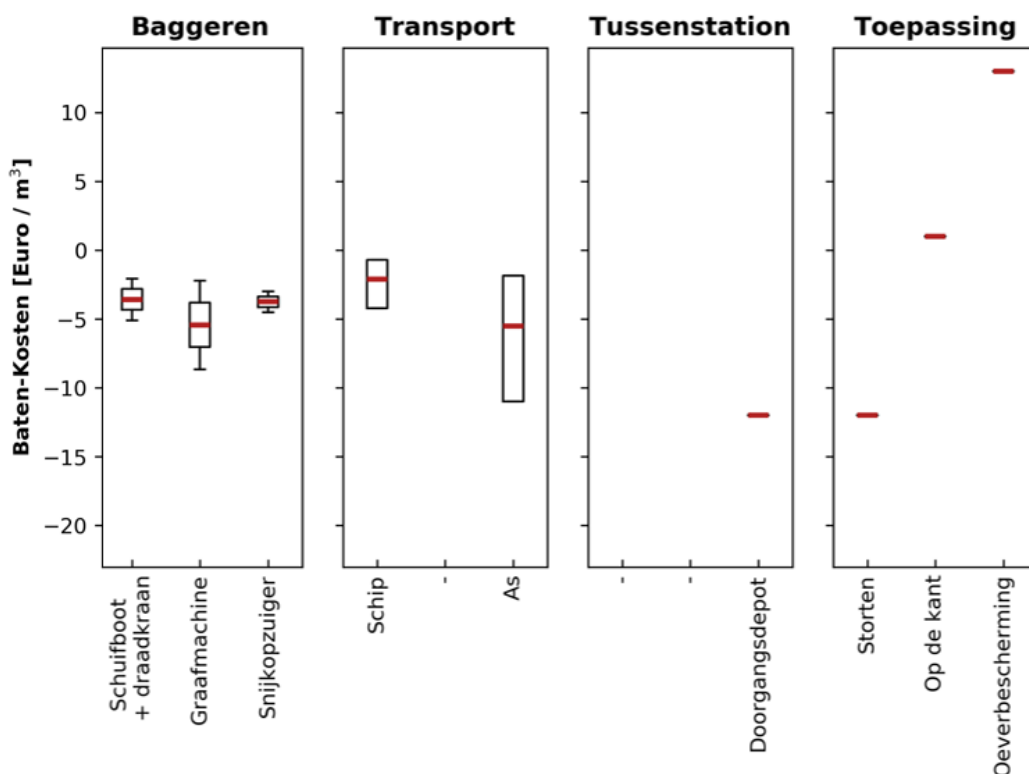
4

Toepassing van de tool op drie casussen

4.1 OVERZICHT DATABASE RESULTATEN VOOR DRIE TOEPASSINGEN

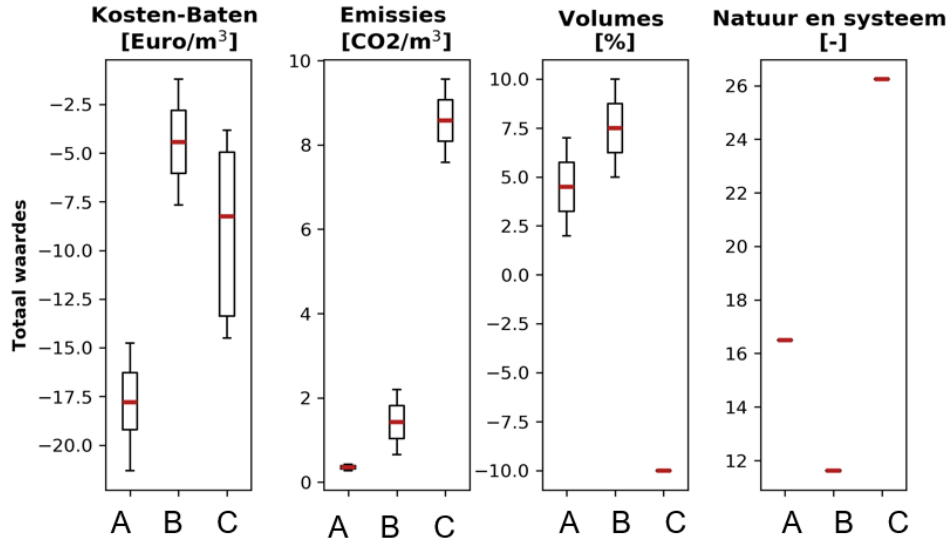
De opgestelde referentie dataset bevat een ruime hoeveelheid aan data over de ketens en hun scoring op de beoordelingsaspecten. Door het meenemen van een spreiding rond de randvoorwaarden is er geen sprake van een keten welke in alle instanties kan worden bestempeld als meest circulair. Net als in de praktijk zal de meest circulaire keuze afhangen van bijvoorbeeld transport afstanden, beschikbaar materieel en vraag naar een bepaalde (hoogwaardige) toepassing. Enkele (voorlopige) resultaten voor de drie casussen (storten, op de kant, oeverbeschoeiing) worden hier getoond.

De referentiedata set geeft inzicht in de bijdrages aan een beoordelingsaspect voor de verschillende ketenstappen (Figuur 4-1). De resultaten in het onderstaande figuur dienen als illustratie en zullen in de ontwikkelingsfase gewijzigd worden op basis van vernieuwde formuleringen en/of invoerdata. Het figuur illustreert dat gemiddeld genomen transport per schip lager kosten met zich meebrengt, maar dat er ook situaties zijn waarin transport per as financieel de meest voordelige keuze is.



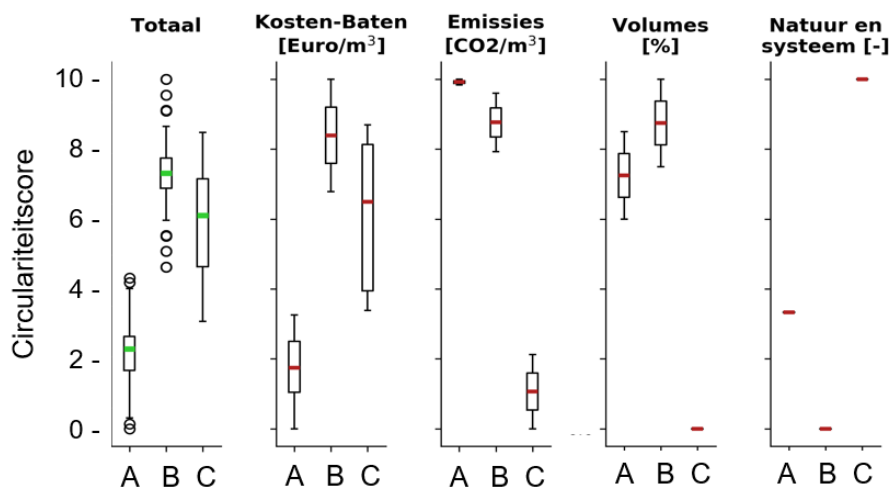
Figuur 4-1 Kosten - verkoopwaarde boxplots per ketenstap (in ontwikkeling)

Het samenvoegen van de bijdrages van de ketenstappen resulteert in de scores per circulariteitsaspect (Figuur 4-2). Uit de voorlopige resultaten kan worden afgeleid dat de kosten voor het storten van baggerspecie nagenoeg altijd duurder is dan verspreiding op de kant of verwerking als oeverbeschoeiing. Op de overige beoordelingsaspecten wordt niet dieper ingegaan, omdat de formuleringen nog in ontwikkeling zijn.



Figuur 4-2 Totaalscores per beoordelingsaspect voor de drie toepassingen. A) storten, B) op de kant, C) oeverbeschoeiing (in ontwikkeling)

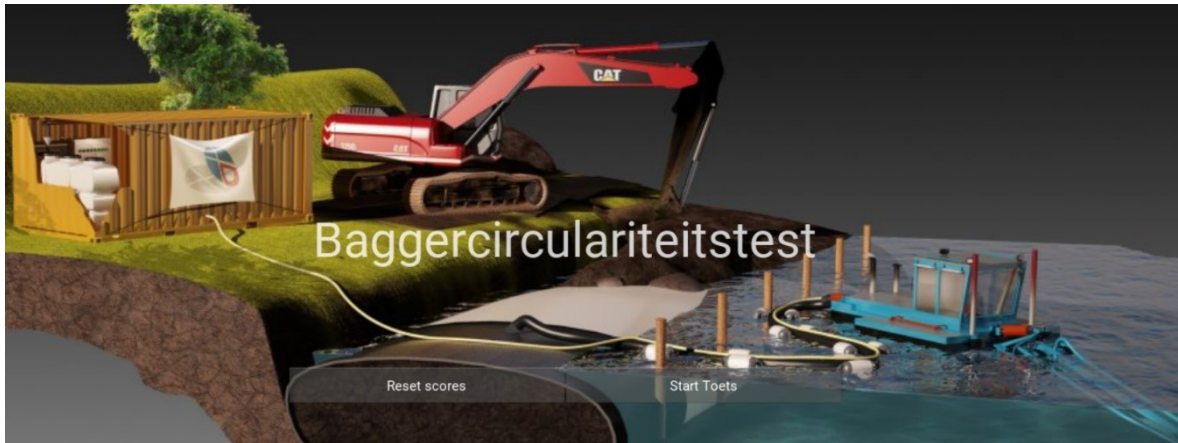
Het schalen van de resultaten zet berekende waarden voor de beoordelingsaspecten op gelijke voet en maakt het mogelijk om een circulariteitsscore te berekenen per keten (Figuur 4-3). De resultaten in dit figuur zijn ter interpretatie weergegeven op een schaal van 0-10, waarbij een hogere score overeenkomt met een meer circulaire keten. De boxplots voor het beoordelingsaspect emissies is in Figuur 4-3 omgedraaid ten opzichte van Figuur 4-2, omdat hoge emissies resulteert in een lagere circulariteitsscore. De voorlopige totaal circulariteitsscores duiden erop dat gemiddeld gezien dat de keten met de toepassing verspreiding op de kant (score 7.3) een circulaire keuze is, gevolgd door de oeverbeschoeiing keten (score 6.1) en als laatste storten (score 2.2), echter wijst de spreiding erop dat deze volgorde niet altijd van toepassing is.



Figuur 4-3 Circulariteitsscores. A) storten, B) op de kant, C) oeverbeschoeiing (in ontwikkeling)

4.2 TOEPASSING VAN DE TOOL OP DRIE CASUSSEN

Tijdens het project wordt een gebruiksvriendelijke tool ontwikkeld waarmee gebruikers inzage krijgen in de mate van circulariteit van mogelijke baggerketens.



Figuur 4-4 Startscherm circulariteitstool voor baggerspecie

De gebruiker doorloopt enkele invoerpagina's alvorens de circulariteitscore per mogelijke keten getoond worden:

1. Invoer volumes en transportafstanden
2. Invoer toepasbaarheid baggerspecie en chemische kwaliteit
3. Invoer fractie verdeling (zand, silt, klei en organische koolstof) en fysische verontreiniging

Invoer 1: Volumes en transportafstanden

Toelichting	Hoeveelheid	<input type="text" value="1000"/> m3
	Afstand naar de dichtstbijzijnde stort	<input type="text" value="Afstand"/> km
	Afstand naar het dichtstbijzijnde doorgangsdepot	<input type="text" value="Afstand"/> km

Invoer 2: Chemische kwaliteit

Toelichting	Niet toepasbaar	<input type="text" value="10"/> %
	Verspreidbaar	<input type="text" value="Percentage"/> %
	Toepasbaar	<input type="text" value="Percentage"/> %

Notificatie over wat wordt meegenomen in de berekening van de score

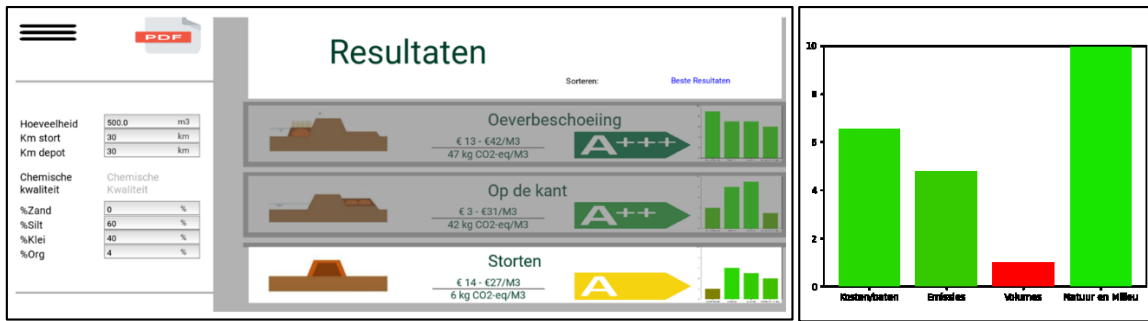
Invoer 3: Fysische samenstelling

Toelichting & visualisatie van de samenstelling in een gronddriehoek	Zand fractie	<input type="text" value="40"/> %
	Silt fractie	<input type="text" value="Fractie"/> %
	Klei fractie	<input type="text" value="Fractie"/> %
	Organische fractie	<input type="text" value="Fractie"/> %
	Fysische verontreiniging?	<input type="text" value="Nee"/>

Invoer 4: Wijzig & Weging circulariteitsaspecten

Hoeveelheid	<input type="text" value="40"/> m3	Invoer	Resultaat 1	Op de kant - A+++
	<input type="text" value="x"/> km		Resultaat 2	Terreinophoging - D
	<input type="text" value="x"/> km		Resultaat 3	
	<input type="text" value="x"/> %		Resultaat 4	
	<input type="text" value="x"/> %	Aspecten Aan- en uitvinken Weging		
<input type="checkbox"/>	Kooldioxide		<input type="text" value="20"/> %	
<input checked="" type="checkbox"/>	Emissies		<input type="text" value="20"/> %	
<input checked="" type="checkbox"/>	Natuur en milieu	<input type="text" value="20"/> %		

De invoer van de toepasbaarheid van de baggerspecie is bepalend voor de mogelijke ketens. In het geval van niet toepasbare specie is enkel storten een mogelijkheid. In dit geval worden de overige toepassingen (oeverbeschoeiing en op de kant) afgeschermd getoond. Voor een willekeurige set specifieke invoerwaarden en catalogus waarden is de hoogste circulariteitscore toegekend aan de keten met een oeverbeschoeiing als toepassing, gevolgd door verspreiding op de kant en storten.



Figuur 4-5 Voorlopige resultaten circulariteitstool voor niet toepasbare baggerspecie

baggevaartuig. Eenvoudig rechthoekig open vaartuig gelijkend op de maalboot aan de voorzijde voorzien van een driedelig, stevig, fijnmazig 'net' waarmee men bagger bijeen schuift om het vanaf die plaats makkelijker verder te kunnen transporteren. Deze vaartuigen worden over het algemeen gebruikt voor sloten, vaarten en waterpartijen, die niet via bevaarbaar water bereikbaar zijn. Ze worden over de weg getransporteerd en terplaats te water gelaten. Ze verplaatsen zich door zich aan verankerde kabels voort te trekken. Voor een voldoende sterke aandrijving met schroeven is zowel in het vaartuig, als in het vaarwater geen plaats, bovendien zou een dergelijke aandrijving schade aan oevers en bodem veroorzaken. Zware objecten die zich in het water bevinden, verstoren de arbeid van de veegboot niet. Ze worden

Algemeen		
Brandstofverbruik	10 l/km	
Capaciteit	2000 m3	

Kosten		
Uitvoering	EUR/m3	€5 Overzetten €5.000
Huur		€ 10.000

Emissies		
CO2	20 kgCO2/m3 CO2 sediment	5kgCO2/m3
Nox	0,1455 SO2	3 kgSO2/m3

Volumens	
Volumevermindering (%)	4,5

Natuur en systeem		
Natuur imitatie	7 Ecologie	3
bodem en grondwater	5 Ruimtegebruik/Fluvarming	7
sociale impact	7	

Referenties	
Begraving baggeoverschous	Wespenriekvaart
Bodegraven	le trapport
baggewerk WJ16, HOVEN	nordstrand
Bordeaux	hoyman
ilinger bos	willington

Figuur 4-6 Catalogus

5

Conclusie en vervolgende stappen

5.1 CIRCULARITEITSTOOL

Op het moment van het opstellen van dit rapport met datum 31 oktober 2020 is een circulariteitstool opgesteld en conceptueel getoetst op drie casussen. Er is ook een kennisdeel en er zijn verscheidene feedbackmomenten georganiseerd met de begeleidingscommissie. Zo is er met een geselecteerde groep van experts nagedacht over de circulariteitsaspecten en beoordelingsvariabelen. De komende maanden wordt de tool extensief getoetst op nauwkeurigheid en gevoeligheid om een zo betrouwbaar mogelijke tool te bereiken, binnen de planning en budget grenzen van Fase 2. De tool zal ook in de komende maanden verder verspreid worden binnen de waterschappen.

De tool is opgezet in een app die zeer gebruiksvriendelijk is. De tool berekent een circulariteitswaarde voor een casus waarbij het resultaat wordt gepresenteerd in de vorm van een energielabel. Drie veel voorkomende ketens van baggerprojecten bij de waterschappen zijn op dit moment in de tool geprogrammeerd. Deze drie unieke ketens zijn gebaseerd op vier praktijkcasussen: de Plantageweg Muidergracht, de Loodsrechtse plassen, HHSK/Damsterdiep en het Oranjekanaal. De drie unieke ketens zijn zo gekozen dat de veel voorkomende baggermethodes, transportmethode en toepassingsvormen ergens terugkomen. Aanpassingen op bepaalde onderdelen van de ketens zijn ook mogelijk. Bijvoorbeeld het gebruikt van de transportmethode van keten A in keten B. De tool dekt op deze manier een groot deel van de belangrijkste processen binnen de waterschappen.

Elke stap van de keten is getoetst aan de hand van 13 beoordelingsvariabelen binnen 4 circulariteitsaspecten. De beoordelingsvariabelen zijn gebaseerd op de bevindingen uit Fase 1 - Onderzoek circulair gebruik van baggerspecie bij de waterschappen (NETICS & Deltares, 2019) en het basisonderzoek van Deltares. Deze zijn samen met de begeleidingscommissie en de experts besproken en vastgesteld.

De bruikbaarheid van de tool en bijbehorende berekeningen worden op dit moment getoetst en gevalideerd. Het resultaat van de rapport is een illustratie van de mogelijkheden van de tool en een inzicht in hoe de resultaten van de tool worden geproduceerd. Een verder aangepast en verbeterd resultaat zal in het STOWA rapport, dat in april 2021 wordt uitgebracht, worden beschreven.

De tool produceert een score per casus. De score van de verschillende ketens is afhankelijk van project specifieke variabelen, zoals de afstand naar de dichtstbijzijnde stort of de keuze voor bepaald materieel in de keten. Daarnaast zijn er nog waarden die per waterschap verschillen, zoals het type materieel dat een waterschap tot haar beschikking heeft en bijbehorende emissies en kosten. De tool rekent een score per circulariteitsaspect om beter te illustreren welke invloed elke aspect heeft op de totale eindscore. Dit biedt ook de mogelijkheid om op een specifiek aspect te acteren om een betere score te bereiken.

Op dit moment is het relatieve belang van elke circulariteitsaspect hetzelfde, echter dit is ook makkelijk door

de gebruiker aan te passen in de tool. Een waterschap kan bijvoorbeeld meer waarde geven aan circulariteitsaspect emissies dan circulariteitsaspect kosten. Het is zelfs mogelijk om een van de vier circulariteitsaspecten uit te zetten om zo deze helemaal niet meer mee te laten tellen in het berekenen van de circulariteitsscore.

In de tool zijn er ook de laatste onderzoeken meegenomen qua broeikas emissie van de bagger zelf (boven op de traditionele emissies van de machines). De onzekerheid rondom deze onderzoeken is zeer hoog. Dit is een onderwerp dat momenteel binnen Deltares in meer detail onderzocht wordt. In de tool is met de meest conservatieve scenario's gerekend. De tool is zo opgebouwd dat het makkelijk is om nieuwe uitkomsten uit onderzoeken aan de tool toe te voegen.

Deze tool wordt op dit moment ook kwalitatief vergeleken met DuboCalc. DuboCalc is een softwaretool die gebruikt wordt om duurzaamheid en milieukosten te berekenen voor grond- en waterwerk ontwerpen. Deze tool wordt binnen Nederland ingezet om milieuaspecten in aanbestedingen te kwantificeren. DuboCalc bevat naast bouwelementen ook een proces, zoals de omzetting van baggerspecie tot klei. Ondanks dat de benaming doet vermoeden dat de DuboCalc tool vergelijkbaar is met de STOWA circulariteitstool, zijn beide instrumenten fundamenteel verschillend. Allereerst focust de STOWA op circulariteit en DuboCalc op duurzaamheid. DuboCalc richt zich op het uitdrukken van milieueffecten in monetaire eenheden en de STOWA circulariteitstool op het berekenen van circulariteitsscores op basis van vier beoordelingsaspecten, waar emissies er één van is. Daarnaast richt de STOWA circulariteitstool zich specifiek op praktijkketens en materieel gebruikelijk voor de waterschappen. Bijvoorbeeld het gebruik van een schuifboot en een draadkraan in plaats van een sleephopperzuiger en specifieke bekende toepassingen bij waterschappen zoals het verspreiden van baggerspecie op de kant. Het rijpen van baggerspecie in een doorgangsdepot is een belangrijke schakel en komt terug in een groot deel van de ketens. Berekeningen voor de emissies die vrijkomen tijdens deze ketenstap zijn vanuit wetenschappelijk oogpunt immatuur. Dit complexe biochemische proces kent vele invloed factoren. Denk aan laagdikte, organisch materiaal, leeftijd, etc. Deze variabelen worden wel allemaal in de STOWA circulariteitstool meegenomen en ontbreken (momenteel) nog in DuboCalc.

In het algemeen is het een zeer gebruikersvriendelijke tool die in staat is om een waardevolle circulariteitsscore te berekenen. De tool berekent de score op basis van veel achtergrond theorie, maar op basis van nauwkeurig afgewogen besluiten en discussies met veel verschillende partijen. De complexiteit van verschillende projecten en bijbehorende variabelen wordt met de tool omgezet en geschematiseerd in overzichtelijke en eenvoudige ketens. Met het kwantificeren van de beoordelingsvariabels worden de scores overzichtelijk gepresenteerd voor verschillende mogelijke toepassingen.

De komende maanden worden toegewijd aan het verbeteren van de tool en het verder toetsen om de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid te verbeteren. Het is onvermijdelijk dat na de afronding van Fase 2 verdere verbeteringen en aanpassingen van de tool gewenst zijn. Het is dan ook de wens van de auteurs dat de tool uiteindelijk in veel verschillende projecten door meerdere partijen gebruikt gaat worden. En indien nodig door te gaan met het verder verbeteren en optimaliseren van de tool.

5.2 VERBINDING MET KENNISPROJECTEN UP

Het project "circulair omgaan met baggerspecie" past bij een aantal thema's uit de Kennisagenda Bodem en Ondergrond, waaronder Efficiënt Gebruik Grondstoffen, Bodemkwaliteitszorg en Omgevingswet.

Gekozen is het project concreter te verbinden met het UP kennisproject “Samen de diepte in – bodem en ondergrond in de Omgevingswet” (SSDI).

Het project SSDI wil decentrale overheden informeren en helpen de gevolgen van de Omgevingswet inzichtelijker te maken. Met de Omgevingswet zegt Nederland de sectorale aanpak van bodem vaarwel: de decentrale overheden hebben een opgave om te gaan voor integraal (organisaties, beleid, uitvoering). De jarenlange focus op chemische bodemkwaliteit heeft ervoor gezorgd dat het bodemwerkveld is losgeraakt van andere kwaliteiten en eigenschappen van de bodem; de relatie met ruimtelijke ordening en bestuurlijke besluitvorming is nog dun.

De vraag is wat decentrale overheden nodig hebben om deze opgave te kunnen realiseren en welke informatie, methodieken, instrumenten of andere tools al beschikbaar zijn? De ondergrondkennis wordt momenteel niet voldoende benut en kennis moet beter toepasbaar gemaakt worden in Nederland.

Koppeling met project Circulair baggerbeheer

Hier raakt het project circulair baggerbeheer het SSDI-project. De opgave die overheden hebben op het gebied van duurzaamheid en circulariteit zijn groot en de ambities zijn hoog, maar onduidelijk is hoe de opgave onder de Ow en het bestaande normenkader vorm moet krijgen. Het project Circulair baggerbeheer ontwikkelt een tool om overheden, adviseurs en aannemers te helpen met keuzes inzake duurzaamheid en circulariteit. Het model is een middel om te helpen de keuze te maken voor de uitvoering van baggerprojecten en het kiezen van de bestemming van de baggerspecie.

Door hergebruik en het circulair toepassen van afvalstoffen wordt voorkomen dat afvalstoffen ontstaan, maar uit het model blijkt dat nuttige toepassingen voor verontreinigde baggerspecie nauwelijks bestaan en voor zover het technisch mogelijk is, niet altijd duurzaam zijn. Dit levert een knelpunt op voor de decentrale overheden. Onder de Ow hebben bevoegde gezagen wel de mogelijkheid om gebiedsgericht beleid inzake verontreinigde grond te ontwikkelen, maar naar verwachting zal het geen afdoende oplossing kunnen bieden voor het toepassen en bestemmen van verontreinigde grond en baggerspecie.

De samenwerking met en de koppeling aan het SSDI-project krijgt op twee manieren vorm. Dat zijn:

1. De resultaten van het project, de rapportage, zal op de website van het UP en op de website van SSDI gepubliceerd worden of doorverwezen worden naar de website van STOWA. Dan wordt alleen een link geplaatst.
2. Samen met SSDI en de provincie Zuid-Holland wordt een bijeenkomst georganiseerd over de maatschappelijke opgave die overheden hebben om circulair te worden bij de taken die zij hebben bij grond- en baggerwerken. De centrale vraag is welke mogelijkheden er wel zijn onder de Ow om verontreinigde bagger en grond te bestemmen en welke onderzoeksvragen er nog zijn om de gewenste doelen te bereiken.

Van belang is alle decentrale overheden in ZH te betrekken. Vanuit een integrale benadering wordt gezocht naar de mogelijkheden van circulariteit van de verontreinigde grond en baggerstromen. Wat moeten de waterschappers en de gemeenten weten om de taken uit te kunnen voeren gezien de maatschappelijke opgaven die er zijn.

In verband met de benodigde voorbereidingen en de CORONA zal deze bijeenkomst plaatsvinden na 1 november 2020, de deadline van de UP-projecten. SSDI heeft reeds afspraken met de Provincie om op onderdelen de samenwerking op het gebied van kennis te verlengen.

REFERENTIES

- Brils, J., de Boer, P., Mulder, J., & de Boer, E. (2014). Reuse of dredged material as a way to tackle societal challenges. *Journal of soils and sediments*, 14(9), 1638-1641.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232.
- Middelburg, J. J. (1989). A simple rate model for organic matter decomposition in marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica acta*, 53(7), 1577-1581.
- NETICS & Deltares. (2019). *Onderzoek circulair gebruik van baggerspecie bij de waterschappen Fase I Rapport*.
- Philippo., M. (2020). Investigation of the state-of-knowledge on the Dutch construction minerals system in the context of the transition towards a more circular economy. MSc. Thesis. Vrije Universiteit Amsterdam.
- Pons, L. J., & Van der Molen, W. H. (1973). Soil genesis under dewatering regimes during 1000 years of polder development. *Soil Science*, 116(3), 228-235.
- Pons, L. J., & Zonneveld, I. S. (1965). Soil ripening and soil classification: Initial soil formation in alluvial deposits and a classification of the resulting soils. *International Institute for Land Reclamation and Improvement*, (13), 1-128. Retrieved from <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/60013>
- Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular economy: measuring innovation in the product chain* (No. 2544). PBL Publishers.
- Rli (2015). Circular economy. From intention to implementation (in Dutch; Rli 2015/03, NUR740, ISBN 978-90-77323-00-7). Council for the Environment and Infrastructure (Rli), The Hague.
- Rijksoverheid (2020). Afbeelding hergebruik producten/grondstoffen. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/werking-circulaire-economie>. Geraadpleegd: Juli 2020
- Rijniersce, K. (1983). *A simulation model for soil ripening in the IJsselmeerpolders (Doctoral dissertation, PhD-thesis)*. Wageningen Agricultural University.
- Saidani, M., Yannou, B., Leroy, Y., Cluzel, F., & Kendall, A. (2019). A taxonomy of circular economy indicators. *Journal of Cleaner Production*, 207, 542-559.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Vermeulen, J., Grotenhuis, T., Joziassse, J., & Rulkens, W. (2003). Ripening of clayey dredged sediments during temporary upland disposal a bioremediation technique. *Journal of Soils and Sediments*, 3(1), 49–59.

Vlaanderen Circulair. (2020). Afbeelding model van circulaire economie. <https://vlaanderen-circulair.be/nl/kennis/wat-is-het>. Geraadpleegd: Juli 2020