

stowa

CIRCULAIR BAGGERBEHEER

EEN TOETSINGSINSTRUMENT VOOR REGIONALE BAGGER



RAPPORT

2021
40

RAPPORT

CIRCULAIR BAGGERBEHEER

EEN TOETSINGSINSTRUMENT VOOR REGIONALE BAGGER

2021

40

ISBN 978.90.5773.951.4



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

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

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

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

TOELICHTING

Deze rapportage beschrijft de ontwikkeling van het toetsingsinstrumentarium voor het beoordelen van de mate van circulair omgaan met baggerspecie in regionale baggerprojecten van de waterschappen. Dit rapport is opgesteld in de vorm van een STOWA-handreiking.

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau bv
STOWA STOWA 2021-40
ISBN 978.90.5773.951.4

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

TOETSINGSINSTRUMENT GEEFT HANDEN EN VOETEN AAN CIRCULAIR BAGGERBEHEER

Waterbeheerders willen zo circulair mogelijk gaan werken, ook in het baggerbeheer. Tot dusver ontbrak het aan een instrument om circulair baggeren in de praktijk handen en voeten te geven. STOWA heeft daarom een toetsinstrument laten ontwikkelen waarmee waterbeheerders kunnen beoordelen op welke manier de baggerspecie het meest circulair kan worden toegepast.

De waterschappen willen in 2050 100 procent circulair werken, echter hóe dat vorm moet krijgen is vaak nog niet duidelijk. Baggerspecie is één van de grootste (afval)stromen bij de waterschappen. Veel bagger wordt nu al opnieuw toegepast, maar het is niet bekend wat het meest circulair is: toepassen op de kant, het verwerken van de bagger tot een bouwproduct of het toepassen in een weilanddepot? Ook zal niet alle verontreinigde baggerspecie nuttig toepasbaar zijn. Er is veel behoefte aan een instrument om de circulariteit van een baggerproject te kunnen toetsen.

STOWA heeft een toetsingsinstrument (tool) laten ontwikkelen waarmee waterbeheerders inzicht kunnen krijgen in de wijze waarop de baggerspecie circulair kan worden toegepast. Op basis van een aantal circulariteitscriteria kan een circulariteitslabel (Label A.B of C) worden toegekend aan de verwerkingswijze van de bagger. Een van de criteria is de uitstoot van broeikasgasemissies. Met het instrument kan op projectniveau inzicht worden verkregen in opties voor het circulair verwerken van de baggerspecie.

Het instrument is op dit moment geschikt voor kleinere, vaak regionale, baggerwerken en de meest gebruikte toepassingen. In een vervolg kan het instrument aangevuld worden met nieuwe baggerketens waaronder grotere baggerwerken, zoals de Kleirijperij bij Eems-Dollard, projecten van het HWBP of andere GWW-projecten. Het opgeleverde instrument kan daarmee uitgroeien tot een standaard tool voor circulair baggerbeheer.

Dit project kwam mede tot stand met een financiële bijdrage van diverse waterschappen en het Uitvoeringsprogramma (UP) Bodem en Ondergrond.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

De waterschappen hebben als doelstelling om in 2030 voor 50% en in 2050 zelfs 100% circulair te zijn. Hoe deze doelstellingen verwezenlijkt gaan worden is nog niet uitgewerkt. Een van de grootste materiaalstromen binnen de waterschappen is de baggerspecie die vrijkomt bij het onderhoud van regionale watergangen. Ten behoeve van het bereiken van de gestelde circulariteitsdoelstellingen is er vraag naar een methodiek om circulariteit van regionale baggerprojecten te beoordelen. Deze methodiek moet allereerst de waterschappen ondersteunen in het zo circulair mogelijk toepassen van regionale baggerspecie. De centrale vraag in dit onderzoek is hoe regionale baggerspecie het best circulair kan worden beheerd met als doel het behalen van de beoogde circulariteitsdoelstellingen.

Dit project beoogt het opzetten van een toetsingsinstrument om de circulariteit van baggerspecie te kwantificeren. Het project omvat meerdere fases. Fase II (huidige rapport) bouwt voort op Fase I waarin een definitie voor circulariteit van bagger is ontwikkeld. Tijdens Fase I is een overzicht opgesteld van de kennisleemten en kwam er naar voren dat er behoefte is aan een kwantitatief instrumentarium ten behoeve van de beoordeling van circulariteit van regionale baggerprojecten. In Fase II is dit instrumentarium ontwikkeld op basis van de definitie uit Fase I. Deze ontwikkeling is gezamenlijk uitgevoerd door NETICS en Deltares in opdracht van de STOWA en met bijdrage van Rijkswaterstaat Leefomgeving (UP). Het ontwikkelingstraject is begeleid door een begeleidingscommissie met leden van de STOWA (de Waterschappen). Daarnaast heeft het projectteam drie expertsessies georganiseerd met een panel van nationale en internationale experts op het gebied van circulariteit en baggerspecie.

Uitgangspunt van de ontwikkeling van het instrument was de definitie van circulariteit van baggerspecie uit Fase I. Er bestaan tientallen definities van circulariteit in de literatuur, echter die zijn overwegend ontwikkeld voor industriële producten en daardoor niet direct toepasbaar op natuurlijke materialen, zoals baggerspecie. Met uitgangspunten uit de literatuur, is in Fase I circulariteit van bagger gedefinieerd op basis van drie principes – 1. maximaliseren van waarde, 2. minimaliseren van afval, 3. maximaliseren van gesloten kringlopen – en twee sleutelfactoren – a. werken met de natuur, b. samenwerking tussen partijen. Het instrumentarium ontwikkeld in Fase II beoordeelt circulariteit van baggerspecie over de gehele baggerketen (van baggeren tot en met toepassen). De huidige versie van het instrument bevat vier toepassingsvormen die zijn afgeleid uit vier praktijkcasussen: 1) Plantageweg Muidergracht (storten van verontreinigde baggerspecie), 2) Loosdrechtse Plassen (toepassing verspreiding van baggerspecie op de kant), 3) Damsterdiep/ projecten van HHNK (verwerking van baggerspecie in een dijkversterking) en 4) Oranjekanaal (toepassen van baggerspecie in oeverblokken). Deze toepassingen zijn representatief voor de regionale baggerwerken en bevatten daarnaast verschillende milieuhygiënische kwaliteitsklassen volgens het besluit bodemkwaliteit. De baggerketens worden beoordeeld met vier circulariteitsaspecten die zijn gebaseerd op de definitie uit Fase I: 1) Kosten en Waarden, 2) Volumes, 3) Emissies en 4) Natuur en Systeem. Aspecten 1-3 worden kwantitatief beoordeeld in achtereenvolgend EUR, m³ en kg CO₂-eq. Het vierde aspect is kwalitatief. Er is een database ontwikkeld van meer dan 250.000 fictieve baggerketens die een variatie aan projectkeuzes dekken, bijvoorbeeld verschillende transportafstanden en materieelinzet. Deze baggerketens zijn in ketenstappen opgedeeld en per ketenstap (baggeren, transport, toepassen) beoordeeld. Iedere baggerketen heeft een circulariteitslabel (D t/m A⁺⁺⁺) gekregen op basis van de prestatie van iedere individuele keten ten opzichte van de gehele database.

Een eerste versie van het beoordelingsinstrument is beschikbaar via een *.exe-bestand. In het programma krijgt de gebruiker na invoer van projectgegevens (bijvoorbeeld baggerspecie-eigenschappen en transportafstanden) inzicht in de meest circulaire toepassingsvorm voor het betreffende project. Verder heeft de gebruiker de mogelijkheid om de weging van de circulariteitsaspecten ten opzichte van elkaar aan te passen. Aan het instrument is een catalogus verbonden (Excel-bestand) waarin de eigenschappen van baggermaterieel, transportopties en toepassingen staan. De gebruiker heeft de mogelijkheid om deze waarden aan te passen om inzicht te krijgen in het effect van bijvoorbeeld elektrisch materieel zonder emissies.

De beoordeling van de meer dan 250.000 fictieve baggerketens maakt het mogelijk om inzicht te geven in de meest circulaire toepassingsvorm(en). De resultaten laten zien dat de toepassingsvorm 'Op de kant' gemiddeld wordt gekenmerkt als meest circulair. Dit komt omdat dit een korte keten is waarbij de baggerspecie nabij de baggerlocatie wordt verspreid. De opwerking van baggerspecie tot 'Oeverblokken' staat op een tweede plaats. Deze hoogwaardigere oplossing is onderdeel van een langere keten en is duurder in uitvoering, echter wordt door de opwerking organische stof vastgelegd. Dit zorgt voor een hoge score op het circulariteitsaspect 'Emissies'. Toepassing van baggerspecie in een 'Dijkversterking' staat gemiddelde op de derde plaats. Dit is wederom een hoogwaardigere oplossing die onderdeel is van een langere keten. De hoogwaardigere toepassingsvormen zijn voornamelijk interessant als er in de regio behoefte is aan dergelijke toepassingen. Een hoogwaardigere oplossing is doorgaans duurder, maar bespaart ook geld en emissies doordat productie en vervoer elders vervalft. Het gebruik van gebiedseigen materiaal in lokale projecten wordt als circulair aangemerkt. Het storten van verontreinigde bagger in daarvoor aangewezen locaties is het minst circulair. Hierbij moet wel de kanttkening worden gemaakt dat door deze toepassingsvorm ongecontroleerde verspreiding van verontreinigingen wordt voorkomen.

De gevoeligheidsanalyse laat zien dat de kosten in de regionale baggerketens vooral worden gemaakt in de transportstappen en in de uitvoeringsstap. De invloed van de baggermaterieelkeuze is klein (-2,3% tot +1,6% verschil in kosten). In de transportstappen heeft voornamelijk de transportafstand de meeste invloed op de kosten. In de ontwikkelde methodiek wordt voor het circulariteitsaspect Emissies ook gerekend met emissies welke vrijkomen door biochemische processen tijdens consolidatie en rijping van baggerspecie. De hoeveelheid CO₂-equivalent die vrijkomt is sterk afhankelijk van de zuurstofhuishouding van 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 ongeveer gelijk aan 34 CO₂-equivalent. De gehanteerde afbraakformulering van de aanwezige organische stof geeft een eerste schatting van emissies uit baggerspecie. De resultaten laten zien dat de emissies uit sediment gemiddeld mogelijk goed zijn voor meer dan 90% van de emissies in de baggerketens. De hoeveelheid emissies uit sediment is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden (leeftijd organisch materiaal, percentage organische stof). Hierbij moet wel worden gerealiseerd dat deze emissies niet instantaan vrijkomen, maar over een periode van meer dan tien jaar. Verhoogde emissies door woeling van de bodem door baggeractiviteiten is niet meegenomen vanwege de geringe wetenschappelijke basis. Emissies uit sediment zijn momenteel nog onderwerp van lopend onderzoek en verder onderzoek wordt aanbevolen. Hierdoor zijn de emissieresultaten conceptueel en kan de gebruiker van het instrument emissies uit sediment aan/uit zetten. De score op het aspect Volumes is voornamelijk afhankelijk van de vraag naar een (hoogwaardige) toepassingsvorm en van het benodigde percentage toeslagstoffen (bijvoorbeeld binders). Scoring van de baggerketens op het aspect Natuur en Systeem is gebaseerd op

enquêtevragen aan de begeleidingscommissie. Idealiter wordt de impact van de baggerketen op het systeem (natuurlijk, technisch, economisch) inzichtelijk gemaakt door scores toe te kennen aan (ecosysteem)diensten. Op dit moment, bestaat er nog geen eenduidige methodiek om dit inzichtelijk te maken en vervolgens te scoren. Alvorens een degelijke methodiek te ontwikkelen is het belangrijk om overeenstemming te hebben met de betrokken partijen over de reikwijdte van de definitie van circulair baggerbeheer.

Het instrument is ontwikkeld onder de supervisie van de begeleidingscommissie. Alle aspecten van het instrument zoals de circulariteitsaspecten, de parameters, de casussen en de resultaten zijn met deze commissie besproken en afgestemd. Ook zijn deze aspecten met de expertcommissie doorgenomen. Aansluitend is er een workshop georganiseerd voor de waterschappen, waarin de producten van Fase II zijn geleverd en de kennis is overdragen. De producten van Fase II zijn: dit rapport; een bèta-versie van het toetsingsinstrumentarium voor circulair baggerbeheer voor vier ketens (in lijn met de praktijkcasussen), geleverd onder de bèta-versie voorwaarden van Deltares; de handleiding voor het gebruik van het instrument.

Fase II richtte zich op regionale baggerprojecten van de waterschappen en laat daardoor grotere baggerwerken en zoute bagger buiten beschouwing. Deze aspecten tezamen met de toevoeging van extra toepassingsvormen kunnen onderdeel zijn van Fase III. Het instrument dient in huidige vorm als praktisch inzetbaar instrument dat kan worden toegepast in projectvoorbereidingen en evaluaties. Om toe te werken naar een meer circulaire vorm van baggerbeheer is het van belang dat het instrument in de praktijk wordt ingezet. Op basis van de praktijkbevindingen kan het instrument worden verbeterd en uitgebreid. Formele inzet, bijvoorbeeld in aanbestedingsprocedures, is in de toekomst mogelijk. Afstemming over de positionering van het instrument t.o.v. van andere instrumenten zoals DuboCalc vindt reeds plaats. Daarnaast dient er eerst overeenstemming te zijn over de gehanteerde basiswaarden en dient er een formele bindende richtlijn te worden opgezet.

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 'kennisvragen 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 kennisvragen 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 regionale 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 R&D-bureau 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 bagger als afvalstroom om te laten zetten tot bouwstof, grondstof of bouwelement om constructies zoals waterkeringen, dammen en dijken te bouwen en zelfs gebouwen mee te ontwerpen. NETICS schrijft landelijk bekende handboeken over hergebruik van bagger en geeft wereldwijd trainingen over dit onderwerp. Dagelijks worden door NETICS op deze wijze ecologische constructies berekend, ontwerpen gemaakt en wordt wereldwijd de uitvoering ervan begeleid. Ook wordt vanuit het R&D-programma van NETICS constant nieuwe toepassingen en (verwerkings)ketens uitgedacht. 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 sedimentonderzoek, engineering en beheer. Sinds 2014 heeft Deltares een toegewijde Soft Sediment (of Bouwen met slib) groep. Deze groep integreert onderzoek en projecten-activiteiten op het gebied van: bouwen met slib; hergebruik van bagger; natuur, milieu, estuaria en kustherstel en beheer; en mijnbouw. Deze groep bestaat uit experts van grondmechanica, vloeistofmechanica, geochemie, ecologie met uitgebreide historische ervaring met en kennis van sediment beheer en sediment-gerelateerd projecten in Nederland en in het buitenland. Experts in deze groep zijn betrokken bij: lopende iconische sedimentprojecten zoals de Kleirijperij, Markerwadden en Suricates; EcoShape Living Lab for Mud; netwerken zoals CEDA, SedNet en PIANC. In al deze activiteiten staat sediment, baggeren en nuttig hergebruikt centraal.

INHOUD

COLOFON

TEN GELEIDE

SAMENVATTING

DE STOWA IN HET KORT

NETICS EN DELTARESINHETKORT

INHOUD

1	INLEIDING	1
1.1	AANLEIDING.....	1
1.2	ONDERZOEKSOPZET	1
1.3	PLAN VAN AANPAK MET WERKPAKKETTEN	2
1.4	VERBINDING MET BESTAANDE INSTRUMENTEN - DUBOCALC.....	2
1.5	PRODUCTEN	3
1.6	LEESWIJZER	3
2	ACHTERGROND THEORIE EN AANPAK.....	4
2.1	PRAKTIJKCASUSSEN	4
2.2	KETENS	5
2.2.1	EISEN AAN DE SAMENSTELLING VAN BAGGER	5
2.2.2	KETENSTAPPEN	9
2.2.3	VASTSTELLEN KETENS.....	11
2.3	BEOORDELINGSKADER VOOR CIRCULARITEIT	12
2.3.1	DEFINITIE CIRCULARITEIT	12
2.3.2	CIRCULARITEITSASPECTEN.....	14
2.3.3	BEOORDELINGSVARIABLEN	15
3	TOETSINGSINSTRUMENTARIUM	16
3.1	FORMULERING BEOORDELINGSKADER.....	17
3.1.1	BEOORDELING KOSTEN EN WAARDEN	17
3.1.2	BEOORDELING EMISSIES	19
3.1.3	BEOORDELING VOLUMES	21
3.1.4	BEOORDELING NATUUR EN SYSTEEM	21
3.2	MAATSTAF CIRCULAIR BAGGERBEHEER	22
3.2.1	REFERENTIE SCENARIO'S.....	22

3.2.2	BEPALING VAN DE CIRCULARITEITSSCORES	23
3.3	PROJECT-SPECIFIEKE CIRCULARITEITSScores	24
4	HET GEBRUIK VAN HET TOETSINGSINSTRUMENTARIUM	25
4.1	INVOER VAN DE TOOL.....	25
4.1.1	TECHNISCHE VEREISTEN	26
4.1.2	GERICHTE AANPASSING TYPE GEBRUIKER, RANDVOORWAARDEN EN VOORBEREIDING 26	
4.1.3	BASISVARIABLEN CASUS	27
4.1.4	BESCHIKBARE TOEPASSINGEN	29
4.2	OUTPUT VAN DE TOOL	29
4.3	AANPASSING VAN DE CATALOGUS.....	31
5	RESULTATEN.....	32
5.1	OVERZICHT DATABASE RESULTATEN VOOR VIER TOEPASSINGEN	32
5.2	GEVOELIGHEIDSANALYSE	34
5.2.1	KOSTEN-WAARDE: AANDEEL KETENSTAPPEN.....	34
5.2.2	EMISSIES: AANDEEL KETENSTAPPEN	35
5.2.3	INVLOED KEUZE BAGGERMATERIEEL	35
5.2.4	INVLOED VAN TRANSPORTSTAPPEN.....	37
5.2.5	INVLOED VAN TRANSPORTAFSTANDEN	37
5.2.6	INVLOED VAN CATALOGUSWAARDES	37
5.2.7	INVLOED VOLUME HERGEBRUIKT	37
5.2.8	INVLOEDFACTOREN EMISSIES UIT SEDIMENT	38
6	DISCUSSIE.....	39
6.1	TOEPASSINGSKADER TOETSINGSINSTRUMENT (T.B.V. CASUSSEN EN KETENS)	39
6.2	BEOORDELINGSKADER.....	40
6.3	OVERWEGINGEN IN VERGELIJKING MET DUBOCALC	42
6.4	AANDACHTSPUNTEN	42
6.5	TOEKOMST VAN HET TOETSINGSINSTRUMENTARIUM	43
7	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	44
	REFERENTIES.....	46
	BIJLAGEN.....	48
A.	PRAKTIJKCASUSSEN	48
B.	EISEN TOEPASSINGEN RIJKSWATERSTAAT	50
C.	WERKBLADEN KETENS.....	52

D.	KETENSTAPPEN.....	61
E.	VAN CASUSSEN NAAR KETENS	66
F.	AANPASBARE CATALOGUSWAARDEN	69
G.	BASISWAARDEN REFERENTIESCENARIO'S EN (BRON)VERANTWOORDING.....	70
H.	BAGGERKETEN VARIATIES TOOL.....	74
I.	EMISSIES UIT SEDIMENT	76
J.	PAGINA'S VAN DE TOOL.....	77
K.	GEVOELIGHEIDSANALYSE RESULTATEN	81
L.	KENNISDISSEMINATIE	85

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Het circulair omgaan met baggerspecie raakt de grote opgaven van de decentrale overheden zoals waterschappen, andere overheden en overige waterbeheerders. Om een (circulaire) transitie van 'afval naar grondstof' te krijgen zijn concrete doelstellingen nodig. Waterschappen hebben als doelstelling om 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 regionale watergangen. Circulair hergebruik van deze baggerspecie heeft raakvlakken met verschillende relevante maatschappelijke opgaven, zoals duurzaamheid, klimaatverandering, CO₂-emissies, stikstofproblematiek, economie, gebruik van gebiedseigen materiaal.

De centrale vraag in dit onderzoek is:

Hoe kan regionale baggerspecie het best circulair worden beheerd met als doel het behalen van gestelde 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 ontwikkeld, een literatuuronderzoek over hergebruiksmogelijkheden van bagger uitgevoerd en de volumestromen van bagger binnen de verschillende waterschappen geïnventariseerd. In Fase 1 is ook een overzicht opgesteld van de kennisleemten omtrent circulariteit binnen de waterschappen en belicht dat er een behoefte is aan een pseudo-kwantitatief instrumentarium voor circulariteit van baggerprojecten.

Voortbouwend op Fase 1, is in Fase 2 een toetsing instrumentarium ontwikkeld en een bijhorende STOWA-handreiking (dit rapport) opgesteld. Beide kunnen direct na de afronding van Fase 2 door de waterschappen worden gebruikt om voor veelvoorkomende baggerprojecten de verschillende toepassingsmogelijkheden te beoordelen op de mate van circulariteit. Op basis hiervan kan het desbetreffende waterschap een beargumenteerde keuze maken voor een toepassing van baggerspecie met in achtname van de circulariteitsdoelstellingen en de kosteneffectiviteit van baggerbeheer. De eindproducten van Fase 2 omvatten:

1. STOWA-handreiking (dit rapport)
2. Een praktisch inzetbare tool (bèta-versie), inclusief gebruikershandleiding (verkrijgbaar via de STOWA-website);

Tijdens Fase 2 is conform de circulariteitsdefinitie voor hergebruik van baggerspecie uit Fase 1 een scoringsmethodiek ontwikkeld dat resulteert in een circulariteitslabel. Het circulariteitslabel geeft aan in welke mate alternatieve baggerketens (van baggeren tot aan toepassing) scoren op circulariteitsaspecten. Hierdoor ontstaat inzicht in de mate van circulair gebruik van bagger en kunnen baggerprojecten bij de waterschappen zo circulair als mogelijk of wenselijk worden uitgevoerd.

Fase 2 richt zich specifiek op de waterschappen en hun regionale baggerspecie. Het instrumentarium is in de basis ook bruikbaar voor andere waterbeheerders zoals Rijkswaterstaat, havenbedrijven, provincies en gemeentes. Een mogelijke vervolgfase, Fase 3, is gericht op verdere ontwikkeling en nog bredere inzet en impact van het toetsingsinstrument en de achterliggende denkwijze.

1.3 PLAN VAN AANPAK MET WERKPAKKETTEN

Om tot het eindresultaat te komen is Fase 2 in vier werkpakketten (WP) opgedeeld:

- WP 1.** Ontwikkeling toetsingsinstrument (tool).
- WP 2.** Het testen van het toetsingsinstrument op vier casussen.
- WP 3.** Delen van kennis en ervaringen en implementatie van het instrumentarium.
- WP 4.** Opstellen STOWA-handreiking.

Dit project maakt de definitie voor het circulair toepassen van baggerspecie uit Fase 1 praktisch inzetbaar door verwerking in een toetsingsinstrument (tool). Om dit resultaat te bereiken is voor een aanpak gekozen die van grof naar fijn (of eenvoudig naar complex) gaat met daarbij zoveel mogelijk interactie met de waterschappen. Interactie is bereikt door frequente vergaderingen met de begeleidingscommissie te organiseren en middels twee workshops met de eindgebruikers. Een commissie met experts is ingeschakeld om het instrumentarium te reviewen en te zorgen dat relevante (internationale) kennis van het werkveld in de tool is verwerkt.

1.4 VERBINDING MET BESTAANDE INSTRUMENTEN - DUBOCALC

Er zijn meerdere instrumenten in omloop die ingezet kunnen worden om duurzaamheid van bouwwerken te toetsen. Het meest gebruikte instrument voor Nederlandse civiele (bouw)werken is DuboCalc. Het huidige instrumentarium, dat is ontwikkeld in opdracht van de STOWA, richt zich op een niche (circulair baggerbeheer van regionale baggerspecie) waar op het moment geen vergelijkbaar instrumentarium op de markt aanwezig is. De doelstelling van de waterschappen richt zich op circulair (her)gebruik van baggerspecie. Duurzaamheid, zoals beschouwd in DuboCalc, is een onderdeel van circulair (her)gebruik, maar belicht niet alle aspecten van circulariteit. Het is in belang van alle betrokkenen om duidelijkheid te scheppen over het nut van het toepassingsgebied van de bestaande en nieuwe toetsingsinstrumenten, zeker als deze op het eerste oog (deels) overlappend zijn. De afstemming tussen het instrument dat onderwerp is van dit rapport en DuboCalc is gaande ten tijde van uitgifte van deze rapportage.

1.5 PRODUCTEN

Producten van Fase II 'circulair baggerbeheer: circulair omgaan met regionale bagger' :

- Dit rapport
- Bèta-versie van het toetsingsinstrument
- Handleiding voor gebruik van het instrument

1.6 LEESWIJZER

Dit rapport is een STOWA handreiking en behandelt de achtergronden, circulariteitsaspecten en opbouw van het toetsingsinstrumentarium. Dit rapport geeft tevens conceptresultaten voor vier casussen die geselecteerd zijn samen met de betrokken waterschappers, inclusief een gevoeligheidsanalyse van de resultaten met betrekking tot de verschillende circulariteitsaspecten en ketenstappen. Dit rapport geeft ook informatie over de gebruikswijze en de huidige beperkingen van de tool. Tot slot worden de mogelijkheden beschouwd voor verbetering en uitbreiding van het instrumentarium voor een vervolgfase. Aanvullende informatie over praktijkcasussen, baggerketens, referentiescenario's, invoerwaardes, formuleringen en werking van het instrument is opgenomen in de bijlagen.

Deze handreiking is met name bedoeld voor experts die specifiek geïnteresseerd zijn in de achtergronden bij het ontwikkelen van het toetsingsinstrument. Een apart document, de handleiding bij het gebruik van de tool, is meer specifiek bedoeld als leidraad voor het praktisch gebruik van het toetsingsinstrumentarium. Dit document maakt gebruik van het STOWA-format voor handreikingen. Sommige figuren kunnen vanwege de internationale methodiek Britse begrippen of notaties bevatten. Literatuur is in algemene zin gebruikt en niet altijd in de tekst gerefereerd.

Hoofdstuk 2:	Achtergrond theorie en aanpak
Hoofdstuk 3:	Toetsingsinstrumentarium
Hoofdstuk 4:	Gebruik van het toetsingsinstrumentarium
Hoofdstuk 5:	Resultaten
Hoofdstuk 6:	Discussie
Hoofdstuk 7:	Conclusie en aanbevelingen

2

ACHTERGROND THEORIE EN AANPAK

De tool is gebaseerd op vier praktijkcasussen die samen met de waterschappen geselecteerd zijn. Elke casus heeft een verschillende toepassing ('Storten' (bovenwater verspreiden van verontreinigde bagger), 'Op de kant' verspreiden, 'Dijkversterking' en 'Oeverblokken'). De uitvoeringsstappen in een casus, zoals baggeren, transport en toepassen, vormen samen een baggerketen. De keten verbindt dus de baggerspecie op de waterbodem met een toepassing. Elke ketenstap is beoordeeld op circulariteit door te kijken naar verschillende circulariteitsaspecten. Als resultaat geeft de tool een circulariteitslabel voor de gehele keten, maar geeft ook inzicht in de bijdrage van de individuele stappen op dit label. Dit hoofdstuk zet de volgende zaken uiteen: een beschrijving van de casussen, de daaruit volgende ketens, de verschillende stappen van baggeren tot en met toepassen, en tenslotte de circulariteitsaspecten met de scoringsmethodiek.

2.1 PRAKTIJKCASUSSEN

Voor deze studie zijn vier veelvoorkomende casussen geselecteerd met in achtneming van de volgende criteria, die allemaal in de tool verwerkt dienen te zijn (

Tabel 2-1):

- Fysische en chemische verontreinigingen
- Grondsoort (zand, klei tot veen)
- Representatief voor veelvoorkomende bagger, transport en toepassingsmogelijkheden (en daarbij de beschikbaarheid van gegevens)
- Herkenbaarheid binnen de waterschappen

De vier praktijkcasussen zijn:

1. Plantageweg Muidergracht
2. Loosdrechtse plassen
3. Damsterdiep/ Casus HHNK
4. Oranjekanaal

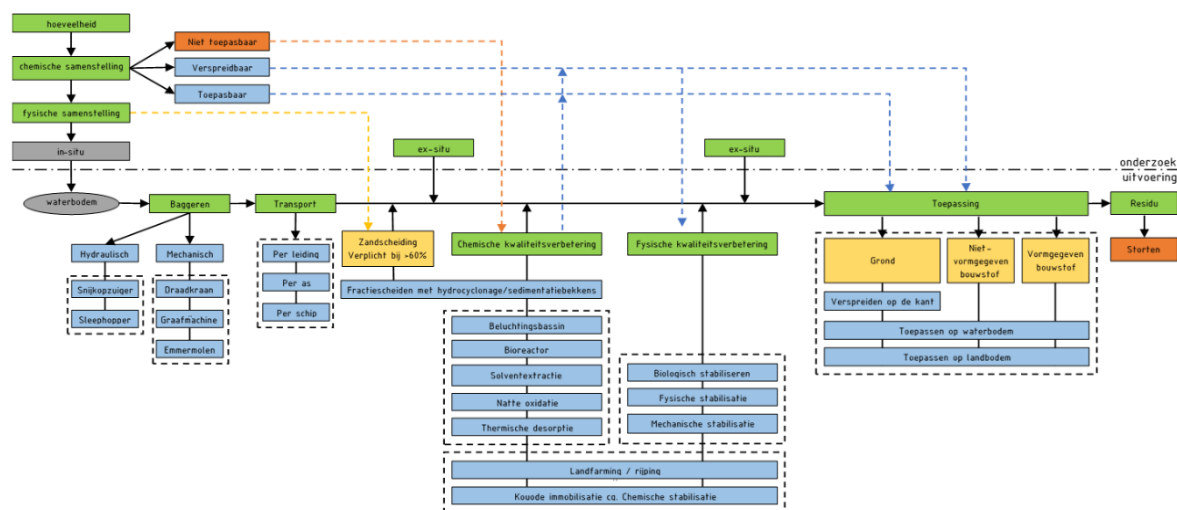
Tabel 2-1 Een overzicht van de praktijkcasussen en de specifieke bijdrage aan de eisen

Casus	Fysisch verontreinigd	Chemisch verontreinigd	Textuur	Toepassing
Plantageweg Muidergracht	Ja	Ja	Kleiig	Storten
Loosdrechtse plassen	Nee	Nee	Venig	Op de Kant
HHNK / Damsterdiep	Nee	Nee	Kleiig	Dijkversterking
Oranjekanaal	Nee	Nee	Zandig	Oeverblokken

Gedetailleerde informatie over de praktijkcasussen, zoals een beschrijving van de specifieke problematiek en afwegingen is beschreven in Bijlage A.

2.2 KETENS

Een baggerketen is een serie van opeenvolgende stappen die 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 (bijvoorbeeld 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.



Figuur 2-1 Ketenoverzichts uit Fase I onderzoek gebruik van baggerspecie bij de waterschappen (NETICS & Deltares, 2019).

Het uitgangspunt voor de ketens is het ketenoverzicht voor baggerwerken uit Fase 1 – circulair baggergebruik van bagger (NETICS & Deltares, 2019) (Figuur 2-1). In dit ketenoverzicht zijn de meest relevante ketens van (regionale) baggerprojecten aangegeven. In Fase 2 zijn er baggerketens opgesteld voor de praktijkcasussen op basis van het ketenoverzicht (Bijlage E). Een baggerketen bestaat uit minimaal twee en maximaal vijf stappen: (1) baggeren, (2) 1^e transport, (3) verblijf in een doorgangsdepot, (4) 2^e transport en (5) toepassing.

2.2.1 EISEN AAN DE SAMENSTELLING VAN BAGGER

Het toepassingsmogelijkheden van vrijkomende baggerspecie zijn sterk afhankelijk van:

- De hoeveelheid baggerspecie
- De chemische samenstelling
- De fysische samenstelling

Op basis van deze drie aspecten wordt bepaald voor welke toepassing de baggerspecie ingezet kan worden. Ook geeft dit de randvoorwaarden voor de eventuele opwerkingmethode van baggerspecie om voor een toepassingsvorm in aanmerking te komen.

2.2.1.1 HOEVEELHEID

Bij het toepassen van baggerspecie is het volume een belangrijke factor. In het kader van het beoordelen van de circulariteit van baggerspecie bij waterschappen wordt aangenomen dat er met name kleinschalige baggerprojecten plaatsvinden bij de waterschappen zoals gedefinieerd volgens de RAW-systematiek. Er wordt binnen het toetsingskader ook rekening gehouden met grootschaligere baggerwerken zoals onderhoudsbaggerwerk voor waterwegen, maar de huidige toetsingsmethodiek zal minder geschikt blijken

wanneer andere typen bagger- en transportmaterieel wordt gebruikt, zoals het geval is bij strandsuppleties en kapitaalbaggerwerk. Voor gebruik van het toetsingsinstrumentarium worden geen specifieke eisen gesteld aan de baggerhoeveelheden. Echter tijdens de ontwikkeling van het instrumentarium zijn voor kosteninschattingen ramingen voor baggerwerken kleiner dan 1000 m³ niet meegenomen. Voor dergelijke baggerwerken zijn de kosteninschattingen mogelijk niet representatief, vanwege de te zwaarwegende algemene kosten. Daarnaast kan de (lokale) vraag naar een toepassingsvorm kleiner zijn dan de hoeveelheid beschikbare baggerspecie. In een dergelijke situatie kan de gebaggerde specie maar deels maximaal circulair toegepast worden.

2.2.1.2 MILIEUHYGIËNISCHE KWALITEITSKLASSEN

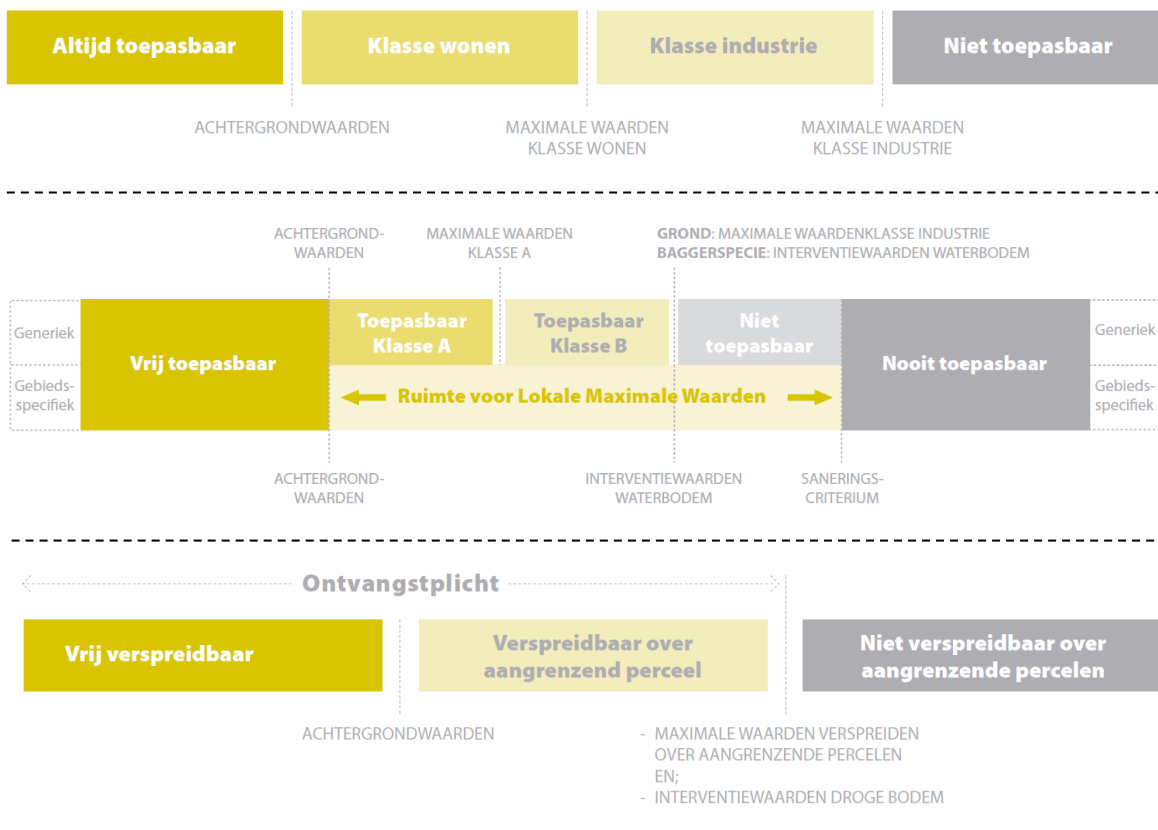
Tijdens het bepalen van de praktijkcasussen is vastgesteld dat er een minimaal aantal casussen chemische verontreiniging moeten behandelen. Om specifiek te zijn, wordt hiermee bedoeld dat er verschillende milieuhygiënische kwaliteitsklassen aanwezig moeten zijn in de praktijkcasussen. Hiermee wordt gerefereerd naar het besluit bodemkwaliteit (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en milieubeheer, 2007).

In dit document worden drie toepassingsgroepen of kwaliteitsklassen conform besluit bodemkwaliteit onderscheiden inclusief de bijbehorende beschouwde toepassingen (Figuur 2-2):

- Toepassing op landbodem (*Dijkversterking, Afdekken stortplaats, Weg- en terreinophoging*)
- Toepassing op waterbodem (*Oeverblokken*)
- Verspreiden op aangrenzende percelen (*Op de kant, Weilanddepot¹*)

Deze drie klassen worden als hoedanig in dit document benoemd en gebruikt.

¹ Ten tijde van publicatie van deze STOWA handreiking wordt de toepassingsvorm 'Weilanddepot' toegevoegd aan mogelijke toepassingen in het toetsingsinstrumentarium.



Figuur 2-2 Toepasbaarheid van grond/baggerspecie conform besluit bodemkwaliteit (boven: toepassing op landbodembodem, midden: toepassing op waterbodembodem, onder: verspreiden op aangrenzende percelen. Bron: Bodem+

De milieuhygiënische eigenschappen hebben aanzienlijke invloed op de (juridische) mogelijkheid om baggerspecie te verwerken in verschillende toepassingen. Het juridisch kader voor de bepaling van de toepassingsmogelijkheden van de verschillende baggerklassen is vastgesteld door de Nederlandse overheid (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en milieubeheer, 2007) en conform de normen uit juli 2021 in de tool verwerkt. Tijdens het lezen van deze handreiking, kan het zo zijn dat er andere toepassingsnormen in gebruik zijn.

De normen per juli 2021 conform besluit bodemkwaliteit stellen het volgende vast:

- Indien baggerspecie zowel niet-toepasbaar op land, niet of nooit toepasbaar op water en niet verspreidbaar is, dient het gestort te worden in aangewezen stortplaatsen. Storten is per definitie geen toepassing.
- Industrie/ Klasse B kan toegepast worden, afhankelijk van de toepassing
- Altijd-toepasbare specie kan gebruikt worden in geselecteerde toepassingen op land (*Op de kant, Dijkversterking, Oeverblokken*). Bij toepassen op landbodembodem geldt echter dat de toepassingslocatie geen verontreinigde (lees: niet-toepasbare) grond bevat. Altijd-toepasbare specie, net als verspreidbare specie, mag daarom *niet* gestort worden in aangewezen stortplaatsen.
- Bij toepassen op landbodembodem, mag de toe te passen grond of baggerspecie niet van mindere kwaliteit zijn dan de ontvangende bodem.
- Bij toepassen op waterbodembodem is er ruimte voor lokale maximale waarden

De milieuhygiënische kwaliteitseisen uit besluit bodemkwaliteit zijn vertaald naar een overzichtelijke tabel waarin de toepassingen uit het instrumentarium opgesomd zijn met bijbehorende implementatie van besluit bodemkwaliteit in het instrumentarium (Figuur 2-3)

Categorie	Eindbestemming	Eisencategorie-Bsb	Milieukundige eisen			
			Niet toepasbaar/ Nooit toepasbaar/ Niet verspreidbaar	Industrie/ Klasse B	Wonen/ Klasse A/ Verspreidbaar	Altijd toepasbaar/ Vrij toepasbaar/ Vrij verspreidbaar
Afvoeren	Storten	Storten	ja	nee	nee	nee
Opwerken	Doorgangsdepot	Verspreiden	nee	ja	ja	ja
Toepassen	Op de kant	Verspreiden	nee	ja	ja	ja
	Weilanddepot	Verspreiden	nee**	ja	ja	ja
	Afdekken stortplaats	Landbodem	nee	ja**	ja**	ja
	Wegophoging	Landbodem	nee	ja**	ja**	ja
	Terreinophoging	Landbodem	nee	ja**	ja**	ja
	Oeverblokken	Waterbodem	nee	ja	ja	ja
	Dijkversterking	Landbodem	nee	ja	ja	ja

** Niet slechter dan ontvangende bodem

Figuur 2-3 Milieukundige kwaliteitseisen voor de verschillende toepassingen in het instrumentarium, vertaald uit besluit bodemkwaliteit. Alle grijsgekleurde toepassingen in deze tabel zijn NOG NIET opgenomen in het toetsingsinstrumentarium. Bron: NETICS.

In het toetsingsinstrumentarium wordt geen rekening gehouden met de kwaliteit van de ontvangende bodem. Indien de ontvangende bodem een beperking is voor de toepassing van baggerspecie op de landbodem, dient deze constatering van de gebruiker zelf te komen. Hetzelfde geldt voor de ruimte voor lokale maximale waarden bij het beoordelen van toepassingen voor waterbodem, omdat dergelijke lokale data nu niet beschikbaar is in het instrumentarium.

2.2.1.3 FYSISCHE SAMENSTELLING

De fysische samenstelling is een essentiële factor bij het bepalen van toepassingsmogelijkheden van baggerspecie. Het is hierbij belangrijk om te benoemen dat in relatie met het ketenoverzicht van baggerspecie in Figuur 2-1, alle huidige toepassingsmogelijkheden van baggerspecie behoren tot de categorie 'toepassen als grond'. Verwerkte/opgewerkte baggerspecie kan pas geclassificeerd worden als bouwstof als het aan de volgende definitie voldoet: 'materiaal waarin de totaalgehalten aan silicium, calcium of aluminium tezamen meer dan 10 gewichtsprocent van dat materiaal bedragen, uitgezonderd vlakglas, metallisch aluminium, grond en baggerspecie' (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en milieubeheer, 2007). Dit is niet van de toepassing op de beschouwde toepassingen van baggerspecie.

De richtlijnen die de Nederlandse overheid (CROW, 2015, CROW, 2009; Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke ordening en milieubeheer, 2007) geeft voor de fysische samenstelling van civieltechnische constructies hebben betrekking op een deel van de geselecteerde toepassingen. Storten en een doorgangsdepot zijn geen civieltechnische constructies en zijn dus niet onderhevig aan specifieke fysische eisen. De huidige richtlijnen koppelen constructieonderdelen aan de benodigde grondstof (bijvoorbeeld zand of klei) in de vorm van verschillende categorieën (bijv. Zand – C1) (Figuur 2-3). In de tabel zijn alle toepassingen aangegeven met de bijbehorende constructieonderdelen vastgesteld door Rijkswaterstaat

(Rijkswaterstaat, 2001; Rijkswaterstaat, 2004) en de bijbehorende civieltechnische richtlijn voor verschillende categorieën grond. Ook zijn extra richtlijnen toegevoegd die van toepassing zijn voor de specifieke toepassing.

Categorie	Eindbestemming	Constructie-onderdeel	Richtlijnen					Extra richtlijnen	Cons. Index
			Zand (C-I)	Matig zandig-Silt houden de klei (C-II & C-III)	Klei (C-IV)	Veen-houdende grond (C-V)			
Afvoeren	Storten	-	-	-	-	-	-	-	
Opwerken	Doorgangsdepot	-	-	-	-	-	-	-	
Toepassen	Op de kant	RWS-NO	ja	ja	ja	ja	-	>0.6	
	Weilanddepot	RWS-NO	ja	ja	ja	ja	-	>0.6	
	Afdekken stortplaats	RWS-AD	nee	ja	ja	nee	Erosiebestendig	>0.75	
	Wegophoging	RWS-CO	ja	ja	ja	nee	Lutumfractie <20%	>0.7	
	Terreinophoging	RWS-NO	ja	ja	ja	ja	-	>0.6	
	Oeverblokken	RWS-CA/Beton (NETICS)	ja	ja	ja	ja	Organische stof <50%	>0.7	
	Dijkversterking	RWS-D/CROW-Dijkenklei	nee	ja	ja	nee	Zandfractie <40%	>0.75	

Figuur 2-4 Eisen aan fysische samenstelling voor toepassingen van baggerspecie conform de opgestelde eisen van Rijkswaterstaat en NETICS aangepast uit Fugro, 2005. Let op de grijs-gekleurde toepassingen in deze tabel zijn NOG NIET opgenomen in het toetsingsinstrumentarium.

De bovenstaande richtlijnen worden ook als hoedanig meegenomen in het instrumentarium. Dit betekent dat baggerspecie niet in de desbetreffende toepassing gebruikt kan worden wanneer de baggerspecie niet aan de eisen voor de chemische of fysische samenstelling kan voldoen. Hierbij wordt de mogelijkheid om met (oneindige hoeveelheid) toeslagstoffen de baggerspecie op te werken tot een geschikte bouwstof niet meegenomen. In de praktijk heeft dit als gevolg dat enkele toepassingen niet mogelijk zijn bij een baggerclassificatie als Zand (categorie I) en/of Veenhoudende grond (categorie V) (Figuur 2-4).

2.2.2 KETENSTAPPEN

Het toetsingsinstrumentarium deelt de baggerketens op in modules ook wel ketenstappen genoemd. Deze opdeling in herkenbare stappen sluit aan bij de (bagger)activiteiten van waterschappen. Op basis van de gekozen casussen is er door de leden van de begeleidende commissie een aantal werkbladen ingevuld met de meest voorkomende baggerketens van baggerspecie bij de waterschappen (Bijlage C). Op basis van deze informatie en het ketenoverzicht uit Fase 1 (Figuur 2-1), zijn de baggerketens op te delen in drie groepen:

1. Baggeren
2. Transport en verwerking
3. Toepassen

2.2.2.1 BAGGEREN

In het toetsingsinstrumentarium is een onderscheid gemaakt tussen mechanisch (graafmachine, draadkraan) en hydraulisch (snijkopzuiger, tractor met pomp) baggeren. Bij het mechanisch baggeren wordt er eventueel gebruik gemaakt van een schuifboot om de bagger op de goede plek te leggen. Daarom wordt de schuifboot in combinatie met de graafmachine of de draadkraan meegenomen als baggertechniek.

In het toetsingsinstrumentarium zijn de volgende baggertechnieken meegenomen:

- Schuifboot (in combinatie met graafmachine of draadkraan)
- Graafmachine
- Draadkraan
- Snijkopzuiger
- Tractor met pomp (baggerpomp)

De naamgeving en definitie is gebaseerd op bodemrichtlijn (URL: <http://www.bodemrichtlijn.nl>) en algemene benamingen uit het werkveld.

Andere baggertechnieken die niet inbegrepen in het onderzoek zijn emmerbaggermolen (verouderde techniek) en sleephopperzuiger (grootschalige baggertechniek). Dit geldt ook voor overige technieken gerelateerd aan het baggeren zoals een taludreiniger, waterinjectie, auger dredger, hydraulische stofzuiger, ploeg of ander kleinschalig materieel (bron: bodemrichtlijn). De ontbrekende technieken kunnen in een later stadium van de ontwikkeling van het instrumentarium nog toegevoegd worden.

In Bijlage D zijn alle meegenomen baggertechnieken in meer details beschreven.

2.2.2.2 TRANSPORT EN VERWERKING

In het instrumentarium wordt aangenomen dat baggerspecie op drie verschillende manieren vervoerd kan worden naar toepassing- of opslaglocatie. Dit kan over het water, over de weg, of per directe leidingverbinding gebeuren.

Dit heeft ertoe geleid dat de volgende transportmethoden zijn geselecteerd:

- Transport per as
- Transport per schip
- Transport per leiding

Hierbij is er geen mogelijkheid tot directe overslag (bijv. as naar schip, leiding naar as etc.) inbegrepen. Wel kan de gebruiker een tweede transportmethode selecteren na het opslaan in een doorgangsdepot.

In Bijlage D zijn de bovenstaande transportmethoden in meer details beschreven.

2.2.2.3 TOEPASSEN

Een toepassing van baggerspecie is in dit project gedefinieerd als de (voorlopige) toepassing voor baggerspecie. Dit kan zowel een hoogwaardige toepassing betreffen als een directe verwerkingsmethode.

In dit project worden acht toepassingen beschouwd, waarvan vier doorgerekend met een circulariteitslabel.

- Storten (van verontreinigde baggerspecie onderwater)
- Verspreiden op de kant
- Toepassen als oeverblokken
- Toepassen als dijkversterking
- Afdekken van een stortplaats (geen label)
- Toepassen als terreinophoging (geen label)
- Toepassen als wegophoging (geen label)
- Weilanddepot (geen label)

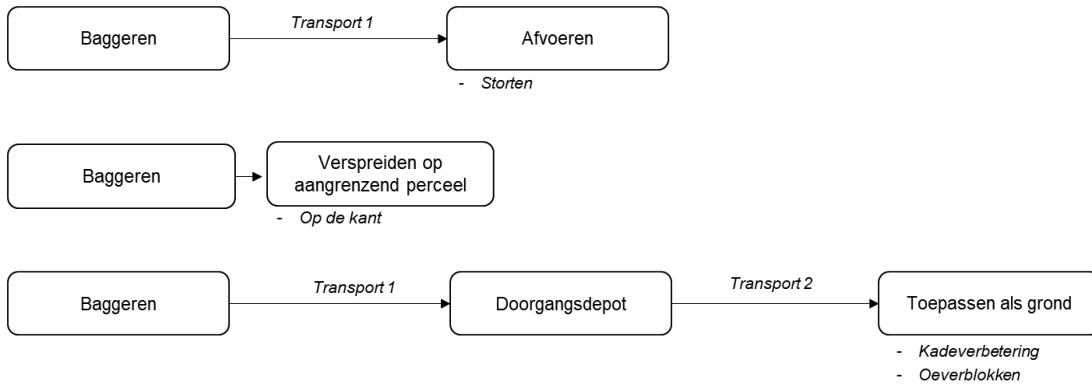
De resterende vier toepassingen (geen label) zijn nog niet doorgerekend vanwege de huidige scope, die beperkt is tot vier veelvoorkomende toepassingscasussen bij waterschappen. De resterende toepassingen inclusief extra toepassingen, zijn in een later stadium van de ontwikkeling nog modulair toe te voegen aan het instrumentarium.

In Bijlage D zijn alle toepassingen in meer details beschreven. De toepassingsvorm 'Storten' betreft het storten van verontreinigde bagger in daarvoor toegewezen locaties (zoals de Slufter en het IJsselooog). Deze toepassingsvorm is niet mogelijk voor 'Altijd toepasbare specie' en 'Verspreidbare specie'. Lokale verspreiding in het waterlichaam (zoals een diepe put) van niet verontreinigde specie is niet meegenomen als toepassingsvorm. 'Oeverblokken' is een (nog) niet veel voorkomende toepassingsvorm. Deze toepassing is meegenomen vanuit de wens om een toepassing mee te nemen waarin baggerspecie wordt opgewerkt tot vormgegeven bouwstof en waarin organische stof kan worden vastgelegd.

2.2.3 VASTSTELLEN KETENS

In samenwerking met de begeleidingscommissie en met de inzet van werkbladen (Bijlage C) en het processchema (Bijlage E-1) zijn de praktijkcasussen vertaald naar vijf baggerketens. Deze ketens zijn gevisualiseerd in Bijlage E-2.

Uit de vijf ketens zijn drie generieke ketenvarianten afgeleid. Deze drie ketens (Figuur 2-5) zijn vastgesteld voor de bepaling van de circulariteitsscores. De ketens zijn gekozen op basis van de ketenlengte en de eindtoepassing. Zo zal er gewoonlijk bij het verspreiden van baggerspecie op het aangrenzend perceel geen transportstap plaatsvinden, terwijl het toepassen van grond als dijkversterking gewoonlijk twee transportstappen voor en na het drogen bij een doorgangsdepot betreft. Zowel de bagger- en transportstappen zijn volledig generiek. Dit betekent dat 'baggeren' en 'transport' respectievelijk in Figuur 2-5 ingevuld kunnen worden met het bagger -en transportmaterieel zoals beschreven in Paragraaf 2.2.2. Deze vervanging kan gebeuren binnen de praktische mogelijkheden van baggerwerken. Zo is het bijvoorbeeld aangenomen dat baggerspecie na rijping in een doorgangsdepot niet wordt vervoerd per leiding vanwege de verhoogde dichtheid. Alle mogelijke ketenvarianten worden besproken in Paragraaf 3.2.



Figuur 2-5 Drie generieke baggerketen varianten zoals meegenomen in het instrumentarium.

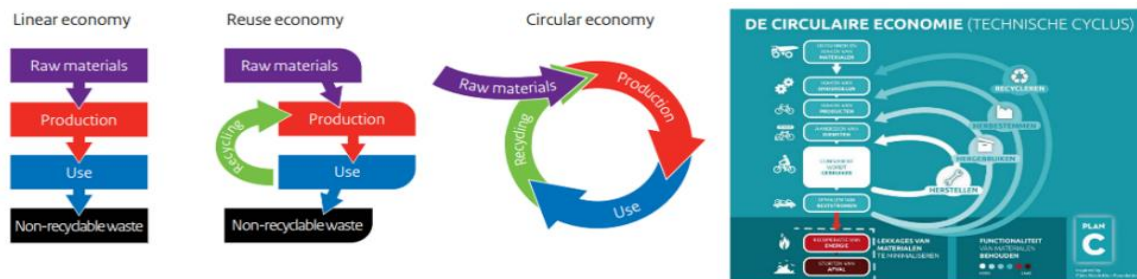
Zoals eerder benoemd is een aantal toepassingen uit Paragraaf 2.2.2 niet doorgerekend in het instrumentarium en daarom bij het beschouwen van de toetsingsmethodiek niet meer meegenomen in dit document. Echter, er is wel gekeken of deze toepassingen praktisch mogelijk of juridisch toegestaan zijn, zijn zoals in Paragraaf 2.2.1 toegelicht.

2.3 BEOORDELINGSKADER VOOR CIRCULARITEIT

In deze paragraaf wordt het beoordelingskader nader toegelicht. Het beoordelingskader volgt de definitie van circulariteit van bagger die is ontwikkeld in Fase 1. Als vervolg op de definitie, zijn vier circulariteitsaspecten ontwikkeld. Per aspect zijn meerdere circulariteitsvariabelen gedefinieerd. Deze variabelen bepalen de circulariteitscore voor een bepaalde keten. Circulariteitsaspecten en -variabelen zijn ook samen met de experts gekozen en afgestemd.

2.3.1 DEFINITIE CIRCULARITEIT

Bagger verschilt van industriële producten, omdat het een natuurlijk kapitaal is. Het ontstaat in de natuur en blijft in de natuur (behoudens van volledige onttrekking van specie). In de literatuur zijn er velen definities van circulariteit geformuleerd (Kirchherr et al., 2017; Saidani, 2019) (Figuur 2-6), meestal zijn deze definities toegespitst op industriële producten (Potting et al., 2017). Daarnaast wordt baggerspecie (nog) onvoldoende erkend als waardevolle 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 2-6 Typische voorbeeld van definitie van circulariteit voor een (industriële product) – (Rijksoverheid,2020; Vlaanderen Circulair,2020)

In Fase I werd door NETICS en Deltares een definitie van circulariteit specifiek voor bagger ontwikkeld, gebaseerd op de definities van literatuur, maar met de focus op de natuurlijke eigenschappen van baggerspecie. De definitie van de circulariteit van baggerspecie is gebaseerd op drie principes en twee

sleutelfactoren:

1. Het maximaliseren van voordelen en waarde (incl. natuur en sociaaleconomisch);
2. Het maximaliseren van gesloten kringlopen en / of herbruikbaarheid
3. Het minimaliseren van afvalproductie.

De twee sleutelfactoren zijn:

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

In essentie focust circulariteit van baggerspecie zich op het vergroten van de waarde van baggerspecie (bijv. van bagger naar waardevolle grond voor een dijk of oeverblokken) en het zo nuttig en zo natuurlijk mogelijk her te gebruiken (bijvoorbeeld in lijn met het bouwen met de natuur filosofie) in combinatie met een inspanning om zoveel mogelijk samen te werken (bijv. het verbinden van vraag en aanbod).



Figuur 2-7 Uitkomst van de beoordelingstool is een beoordeling die vergelijkbaar is met een energielabel.

2.3.2 CIRCULARITEITSASPECTEN

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

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

De vier circulariteitsaspecten zijn:

1. Kosten en Waarden
2. Volumes
3. Emissies
4. Natuur en Systeem

Deze circulariteitsaspecten worden hieronder nader toegelicht.

1. Kosten en Waarden

Het aspect 'Kosten en Waarden' betreft de totale kosten en waarden voor een keten (energiekosten, materieel, personeel) maar ook de (verkoop)waarde van de resulterende toepassing. Deze waarde is met name belangrijk voor circulariteit: slib in een kanaal heeft in de basis veelal een negatieve waarde vanuit een beheersopgave (het ligt in de weg en kost geld om te weg te halen). Als hetzelfde slib verspreid wordt op land of er wordt dijkenslib of een bouwsteen van gemaakt, krijgt het een positieve waarde voor dezelfde partij. Dit promoot een vervolgstap in de keten en dus circulariteit. Kanttekening hierbij is dat de waarde van slib breed beoordeeld moet worden, omdat hetzelfde slib in het kanaal ook een positieve waarde kan hebben voor andere functies zoals ecologie of morfologie.

2. Volumes

In de definitie van circulariteit is het sluiten van kringlopen van belang zodat er weinig tot geen afval ontstaat. Het circulariteitsaspect 'Volumes' gaat over het maximaliseren van de hoeveelheid hergebruikte bagger. Hergebruiken zal gebeuren in verschillende toepassingsvormen die afhankelijk zijn van de kwaliteit van het slib.

3. Emissies

Ondanks dat het niet expliciet aangegeven is in de definitie van circulair baggergebruik, wordt ook het verminderen van emissies gekoppeld aan circulariteit, voornamelijk omdat emissies effectief een afvalstroom zijn in de baggerketen. Met emissies wordt meestal broeikasgasemissies bedoeld, maar dit kan ook meer generiek zijn. Een specifiek aspect van een broeikasgas in relatie tot bagger is dat hier niet alleen de emissie uit machines wordt meegenomen, maar ook de emissies uit de bagger zelf; in of buiten het water. Dit is een actueel onderwerp waarnaar diversen onderzoeken lopen. Voor dit aspect maken we daarom gebruik van de laatste ontwikkelingen en formuleringen die mogelijk door nieuwe inzichten later moeten worden bijgesteld. Het huidige instrumentarium maakt dit mogelijk.

4. Natuur en systeem

De zogenaamde systeemimpact 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.

Een typisch voorbeeld is een systeem zonder dijk waarbij het slib door middel van de natuurlijke processen op land of kwelder sedimenteren, bijvoorbeeld ten gevolge van de natuurlijke getij dynamiek of in het geval van hoogwaterafvoer of opwaaiing.

Een maximalisering van samenwerking geldt voor de projecten waar het koppelen van vraag en aanbod maximaal is gestimuleerd door bijvoorbeeld verschillende stakeholders (of verschillende afdelingen van dezelfde stakeholder) die normaal gesproken niet met elkaar in contact komen nu wel te laten samenwerken. Bijvoorbeeld in een project waarin 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 mogelijk effect te hebben op de maatschappelijke omgeving. Circulariteit kan niet een doel zijn dat bereikt wordt ten koste van andere maatschappelijke waarden en andere kringlopen. Dit aspect is ook gerelateerd aan het concept van ecosystemendiensten. Een mogelijke verbetering van de tool is het verbinden van dit aspect met het kwantificeren van ecosystemendiensten waarover veel literatuur beschikbaar is.

2.3.3 BEOORDELINGSVARIABLEN

De tabel hieronder (Tabel 2-2) beschrijft de beoordelingsvariabelen per circulariteitsaspect. Een uitgebreid beschrijving van de variabelen is gegeven in Paragraaf 1 van Hoofdstuk 3.

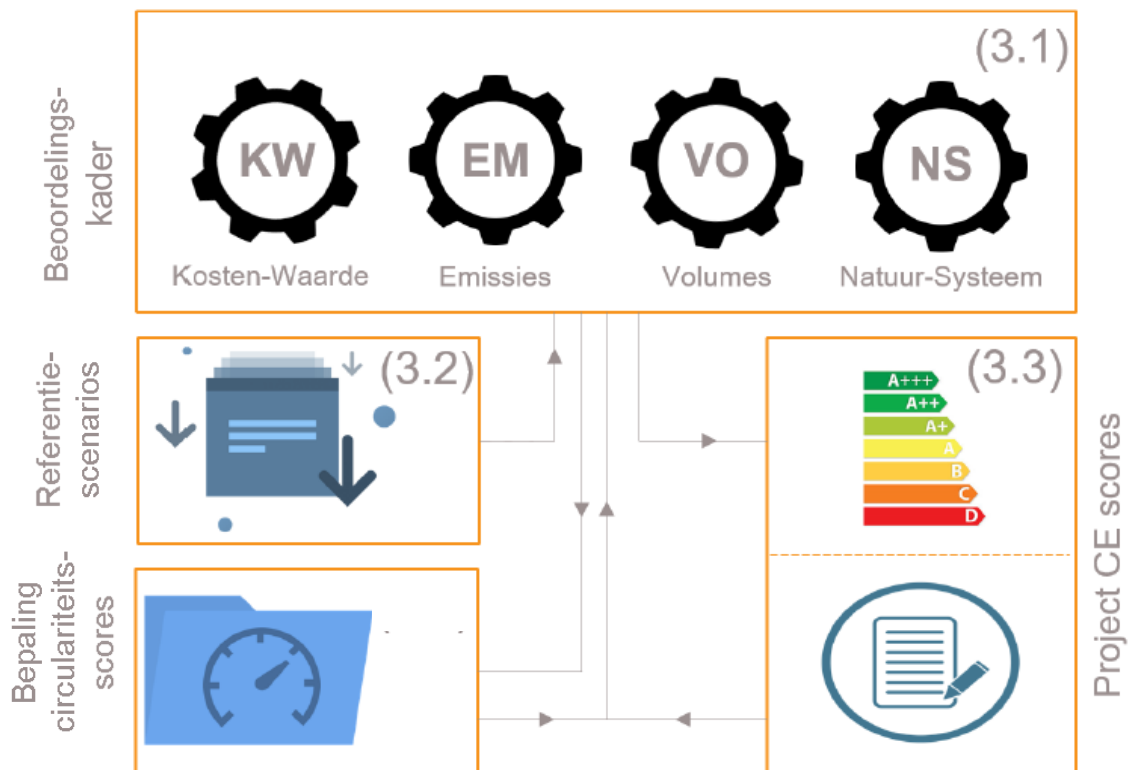
Tabel 2-2 Beoordelingsvariabelen gesorteerd per circulariteitsaspect. Elke variabele is aangegeven met de passerende unit. Alle variabelen binnen een aspect hebben dezelfde eenheid.

Circulariteitsaspecten en beoordelingsvariabelen	Eenheid	Toelichting
1- Kosten en Waarden	<i>EUR</i>	
Kosten	EUR/m ³	Kosten
Waarde	EUR/m ³	Waarde
2- Volumes	<i>m³</i>	
Volume toename	% droge stof verandering	Bijvoorbeeld binders
Volume hergebruikt	m ³	Hergebruik t.o.v. capaciteit toepassing
3- Emissies	<i>kg</i>	
Emissies CO ₂ eq machinerie	kgCO ₂ -eq/m ³	Emissies door machinerie en transport
Emissies CO ₂ eq sediment	kgCO ₂ -eq/m ³	Emissies uit sediment
4- Natuur en Systeem	<i>+/-</i>	
Natuurlijke ontwikkeling	+/-	
Hoogwaardig hergebruik	+/-	

3

TOETSINGSINSTRUMENTARIUM

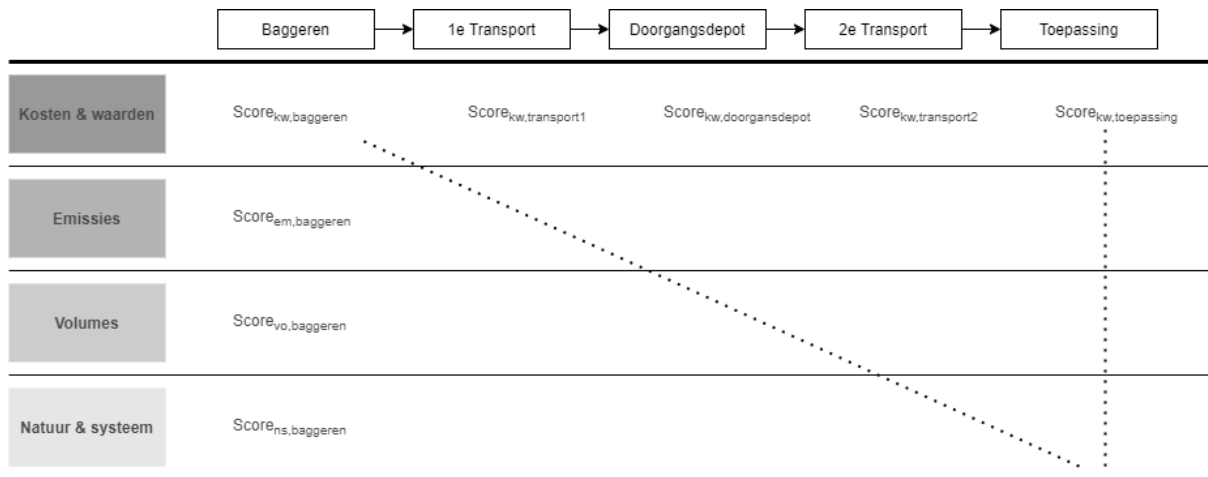
Er is een toetsingsinstrumentarium opgesteld die de gebruiker op basis van project specifieke data voorziet van circulariteitsscores voor verschillende baggerketens. Er is een beoordelingskader met formuleringen ontwikkeld om subscores toe te kennen aan de vier circulariteitsaspecten (Paragraaf 3.1). Deze (sub)scores zijn vooraf berekend voor een groot aantal referentiescenario's (Paragraaf 3.2.1), bestaande uit een grote spreiding van alle mogelijke absolute ketens en parameterwaarden. Door de verschillende eenheden en grote spreiding in de absolute uitkomsten dient nog een conversie plaats te vinden naar relatieve scores per aspect (Paragraaf 3.2.2). De scores per circulariteitsaspect voor alle mogelijke varianten worden vooraf opgeslagen in een grote dataset ('de maatstaf'). Het instrumentarium berekent na invoer van projectspecifieke data, aan de hand van de maatstaf, de circulariteitsscores voor mogelijke baggerketens (Paragraaf 3.3). De gebruiker kan daarna verschillende parameters aanpassen (bijvoorbeeld baggermateriaal, transportmodus of de toepassing) in het instrumentarium om de overeenstemming te krijgen tussen invoer en (mogelijke) projectomstandigheden. Het gebruik van het instrumentarium wordt nader behandeld in Hoofdstuk4.



Figuur 3-1 Opzet toetsingsinstrumentarium

3.1 FORMULERING BEOORDELINGSKADER

De subscores voor de vier circulariteitsaspecten zijn onafhankelijk van elkaar berekend. Hierbij wordt per ketenstap een score toegekend aan ieder circulariteitsaspect (Paragraaf 2.3). Het aantal ketenstappen verschilt afhankelijk van de toepassing (Paragraaf 2.23.3), maar in totaal kunnen er vijf ketenstappen worden onderscheiden: baggeren, 1^e transport, doorgangsdepot, 2^e transport en toepassing. In deze paragraaf wordt per circulariteitsaspect de bijbehorende beoordelingsmethodiek toegelicht.



Figuur 3-2 Scorematrix met in de rijen de circulariteitsaspecten en in de kolommen de ketenstappen.

3.1.1 BEOORDELING KOSTEN EN WAARDEN

Dit circulariteitsaspect omvat de kosten en waarden voor baggerketens. Onderstaand wordt in meer detail toegelicht welke kosten en waarden zijn meegenomen in het toetsingsinstrumentarium.

Transportkosten

Kosten ten behoeve van transport van baggerspecie per schip of per as of per leiding van de baggerlocatie naar een doorgangsdepot en/of toepassingslocatie. Deze kosten omvatten gebruikerskosten (brandstofverbruik, personeelskosten). Deze kosten zijn uitgedrukt per kilometer om met name grote variaties in transportkosten te dekken. In de praktijk zullen de transportkosten echter afhankelijk zijn van veel andere factoren; zo is de bereikbaarheid één van de belangrijkste aspecten. Daarnaast zijn de materieel-afschrijving, overslag, (de)mobilisatie kosten en winst/risico niet meegenomen. Eenheid: EUR/m³/km (enkele reis).

Bagger- en toepassingskosten

Kosten ten behoeve van baggerwerkzaamheden en bouwwerkzaamheden voor de realisatie van een toepassing. Deze kosten omvatten gebruikerskosten (brandstofverbruik, personeelskosten). Exclusief kosten voor materieel-afschrijving, (de)mobilisatie, vergunningsaanvragen, veldonderzoek, winst/risico ontwerpkosten en projectorganisatie. Eenheid: EUR/m³. In het geval van fysische verontreinigde bagger is een toeslag van 3% gerekend over de kosten in ketenstap 'Baggeren'.

Waarden

Toegevoegde waarden horende bij de vier toepassingen: 'Storten', 'Op de kant', 'Oeverblokken' en 'Dijkversterking'. De waarden van gebruik van baggerspecie in één van de toepassingen is gebaseerd op de waarden van de conventionele toepassingen, bijvoorbeeld een conventionele oeverbescherming.

Eenheid: EUR/m³.

- 'Storten' heeft geen vooropgenomen waarde omdat het storten van verontreinigde baggerspecie wordt gezien als verlies van potentieel nuttig materiaal. Dat hierdoor ongecontroleerde verspreiding van verontreinigingen wordt beperkt wordt niet gescoord als waarde of kosten.
- 'Op de kant' heeft waarden voortkomend uit het aanbrengen van vruchtbare grond in plaats van mest.
- 'Oeverblokken' heeft waarden op basis van verkoopwaarde van een gelijkwaardige oplossing. Houten -en betonnen beschoeiingen zijn meegenomen als gelijkwaardige oplossingen.
- 'Dijkversterking' heeft waarden op basis van een gelijkwaardige oplossing waarbij een dijk wordt versterkt met reguliere (niet hergebruikte) grond.

In de berekening van het circulariteitsaspect Kosten en Waarden is meegenomen dat het bulkvolume van de baggerspecie verandert door de baggerketen. Bijvoorbeeld na eventueel verblijf in een doorgangsdepot zal er minder (bulk)volume bagger vervoerd worden in de tweede transportstap in vergelijking met de eerste transportstap door afname van het bulkvolume door consolidatie -en rijpingsprocessen. Het bulkvolume wijzigt door een verandering in watergehalte en/of porievolume.

$$KW_{\text{baggeren}} = -K_{\text{baggeren}}$$

$$KW_{\text{transport1}} = -(K_{\text{transport modus1}} \cdot d_1 \cdot T_{\text{fac}}) \cdot Vol_{\text{fac, baggeren}}$$

$$KW_{\text{doorgangsdepot}} = -K_{\text{doorgangsdepot}} \cdot Vol_{\text{fac, baggeren}}$$

$$KW_{\text{transport2}} = (K_{\text{transport modus2}} \cdot d_2 \cdot T_{\text{fac}}) \cdot (Vol_{\text{fac, baggeren}} - Vol_{\text{fac, doorgangsdepot}})$$

$$KW_{\text{toepassing}} = W_{\text{toepassing}} \cdot (Vol_{\text{fac, baggeren}} - Vol_{\text{fac, doorgangsdepot}}) - K_{\text{toepassing}} \cdot (Vol_{\text{fac, baggeren}} - Vol_{\text{fac, doorgangsdepot}})$$

$$KW = KW_{\text{baggeren}} + KW_{\text{transport1}} + KW_{\text{doorgangsdepot}} + KW_{\text{transport2}} + KW_{\text{toepassing}}$$

Met:

K = eenheidsprijs kosten (transportmodus [euro/m³/km] (per as, per schip, per leiding) en baggeren en toepassing [euro/m³])

W = eenheidsprijs waarde voor toepassing [euro/m³]

$Transport_1$ = transport van baggerlocatie naar doorgangsdepot of stortlocatie

$Transport_2$ = transport van doorgangsdepot naar toepassingslocatie

$d_{1,2}$ = enkele reis afstand tussen locaties [kilometer]

T_{fac} = Transportfactor

T_{fac} = 1 voor leidingtransport

T_{fac} = 2 voor transport per as en per schip (retour)

Vol_{fac} = Bulkvolume verandering in vergelijking tot initieel volume

3.1.2 BEOORDELING EMISSIES

Het circulariteitsaspect 'Emissies' betreft de toetsing op het vrijkomen van broeikasgassen in de baggerketen. Hierbij wordt expliciet onderscheid gemaakt tussen emissies die vrijkomen uit materieel en emissies die vrijkomen uit sediment tijdens consolidatie en rijpen. Emissies uit materieel omvatten baggerwerkzaamheden, transport en aanleg van een toepassing.

CO₂ transport

Broeikasgassen die vrijkomen bij transport (uitgedrukt als CO₂-equivalent in kg per kuub per kilometer transport).

CO₂ baggeren en toepassen

Broeikasgassen die vrijkomen tijdens bagger -en toepassingswerkzaamheden (uitgedrukt in CO₂-equivalent in kg per kuub bagger). Emissies die vrij (kunnen) komen tijdens het verwijderen van baggerspecie (door opwoeling van bodemsediment) worden buiten beschouwing gelaten, omdat hierover momenteel nog onvoldoende wetenschappelijke basis voor is.

Emissies uit sediment

Voor de geselecteerde ketens zal de gebaggerde specie op het droge worden geplaatst op de kant, op een stortlocatie of in een doorgangsdepot. Op deze locatie zal consolidatie plaatsvinden. Tijdens het consolidatieproces zal het sediment indikken (Terzaghi & Peck, 1967). Een ander proces dat invloed heeft, is rijping. Theoretisch begint de rijpingsfase zodra verdamping van water groter is dan de verlaging van het waterpercentage door consolidatie (Vermeulen et al., 2003). Deze fase kan onderverdeeld worden in drie componenten: fysische rijping (Rijniersce, 1983), chemische rijping (Pons & Van der Molen, 1973) en biologische rijping (Pons & Zonneveld, 1965). Tijdens deze fasen zullen broeikasgassen vrijkomen door biochemische processen, waarbij organische koolstof wordt omgezet tot CO₂ en CH₄ (methaan).

De beginsnelheid waarmee de organische koolstof in het grondpakket wordt afgebroken en wordt omgezet tot broeikasgassen is sterk afhankelijk van de leeftijd van de organische stof (let op dit hoeft niet gelijk te zijn aan de leeftijd van het sediment en/of de baggerfrequentie). In een nutriëntrijke 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 broeikasgassen die vrijkomt tijdens dit proces is sterk afhankelijk van de zuurstofhuishouding in het grondpakket. Tijdens aerobe (zuurstofrijke) condities, zoals doorgaans het geval in dunnere grondlagen boven water, 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. Factoren 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. Dit is ook van belang voor de mate waarin CO₂ en CH₄ kan ontsnappen uit het grondpakket. Als (conservatieve) schatting kan worden gesteld dat de toplaag aerob is en de rest van het grondpakket anaerob. Hierdoor zal een kleinere laagdikte leiden tot een hogere circulariteitscore, omdat de kans op anaerobe omstandigheden kleiner is. Dikkere lagen zijn ongunstiger vanwege methaanproductie. Dit hoeft echter niet direct te leiden tot verhoogde methaanuitstoot, omdat de afbraak van organische stof onder anaerobe omstandigheden langzamer is.

Het onderwater storten van verontreinigde baggerspecie in daarvoor toegewezen plaatsen kan leiden tot een verhoging van de gasemissies in dit gebied. De hoeveelheid emissies is sterk afhankelijk van de hoeveelheid organische koolstof in de te storten baggerspecie en de nutriënthuishouding van de stortlocatie. Voor een rijke nutriënthuishouding zal het storten van extra organisch materiaal kunnen werken als olie op het vuur, omdat er voor het storten al sprake was van een actieve biochemische omgeving. Echter kan dit effect ook uitblijven vanwege een tekort van bijvoorbeeld stikstof of fosfor. Inzicht in de 0-optie, namelijk wat gebeurt er als het slib niet wordt gebaggerd/verspreid is belangrijk voor een juiste bepaling van emissies. De wetenschappelijke basis voor het schatten van emissies door het onderwater verspreiden van baggerspecie is gering. Voor nu wordt voor toepassingen boven water en storten (verspreiding onderwater) van verontreinigde specie dezelfde methodiek voor gasemissies aan gehouden.

De emissies uit baggerspecie worden in dit project geschat door aanpassing van de formulering uit Middelburg (1989) (Bijlage I). Hierin wordt het effect van de hoeveelheid organische koolstof, laagdikte, leeftijd en de blootstellingstijd meegenomen. De toepassingen ('Storten', 'Op de kant', 'Oeverblokken', 'Dijkversterking') verschillen van elkaar wat betreft laagdikte en blootstellingstijd.

Voor de 'Oeverblokken' wordt organisch materiaal na opwerking vastgelegd. Voor deze toepassing komen enkel emissies uit sediment vrij in de ketenstap 'Doorgangsdepot'. Oeverblokken zijn getoetst conform besluit bodemkwaliteit met de normen voor het toepassen op het oppervlaktewater en zijn dus niet vervuild en verwacht wordt dat deze ook niet afbreken na een periode van 30 jaar.

De emissies in het geval van een 'Dijkversterking' zijn sterk afhankelijk van het civieltechnisch onderdeel van de dijkversterking (bijvoorbeeld bekleding) waarin het specie verwerkt wordt. Zoals eerder vermeld in Paragraaf 2.2.1.3 wordt er bij een dijkversterking van uitgegaan dat het over een deklaag gaat, zodoende wordt het organisch materiaal dus niet vastgelegd in de constructie, maar zal er afbraak plaatsvinden aan de buitenkant en zullen dus ook de emissies van sediment een rol spelen.

Andere factoren die van invloed zijn op de emissies van sediment zoals pH, temperatuur en redoxcondities zijn buiten beschouwing gelaten, omdat dit biochemische modellering vergt. De complexiteit van processen rond gasemissies tijdens rijpen is groot en is onderwerp van lopend wetenschappelijk onderzoek. De huidige projectaanpak resulteert in een eerste schatting van de emissies uit baggerspecie en moet ook zo worden geïnterpreteerd.

$$EM_{\text{baggeren}} = EM_{\text{machinerie baggeren}}$$

$$EM_{\text{transport1}} = (EM_{\text{transport modus1}} \cdot d_1 \cdot T_{\text{fac}}) \cdot Vol_{\text{fac, baggeren}}$$

$$EM_{\text{doorgangsdepot}} = EM_{\text{doorgangsdepot machinerie}} \cdot Vol_{\text{fac, baggeren}} + EM_{\text{sediment, doorgangsdepot}}$$

$$EM_{\text{transport2}} = (EM_{\text{transport modus2}} \cdot d_2 \cdot T_{\text{fac}}) \cdot (Vol_{\text{fac, baggeren}} + Vol_{\text{fac, doorgangsdepot}})$$

$$EM_{\text{toepassing}} = EM_{\text{machinerie, toepassing}} \cdot (Vol_{\text{fac, baggeren}} + Vol_{\text{fac, doorgangsdepot}}) + EM_{\text{sediment, toepassing}}$$

$$EM = EM_{\text{baggeren}} + EM_{\text{transport1}} + EM_{\text{doorgangsdepot}} + EM_{\text{transport2}} + EM_{\text{toepassing}}$$

Met:

$EM_{transport\ modus}$	= eenheidsemisatie transportmodus [kg CO ₂ -eq/m ³ /km] (per as, per schip, per leiding)
$Transport_1$	= transport van baggerlocatie naar doorgangsdepot of stortlocatie
$Transport_2$	= transport van doorgangsdepot naar toepassingslocatie
$d_{1,2}$	= enkele reis afstand tussen locaties [kilometer]
T_{fac}	= Transportfactor
T_{fac}	= 1 voor leidingtransport
T_{fac}	= 2 voor transport per as en per schip (retour)
Vol_{fac}	= Bulkvolume verandering in vergelijking met initieel volume
$EM_{sediment}$	= Emissies uit sediment (Bijlage I)

3.1.3 BEOORDELING VOLUMES

Het circulariteitsaspect 'Volumes' bestaat uit twee onderdelen. Allereerst de toevoegingen van stoffen die benodigd zijn om de baggerspecie op te werken tot een bepaalde toepassing. Ten tweede, het netto volume baggerspecie dat nuttig kan worden hergebruikt. Dit volume, uitgedrukt als volumepercentage, wordt bepaald door de vraag van de markt naar een specifieke toepassing en daardoor ook het gedeelte dat uiteindelijk hergebruikt wordt.

Toegevoegd volume

Het toegevoegde volume omvat alle toevoegingen aan de baggerspecie om een uiteindelijke verwerking of toepassing mogelijk te maken. Een dergelijke bewerkingsstap is aan de orde voor de toepassingen 'Oeverblokken' en 'Dijkversterking'. Voor de 'Oeverblokken' worden binders (cement, kalk, geopolymeren etc.) of toeslagstoffen (zand, klei, grind) toegevoegd. Voor toepassing van baggerspecie als dijkversterking kan het zo zijn dat er een bewerking gedaan dient te worden om de juiste civiel-technische eigenschappen voor dijkklei te bereiken (Paragraaf 2.2.1.3).

Volume hergebruikt

Volume hergebruikt betreft het percentage van het netto gebaggerde volume (droge stof) dat nuttig kan worden hergebruikt in een toepassing. Dit percentage wordt bepaald door de marktvrage die regionaal kan verschillen en daardoor lokale marktkennis vereist. Het storten van verontreinigd materiaal wordt als niet nuttig beschouwd, omdat dit materiaal wordt onttrokken uit het huidige systeem en geen nuttige herbestemming krijgt.

Voor de berekening van het circulariteitsaspect Volumes wordt het geometrische gemiddelde van beide componenten gebruikt zodat de componenten evenredig bijdragen ongeacht hun waarden:

$$VO = \sqrt{VO_{toepassing, toegevoegd} \cdot VO_{toepassing, hergebruikt}}$$

3.1.4 BEOORDELING NATUUR EN SYSTEEM

Het circulariteitsaspect Natuur en Systeem omvat het streven naar actief gebruik van natuurlijke processen en het hoogwaardig toepassen van baggerspecie passend in het huidige systeem waardoor de inpassing niet ten koste gaat van andere (maatschappelijke) waarden en kringlopen (Paragraaf 2.3.1). In de huidige

fase is dit circulariteitsaspect opgedeeld in twee groepen: natuurlijke inpassing en hoogwaardig hergebruik. Er zijn waardes toegekend aan deze groepen op basis van interne en externe enquêtes, omdat dit aspect een kwalitatieve inschatting betreft.

Natuurlijke inpassing

In de enquêtes werden de respondenten gevraagd om de toepassingen te verdelen over zes categorieën (Tabel 3-1). Op basis van de ontvangen respons is een gemiddelde natuurlijke inpassingsscore per toepassing bepaald.

Tabel 3-1 Beoordelingscategoriën natuurlijke inpassing

Score	Beoordelingscategorie
0	Storten
1	Sediment opwerken tot bouwstof
2	Sediment opwerken tot grond met een bewerking
3	Sedimentatie op oevers in een ander systeem
4	Sedimentatie op oevers in hetzelfde systeem
5	100% natuurlijk proces

Hoogwaardig hergebruik

In de enquêtes werden de respondenten gevraagd om aan te geven per toepassing hoeveel partijen/afdelingen waarde toevoegen aan de baggerspecie. De respondenten hadden de keuze uit 0 – 10. De hoogwaardige hergebruik score per toepassing is gebaseerd op respons op de enquête, waarbij de uiteindelijke score is gehalveerd zodat de natuurlijke inpassingsscore en de hoogwaardige hergebruik score eenzelfde gewing toe te kennen.

$$NS = \frac{(\text{Natuurlijke inpassing} + \text{Hoogwaardig hergebruik})}{2}$$

3.2 MAATSTAF CIRCULAIR BAGGERBEHEER

In Paragraaf 3.1 zijn de formuleringen voor de circulariteitsaspecten toegelicht. Echter, de scores voor de vier circulariteitsaspecten geven nog geen eenduidig antwoord in hoeverre een bepaalde baggerketen circulair is. Dit inzicht kan pas worden verkregen als duidelijk is hoe een baggerketen presteert ten opzichte van een bepaalde maatstaf. In deze studie is gekozen om een circulariteitsmaatstaf voor (regionaal) baggerbeheer op te stellen op basis van fictieve referentiescenario's. Deze referentiescenario's omvatten 49 ketenvariëaties (Bijlage H) van gangbare baggerketens voor regionaal baggerbeheer (Paragraaf 2.2) die zijn doorgerekend voor een scala aan mogelijke data invoer (Paragraaf 3.2.1). Aan elk scenario is een circulariteitscore toegekend op basis van de prestatie van het scenario ten opzichte van alle doorgerekende scenario's. Oftewel, de doorgerekende scenario's fungeren tezamen als maatstaf voor circulair baggerbeheer.

3.2.1 REFERENTIE SCENARIO'S

Ten behoeve van de vaststelling van de circulariteitsmaatstaf (Paragraaf 3.2) voor baggerbeheer is invoerdata en de daarbij horende spreiding in kaart gebracht. Deze data-invoer is gebaseerd op referentieprojecten en literatuur (Bijlage G).

In totaal bestaat de referentiedataset uit 276.075 scenario's. Deze scenario's zijn samengesteld door een selectie van 49 baggerketenopties (opgesteld op basis van vier ketentoepassingen, zie Bijlage H), door te

rekenen. Dit is gedaan voor verschillende referentiedata mb.t. invoer, transportafstanden, sedimenteigenschappen en toepassingseigenschappen (Tabel 3-2).

Tabel 3-2 Overzicht van de samenstelling van de referentiescenario's

Onderdeel	Aantal variaties	Toelichting
Verschillende ketens	49	Zie Bijlage H
Referentiedata invoer	3	Op basis van de referentie data (Bijlage G) zijn drie variaties doorgerekend. (1) laag scenario, (2) middel scenario en (3) hoog scenario. De waardes horende bij het lage en hoge scenario zijn respectievelijk de waardes uit (Bijlage G) welke resulteren in lagere -en hogere circulariteitsscores. Het middel scenario (2) is gebaseerd op gemiddelde waardes van de getoonde waardes in (Bijlage G).
Transportafstand 1		
Leidingtransport	3	0,1, 1, 5 km
Transport per as en schip	3	1, 75, 150 km
Transportafstand 2		
Leidingtransport	0	-
Transport per as en schip	3	1, 50, 100 km
Emissies uit sediment		
Leeftijd organische stof	3	0,5, 3, 10 jaar
Percentage organische stof	5	1, 5, 25, 50, 75 %
Laagdikte	3	Laag, middel, hoog laagdikte scenario's. De waardes verschillen per toepassing en zijn weergegeven in Bijlage G.
Hergebruikt volume	5	0, 25, 50, 75, 100 % ten behoeve van berekening van het Volumes circulariteitsaspect (Paragraaf 3.1.3).

3.2.2 BEPALING VAN DE CIRCULARITEITSSCORES

De circulariteitsscore per keten is gebaseerd op de gezamenlijke prestatie van de keten op de vier circulariteitsaspecten. Met behulp van een rekenvoorbeeld wordt dit inzichtelijk gemaakt. Dit rekenvoorbeeld omvat een fictieve referentiedataset bestaande uit drie referentiescenario's. Ter vergelijking en verduidelijking: de dataset die wordt gehanteerd in de overkoepelde studie omvat ten minste 276.075 referentiescenario's (Paragraaf 3.2.1). De ketenprestatie voor de circulariteitsaspecten zijn in de kolommen getoond. Deze scores zijn verkregen door toepassing van de formuleringen zoals weergegeven in Paragraaf 3.1. De negatieve KW-scores duiden erop dat de kosten hoger zijn dan de gecreëerde waarde voor alle drie de referentiescenario's.

Tabel 3-3 Rekenvoorbeeld referentiescenario's met bijhorende prestaties voor de circulariteitsaspecten. KW = Kosten en Waarden, EM = Emissies, VO = Volumes, NS = Natuur en Systeem.

Referentie scenario	KW score [EUR/m ³]	EM score [kg CO ₂ -eq/m ³]	VO score [%]	NS score [-]
A	-10	800	20	0,5
B	-20	1500	5	2,7
C	-15	650	80	2,6

De waardes voor de circulariteitsaspecten in Tabel 3-3 hebben niet dezelfde eenheid en kunnen daarom niet worden gesommeerd. Om een sommatie mogelijk te maken worden de scores voor de circulariteitsaspecten dimensieloos gemaakt door toepassing van een MinMax schaler. Deze lineaire schalingstechniek schrijft per circulariteitsaspect een waarde 1,0 toe aan het best presterende scenario en een 0,0 toe aan het minst presterende scenario. In dit rekenvoorbeeld zijn er slechts drie scenario's met verschillende waardes, hierdoor zal er altijd één scenario het best en één scenario het minst goed presteren. Het resterende scenario krijgt een waarde toegekend op basis van de positioning t.o.v. het best presterende

scenario (Max) en het minst presterende scenario (Min). De resultaten van de schaling voor dit rekenvoorbeeld zijn weergegeven in Tabel 3-4. De geschaalde score voor het circulariteitsaspect emissies is omgekeerd evenredig met de niet-dimensieloze scores. Met andere woorden, een lagere emissie resulteert in een hogere circulariteitsscore.

Tabel 3-4 Rekenvoorbeeld referentie scenario's met bijhorende geschaalde prestaties voor de circulariteitsaspecten. KW = Kosten en Waarden, EM = Emissies, VO = Volumes, NS = Natuur en Systeem.

Referentie scenario	KW score [-]	EM score [-]	VO score [-]	NS score [-]	Som [-]
A	1.0	0.82	0.2	0.0	2.02
B	0.0	0.0	0.0	1.0	1.00
C	0.5	1.0	1.0	0.95	3.45

Uit de scores in Tabel 3-4 kan worden opgemaakt dat scenario B het slechts scoort op Kosten-Waarde, Emissies en Volumes, maar het best scoort op het circulariteitsaspect Natuur en Systeem. De toegekende circulariteitsscore wordt gegeven door de sommatie van de circulariteitsaspecten scores (rechter kolom Tabel 3-4).

De aanpak beschreven voor het rekenvoorbeeld is toegepast voor de gehele dataset (276.075 scenario's) en geeft daardoor een robuuste maatstaf voor circulair baggerbeheer. De gevoeligheid van de deelscores en circulariteit scores voor verschillende invoer wordt behandeld in Hoofdstuk 5. In communicatie met de gebruiker van het toetsingsinstrumentarium worden geen numerieke circulariteitsscores weergegeven, maar circulariteitslabels variërend van A⁺⁺⁺ tot D. De omzetting van numerieke scores naar labels gebeurt op basis van gelijke kwantielen. Hierdoor wordt de gehele dataset opgeknipt in zeven gelijke delen. Het minst presterende deel krijgt het label D en het best presterende deel, heeft het label A⁺⁺⁺. De optelling van de subscores per circulariteitsaspect suggereert dat er een gelijke weging is toegepast tussen de aspecten. De gebruiker heeft echter de mogelijkheid om in de bèta-versie van het instrumentarium de weging per circulariteitsaspect aan te passen (meer hierover in Hoofdstuk 4).

3.3 PROJECT-SPECIFIEKE CIRCULARITEITSSCORES

Het toetsingsinstrumentarium staat toe dat de gebruiker op basis van zijn/haar projectdata een circulariteitsscore kan krijgen, in vergelijking met de referentiescenario's. Het gebruik van de tool is nader toegelicht in Hoofdstuk 4, maar hier wordt stilgestaan bij de berekening van de circulariteitsscore op basis van specifieke projectdata.

Op basis van de invoer van de gebruiker (zie voor details Hoofdstuk 3) wordt de prestatie op de circulariteitsaspecten berekend, gebruikmakend van de formuleringen zoals weergegeven in Paragraaf 3.1. De resulterende waarden (vergelijkbaar met een regel uit Tabel 3-3) worden toegevoegd aan de scenario's waarna opnieuw een schaling plaatsvindt. Met andere woorden, de circulariteitsscore van het project wordt bepaald op basis van de project-specifieke prestaties ten opzichte van de circulariteit maatstaf voor baggerbeheer.

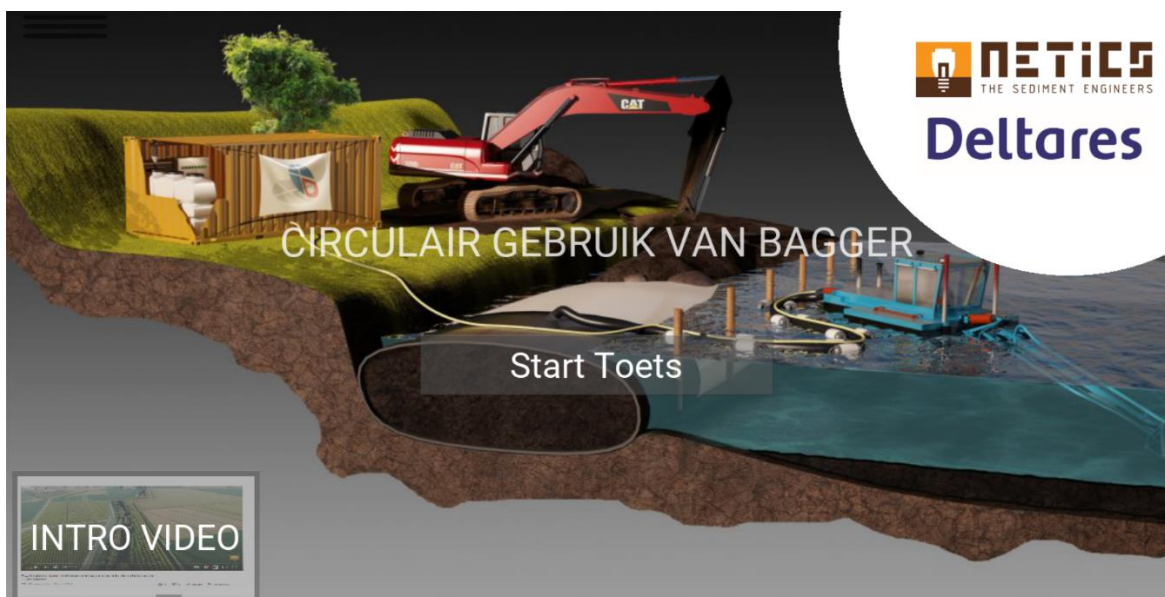
4

HET GEBRUIK VAN HET TOETSINGSINSTRUMENTARIUM

Er is een praktisch inzetbaar en uitbreidbaar toetsingsinstrumentarium ontwikkeld waarmee gebruikers inzage krijgen in de mate van circulariteit van mogelijke baggerketens.

Het instrument is ontworpen met volgende doelen:

- Praktisch inzetbaar
- Makkelijk en snel naar een resultaat, met de mogelijkheid om een verdiepende analyse uit te voeren
- Mogelijkheid voor gebruikersspecifieke aanpassingen (bijv. in materieel)
- Ondersteuning voor bewuste keuzes (bijv. inzicht geven in de mate van circulariteit voor alle aspecten of ketenstappen)
- Direct bruikbaar voor beperkte toepassingen, met mogelijkheid voor uitbreiding.



Figuur 4-1 Startscherm circulariteitstool voor baggerspecie

In dit hoofdstuk is het gebruik van de tool stap per stap uitgelegd, samen met de invoer en het format van het resultatenoverzicht.

4.1 INVOER VAN DE TOOL

De invoer van de tool is wat de gebruiker in de tool moet invullen om een resultaat te krijgen. Deze invoer is in te delen in verschillende categorieën (De tool maakt gebruik van een set met basisvariabelen voor het berekenen van de circulariteitsscore (Bijlage G)). Deze kunnen eventueel van tevoren aangepast worden

in de catalogus in excel-formaat. Een gedeelte van de basisvariabelen is alleen aanpasbaar in uitzonderlijke situaties en dient door de ontwikkelaar gedaan te worden. Daarnaast kan de gebruiker een aantal basisvariabelen van de casus in de tool invullen, zoals de baggerhoeveelheid en transportafstanden.

4.1.1 TECHNISCHE VEREISTEN

De tool is uitgebracht in de vorm van een uitvoerbestand (*.exe-bestand) bedoeld voor Windows. De volgende zaken zijn vereist alvorens de tool gebruikt kan worden. Deze zijn uitgebreid beschreven in de "Handleiding en workshopleidraad" (NETICS & Deltares, 2021), maar zijn hieronder kort uiteengezet:

- Installatie van de tool:
 - a) uitpakken .rar/.zip-bestand naar bureaublad
 - b) het uitvoeren van het installatiebestand ter installatie van de tool
 - c) uitvoeren van de tool door het aanklikken van de snelkoppeling op het bureaublad
- Windows XP of recenter
- PC met Open-GL ondersteuning (alle gangbare PC's)
- Microsoft Excel

Het aanpassen van bestanden aangeleverd in het softwarepakket is zonder toestemming en zonder direct gevolg van het gebruik van de tool niet toegestaan en kan leiden tot een beschadiging van het toetsingsinstrumentarium en zelfs foute uitkomsten.

4.1.2 GERICHTE AANPASSING TYPE GEBRUIKER, RANDVOORWAARDEN EN VOORBEREIDING

Voordat de eindgebruiker de tool gaat gebruiken, zal eventueel een afstemming plaatsvinden met de eindgebruiker haar persoonlijk voorkeuren aan kan geven. Dit zal vooral gaan over bepaalde aannames in de toetsingsmethodiek die voor een gebruiker eventueel anders zouden kunnen zijn, bijvoorbeeld het gebruik van een bepaald type materieel. Naar aanleiding hiervan heeft de gebruiker de mogelijkheid om een deel van de basiswaarden aan te passen. Dit kan de gebruiker doen in een speciaal ontworpen catalogus (Figuur 4-2).

The image shows a screenshot of a software catalog page. On the left, there is a photograph of a construction site with a yellow excavator working in a trench. On the right, there is a table titled 'Kosten en baten' (Costs and Benefits) with the following data:

Kosten en baten	
Kosten uitvoering	5 euro / m ³
Emissies	
CO ₂ -equivalent uitvoering	0,35 kg CO ₂ -eq / m ³
Volumes	
Volumevermindering	4,50 %

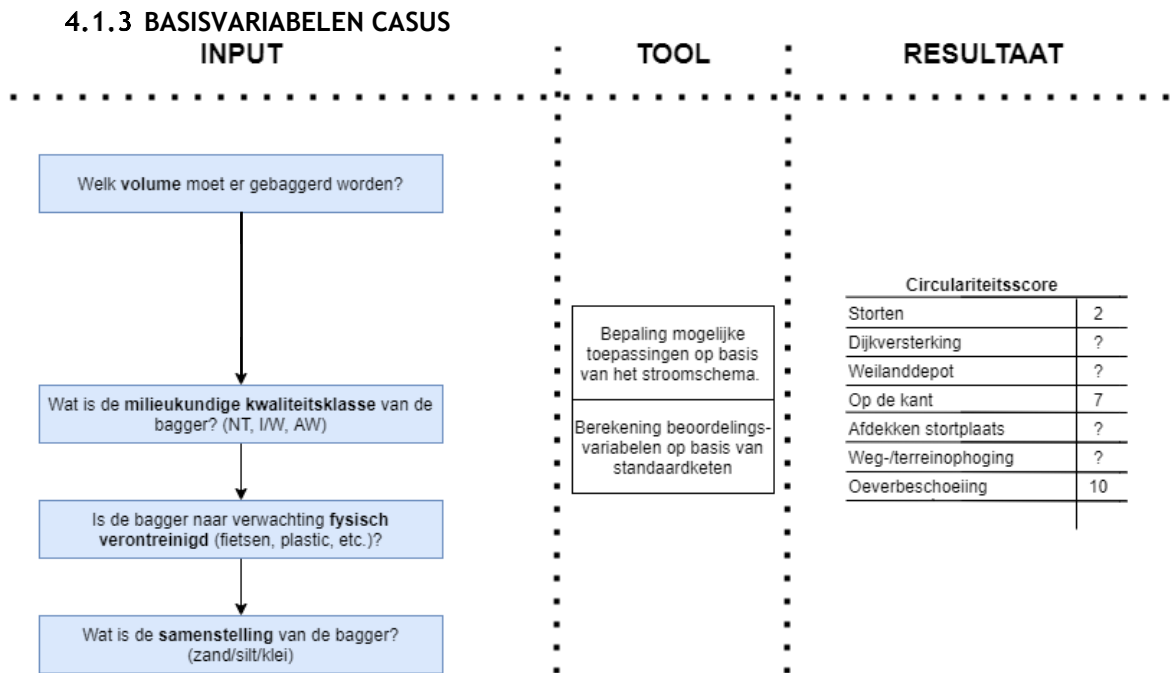
Below the table, there is a section for 'Aanpassbare waarden' (Adjustable values) with a table:

Parameter	Waarde	Eenheid
Kosten uitvoering	5	euro/m ³
CO ₂ -equivalent uitvoering	0,35	kg CO ₂ -eq/m ³
Volumevermindering	4,50	%

Figuur 4-2 Voorbeeld van een pagina in de catalogus en de bijbehorende aanpasbare waarden

De bepaling van de beschikbare waarden voor de gebruiker is gebaseerd op de afweging in hoeverre de waarden van de gebruiker dusdanig afwijken van de basiswaarden, dat het een significante invloed heeft op de beoordeling voor circulariteit. Een overzicht met aanpasbare variabelen is opgenomen in Bijlage F. In het geval de gebruiker aanpassingen wil maken in waarden die niet in Bijlage F staan, dan dient de gebruiker contact op te nemen met de ontwikkelaar om samen de andere waarden vast te stellen. In deze stap kan ook alvast een duidelijke toelichting plaatsvinden voor het aanpassen van waarden in de catalogus met eventueel een sessie waarin

de gebruiker en de ontwikkelaar samen waarden veranderen. Dit zorgt er uiteindelijk voor dat het instrumentarium 'tailor-made' wordt gemaakt en zo praktisch inzetbaar is voor de eindgebruiker.



Figuur 4-3 Stroomschema van het gebruik van de tool; van invoer, naar berekeningen naar resultaat.

De gebruiker doorloopt enkele invoerschermen alvorens de circulariteitscore per mogelijke keten berekend worden (Figuur 4-3 en Figuur 4-4):

1. Invoervolumes en transportafstanden
2. Invoer toepasbaarheid baggerspecie en chemische kwaliteit
3. Invoer fractie verdeling (zand, silt, klei en organische koolstof) en fysische verontreiniging
4. Wijzigingen aan invoer en weging circulariteitsaspecten

Invoer 1: Volumes en transportafstanden

Toelichting	Hoeveelheid	<input type="text" value="1000"/>	m ³
	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 en toepasbaarheid

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

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px;">x</td><td style="width: 100px;">Kostenbetan</td><td style="width: 20px;">25%</td></tr> <tr><td>x</td><td>Erressas</td><td>25%</td></tr> <tr><td>x</td><td></td><td>25%</td></tr> <tr><td>x</td><td>Natuur en milieu</td><td>25%</td></tr> </table>	x	Kostenbetan	25%	x	Erressas	25%	x		25%	x	Natuur en milieu	25%	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100px; border: 1px solid red; padding: 5px;">Resultaat 1</td> <td style="width: 50px; border: 1px solid red; padding: 5px;">Op de kant A++</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid red; padding: 5px;">Resultaat 2</td> <td style="border: 1px solid red; padding: 5px;">Terreinhoging D</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid red; padding: 5px;">Resultaat 3</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid red; padding: 5px;">Resultaat 4</td> <td></td> </tr> </table>	Resultaat 1	Op de kant A++	Resultaat 2	Terreinhoging D	Resultaat 3		Resultaat 4	
x	Kostenbetan	25%																			
x	Erressas	25%																			
x		25%																			
x	Natuur en milieu	25%																			
Resultaat 1	Op de kant A++																				
Resultaat 2	Terreinhoging D																				
Resultaat 3																					
Resultaat 4																					

Invoer

Aspecten Aan- en uitvinken Weging

Figuur 4-4 Overzicht van de drie invoerpagina's die doorlopen dienen te worden bij het gebruiken van het toetsingsinstrumentarium en de resultatenpagina.

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 (oeverblokken en op de kant) afgeschermd getoond. Voor een willekeurige set specifieke invoerwaardes en cataloguswaardes is de hoogste circulariteitsscore toegekend aan de keten met oeverblokken als toepassing, gevolgd door verspreiding op de kant en storten.

Voor deze stappen wordt aangenomen dat de gebruiker een waterbodemonderzoek uitgevoerd heeft (laten worden) (Tabel 4-1). De interface is, wat betreft terminologie en keuzemogelijkheden, volledig afgestemd op een waterbodemonderzoek dat verwerkt is met de BOTOVA (Rijkswaterstaat, (2016) software.

Tabel 4-1 Benodigd voor onderzoek voor het invullen van de invoervariabelen in het toetsingsinstrumentarium, zoals een waterbodemonderzoek

Variabele	Eenheid	Bron eindgebruiker
Baggerhoeveelheid	m ³	Inmeting
Transportafstanden (depot, stort)	km	Waterschapsareaal
Textuurfracties (zand, silt, klei, organische fractie)	%	Waterbodemonderzoek
Chemische kwaliteit (a.d.h.v. Bbk)	%	Waterbodemonderzoek
Fysische verontreiniging	Ja/Nee	Waterbodemonderzoek

Bij het invullen van de variabelen verwerkt het instrumentarium de antwoorden zodat deze later gebruikt kunnen worden voor berekening van de circulariteitsscore

Aanpassing van alle variabelen is op elk moment nog mogelijk, zowel in een latere pagina als bij terugkomst op invulpagina's.

Figuur 4-5 Een schematische weergave van invoerpagina 1 van het toetsingsinstrumentarium

4.1.4 BESCHIKBARE TOEPASSINGEN

Na het invullen van de basisvariabelen zal de gebruiker direct een overzicht te zien krijgen van de beschikbare toepassingen. De niet-beschikbare toepassingen zullen in grijs gearceerd zijn, maar toch een score krijgen om deze optie eventueel her te overwegen. De beschikbaarheid van een toepassing, zoals beschreven, is afhankelijk van de uitvoer van de eisentabel (Bijlage B).

4.2 OUTPUT VAN DE TOOL

De resultaten van de tool zijn verzorgd in één resultatenpagina. Deze pagina heeft tal van mogelijkheden, zoals de visualisatie van subscores, sortering van scores, visualisatie van individuele ketens, het aanpassen van casussen, de aanpassing van de weging van circulariteitsaspecten en het aanpassen van ketenwaarden. De mogelijkheden van de resultatenpagina van de tool zijn gevisualiseerd in Figuur 4-7.

Ten behoeve van de gebruiksvriendelijkheid zullen de scores op de resultatenpagina in het formaat van energielabel weergegeven worden (Figuur 4-6). Er is gekozen voor dit format vanwege het herkenbare karakter van een energielabel als toetsingscriterium voor zaken gerelateerd aan circulariteit en milieu.



Figuur 4-6 Overzicht van de gebruikte collectie van labels voor het weergeven van de score voor circulariteit



1. Menu om naar andere pagina's te navigeren
2. Knop om PDF te exporteren (fase III)
3. Functie om toepassingen te sorteren
4. Disclaimer voor het gebruik van de tool
5. Aanpassen van baggerhoeveelheden en transportafstanden
6. Aanpassen van chemische kwaliteit
7. Aanpassen van textuurfracties
8. Scores voor de verschillende circulariteitsaspecten

9. Circulariteitslabel voor de specifieke toepassing
10. Visualisatie en aanpassen van de ketenstappen, Eventueel aanpassen van transportafstanden
11. Link naar de catalogus
12. In- en uitschakelen circulariteitsaspecten
13. Terug naar de vorige pagina
14. Herberekenen van de scores

Figuur 4-7 Visualisatie van de resultatenpagina inclusief een indicatie van de functies op de pagina.

4.3 AANPASSING VAN DE CATALOGUS

In het geval een specifieke toepassing aangeklikt is, en de keten zichtbaar is, kan de gebruiker bij elke ketenstap, een button in de vorm van een plusteken aanklikken (Figuur 4-8):

10. **Toepassen als Oeverbeschouwing** 12.

Kosten en baten		
Kosten uitvoering	4	euro / m ³
Emissies		
CO ₂ -equivalent uitvoering	2.53	kg CO ₂ -eq / m ³
Volumes		
Volumevermindering	0.00	%

Kosten en baten	
Kosten uitvoering	4 euro / m ³
Emissies	
CO ₂ -equivalent uitvoering	2.53 kg CO ₂ -eq / m ³
Volumes	
Volumevermindering	0.00 %

Keuzemogelijkheden:
 Grীগree: Milieuschijnkrak / Voogakap / Warmiel / Schoofkap
 Motor: Dieselmotor

Figuur 4-8 Weergave van de functie om ketens te visualiseren en naar de catalogus te gaan uit de resultatenpagina van het toetsingsinstrumentarium.

Het klikken van het plus-teken zal de gebruiker direct naar een Microsoft Excel-omgeving brengen waarin de catalogus te zien is. De gebruiker zal direct op de juiste pagina van de catalogus gebracht worden overeenkomend met de stap in de keten die aangeklikt is. De gebruiker kan in de cataloguswaarden aanpassen gerelateerd aan de stap (bijv. kosten schuifboot). Bij het afsluiten van de Excel of terugkeren bij de tool, zal het toetsingsinstrumentarium de ingevoerde waarden meenemen in het berekenen van de score en de nieuwe scores visualiseren. De aanpassingen in de catalogus zullen gereset worden bij het afsluiten van de tool. Eventuele permanente aanpassingen kunnen alleen bewerkstelligd worden in overleg met de ontwikkelaar.

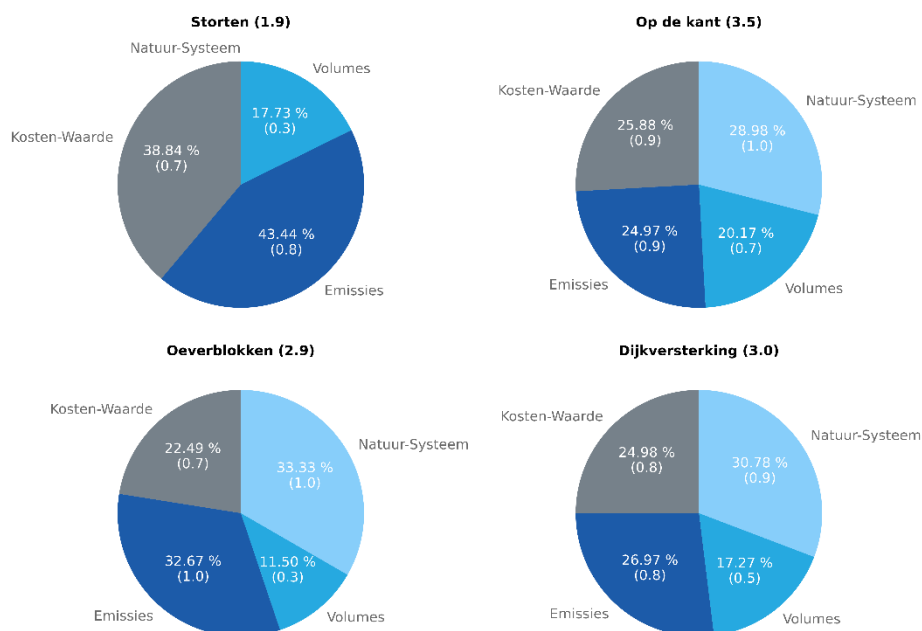
5

RESULTATEN

Dit hoofdstuk behandelt de resultaten van het toetsingsinstrumentarium circulair baggerbeheer. Allereerst wordt ingegaan op de circulariteitscores van de vier toepassingen ('Op de kant', 'Storten', 'Oeverblokken', 'Dijkversterking') (Paragraaf 5.1). Daarna wordt de werking van het instrumentarium nader toegelicht op basis van resultaten van een gevoeligheidsanalyse (Paragraaf 5.2).

5.1 OVERZICHT DATABASE RESULTATEN VOOR VIER TOEPASSINGEN

De opgestelde referentiedataset bevat een ruime hoeveelheid data over de ketens en hun score op de circulariteitsaspecten. Door het meenemen van een spreiding rond de randvoorwaarden is er geen sprake van één bepaalde keten die in alle gevallen kan worden bestempeld als het meest circulair. De meest circulaire keuze hangt af van projectafwegingen en -omstandigheden, bijvoorbeeld transportafstanden, beschikbaarheid van materieel en vraag naar een bepaalde (hoogwaardige) toepassing. Afhankelijk van deze keuzes kan bijvoorbeeld een 'Dijkversterking' meer circulair zijn dan opwerking tot 'Oeverblokken' en vice versa. De resultaten voor de vier casussen ('Storten', 'Op de kant', 'Oeverblokken', 'Dijkversterking') worden hier getoond.

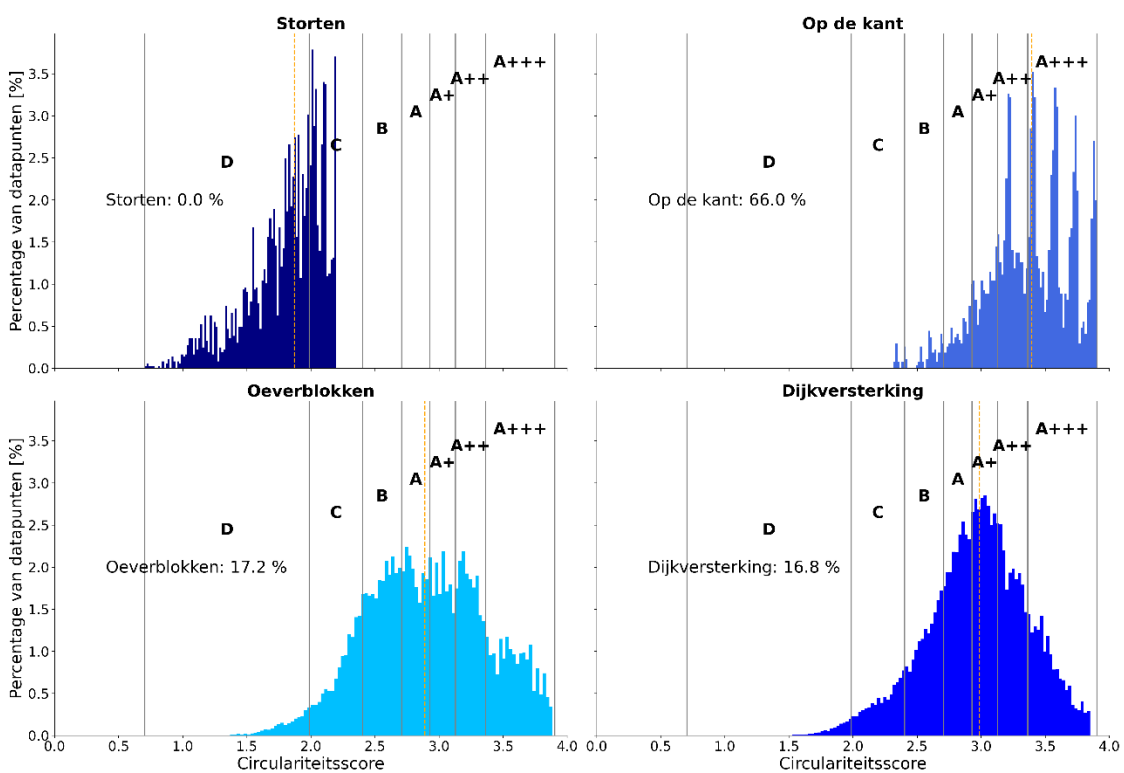


Figuur 5-1 Scoring op de vier circulariteitsaspecten voor de vier toepassingen. Getallen tussenhaakjes in de taartdiagrammen zijn de sub-scores per circulariteitsaspect en in de titel de numerieke circulariteitsscore per toepassing. De percentages geven de bijdrage weer van de circulariteitsaspecten tot het totaal.

De resultaten van het toetsingsinstrumentarium laten zien dat gemiddeld genomen de baggerketens met als toepassing 'Op de kant' het best scoren, gevolgd door 'Dijkversterking', 'Oeverblokken' en 'Storten' (Figuur 5 1). De scores in dit figuur zijn gebaseerd op de medianen van alle referentiescenario's horende bij één van de vier toepassingen. De spreiding dekt de gehele variatie projectafwegingen -en

omstandigheden. De relatief kleine verschillen in de mediane score voor 'Op de kant' (3.5), 'Dijkversterking' (3.0) en 'Oeverblokken' (2.9) leidt ertoe dat de rangorde tussen de toepassing niet altijd gelijk is.

In Figuur 5-2 zijn de spreidingen zichtbaar voor de baggerketens horende bij de vier toepassingen. In dit figuur is de mediane circulariteitsscore weergegeven met een verticale stippellijn en laat dezelfde rangorde zien als in Figuur 5-1. Echter, de spreiding laat zien dat de meest circulaire toepassing niet altijd 'Op de kant' hoeft te zijn. De spreidingen worden veroorzaakt door zowel lokale systeemvariabelen (bijvoorbeeld percentage organische stof), project-specifieke omstandigheden (bijvoorbeeld afstanden tot toepassingslocaties), maar ook materieelkeuzen. De percentages in Figuur 5-2 representeren het aantal situaties waarin de toepassing het meest circulaire is volgens de opgestelde maatstaf circulair baggerbeheer. Hieruit volgt dat 'Storten' nooit de meest circulaire keuze is en dat 'Op de kant' doorgaans als het meest circulaire wordt aangemerkt. Factoren die invloed hebben op de circulariteitsscores worden behandeld in de volgende paragraaf.



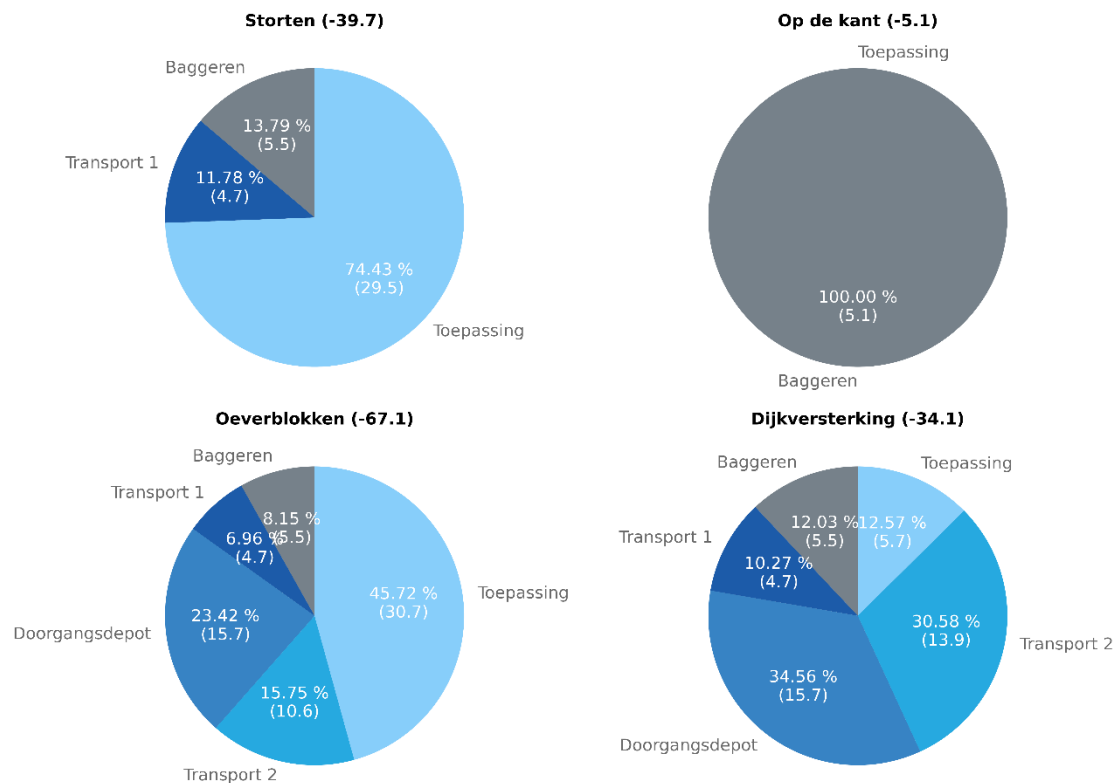
Figuur 5-2 Histogram met de spreiding van de circulariteitsscores voor de vier toepassingen. Op de horizontale as staan de numerieke circulariteitsscores. De verticale lijnen geven de circulariteitsklassen weer horende bij de circulariteitslabels. Het weergegeven percentage geeft aan in welk percentage van de gevallen deze toepassing als meest circulaire wordt aangemerkt volgens de circulair baggerbeheer maatstaf.

5.2 GEVOELIGHEIDSANALYSE

De maatstaf circulair baggerbeheer (Paragraaf 3.2) bevat een groot aantal referentiescenario's (>276.075). Deze dataset geeft de mogelijkheid om inzicht te verkrijgen in de invloed van invoerparameters op de scores per circulariteitsaspect en op de uiteindelijke circulariteitscores. De gevoeligheidsanalyse in deze paragraaf geeft enerzijds inzicht in de invloed van parameters en laat daarmee zien hoe beheerkeuzes doorwerken, anderzijds laat de analyse ook de mate van robuustheid van het instrument zien. Deze paragraaf start met het geven van inzicht in het aandeel van de baggerketenstappen op de circulariteitsaspecten Kosten-Waarde en Emissies. Deze twee circulariteitsaspecten worden uitgebreider toegelicht dan de circulariteitsaspecten Volumes en Natuur en Systeem, omdat de eerstgenoemde circulariteitsaspecten meer scoringsopties bevatten. Volumes en Natuur en Systeem daarentegen hebben (enkel) betrekking op de laatste ketenstap (Toepassen). Vervolgens wordt achtereenvolgens ingegaan op de invloed van keuzes voor baggermaterieel, transportmodi, transportafstand, cataloguswaarden, volume hergebruikt en factoren welke invloed hebben op emissies uit sediment. In Bijlage K zijn additionele figuren bijgevoegd van deze analyse.

5.2.1 KOSTEN-WAARDE: AANDEEL KETENSTAPPEN

De geselecteerde baggerketens hebben niet hetzelfde aantal ketenstappen. Dit werkt direct door in de toetsing op het aspect Kosten-Waarde. Bijvoorbeeld, de toepassing 'Op de kant' heeft slechts twee stappen; baggeren en toepassen. In de referentiescenario's wordt het circulariteitsaspect Kosten-Waarde voor de toepassing op de kant bepaald door de ketenstap baggeren. De kosten en waarde voor de toepassingsstap zijn netto nul euro per kuub, omdat de kosten en de toegevoegde waarde hier gemiddeld in evenwicht zijn (Bijlage G). Hierdoor is het aandeel van baggeren (5,1 euro/m³) voor deze toepassing 100% (Figuur 5-3).



Figuur 5-3 Aandeel van de baggerketenstappen voor het circulariteitsaspect Kosten-Waarde. Cijfers tussen haakjes representeren de netto bedragen (waarde minus kosten) in euro's per kuub baggerspecie per ketenstap. De percentages geven de bijdragen weer van de ketenstap tot de totaalscore voor het circulariteitsaspect Kosten-Waarde.

De mediane kosten voor baggeren zijn hoger voor de andere toepassingen (5.5 euro/m³), omdat enkel voor de toepassing 'Op de kant' de mogelijkheid is meegenomen om te baggeren middels een tractor met een pomp. Deze baggermethode is in de referentiescenario's iets goedkoper ten opzichte van de gemiddelde baggerkosten van alle methodes (Bijlage G).

Transportkosten zijn verantwoordelijk voor meer dan 10 % van de totale kosten binnen alle ketens (exclusief 'Op de kant' ketens welke geen transportstap kennen). Hierbij moet worden opgemerkt dat de kosten voor het 1^e transport doorgaans hoger liggen dan het geval is bij het 2^e transport, omdat het bulkvolume door de keten afneemt (water en fysieke verontreinigingen blijven achter). Dit effect is niet zichtbaar in Figuur 5-3, omdat de optie leidingtransport voor de 1^e transportstap vanwege de relatief korte leidingtransportafstanden de mediane transportkosten voor het 1^e transport naar beneden brengt. De Kosten-Waarden score voor de toepassingen 'Storten' en 'Oeverblokken' worden sterk gestuurd door de hoge netto toepassingskosten (kosten – waarde), respectievelijk 29,5 euro/m³ en 30,7 euro/m³. Let op: de waardes voor de ketenstap 'Toepassing' bestaat uit de som van de waarde en kosten (Paragraaf 3.1.1). Voor de toepassing 'Dijkversterking' is het aandeel van de doorgangsdepotkosten het hoogst in vergelijking met de andere ketenstappen.

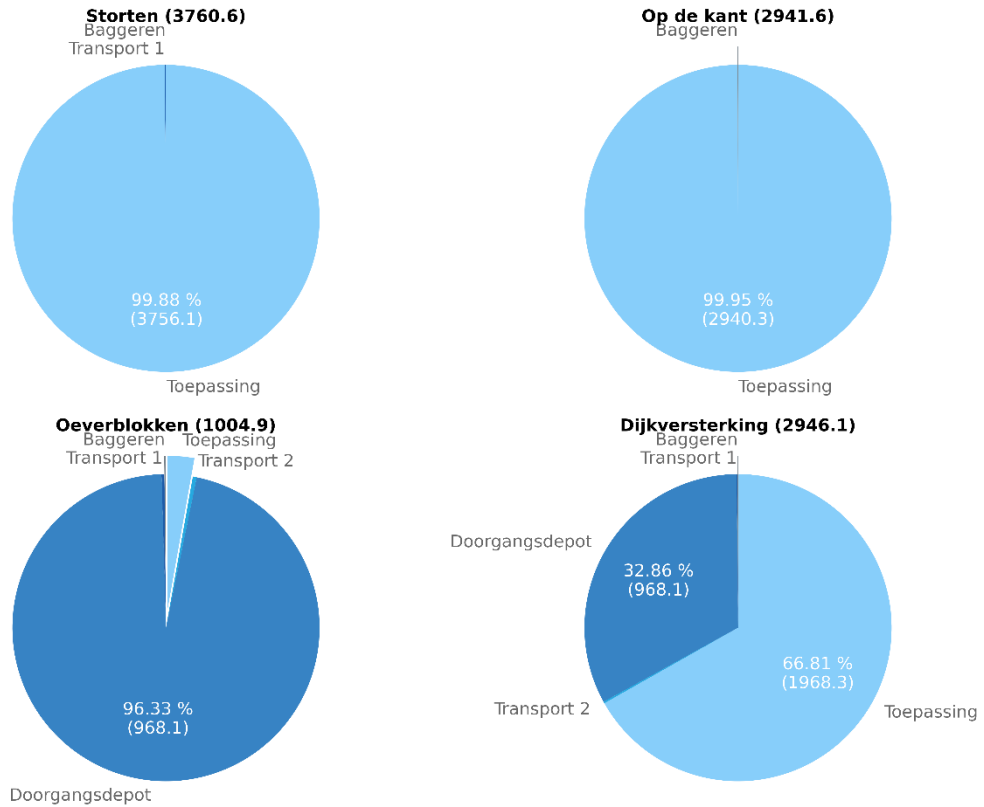
5.2.2 EMISSIES: AANDEEL KETENSTAPPEN

De totale emissies worden sterk bepaald door de emissies die door de jaren heen vrijkomen tijdens het consolidatie- en rijpingsproces (gerekend met emissies over een periode van 20 jaar, Bijlage I). Dit maakt de emissies die vrijkomen door het gebruik van materieel voor transport, baggeren en toepassingsactiviteiten ondergeschikt. Hier moet worden benadrukt dat de emissies door inzet van materieel instantaan vrijkomen en de emissies uit sediment over een langere periode. De toepassing 'Oeverblokken' presteert hier het best, omdat de aanwezige organische stof wordt vastgelegd na opwerking van baggerspecie tot blokken (Figuur 5-4).

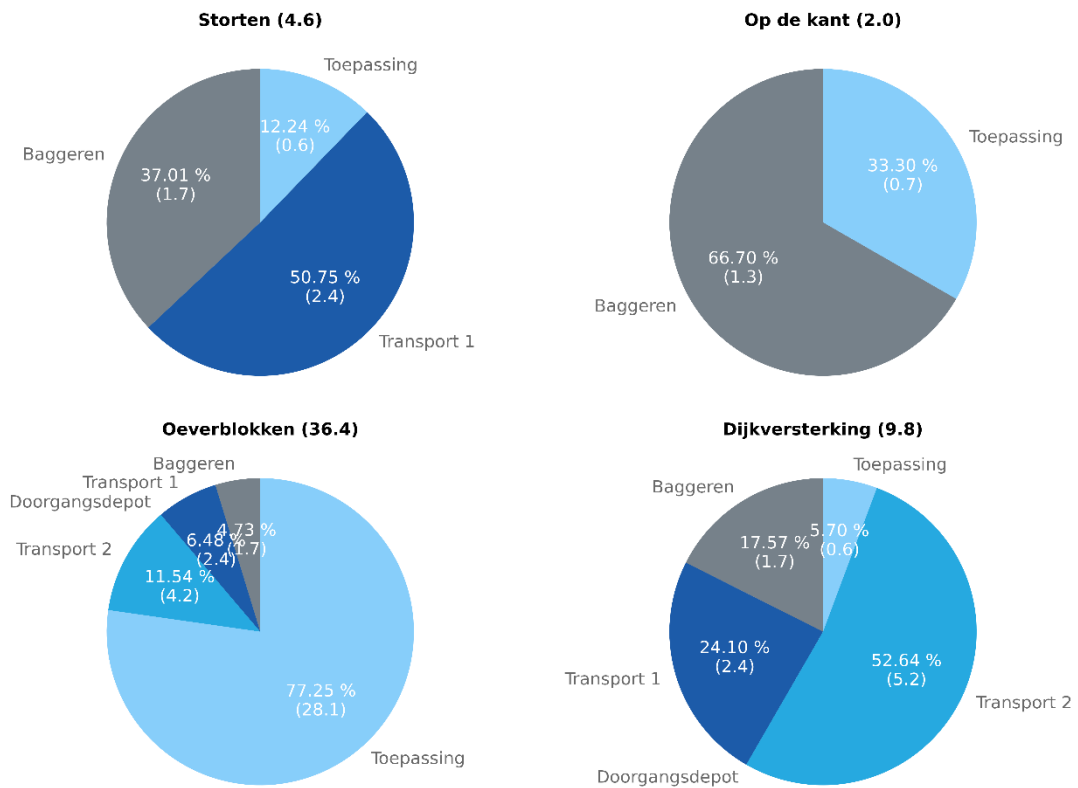
In de huidige opzet van het toetsingsinstrumentarium heeft de gebruiker de mogelijkheid om het effect van emissies uit sediment aan/uit te zetten (Hoofdstuk 4). Het uitzetten van deze functionaliteit resulteert in een significante afname van de emissies en daardoor in een herverdeling van de bijdrages van de ketenstappen aan het circulariteitsaspect Emissies (Figuur 5-5). Het meenemen van emissies uit sediment in het toetsingsinstrumentarium zal nader worden behandeld in Hoofdstuk 6. Als een beheerder of uitvoerder de emissies wil verminderen voor bijvoorbeeld een 'Dijkversterking' dan loont het om te kijken naar mogelijkheden om emissies in de toepassingstap (67% bijdrage) te verminderen. Voor toepassing als 'Oeverblokken' is het verstandig om te kijken of de emissies in het doorgangsdepot (96% bijdrage) verkleind kunnen worden.

5.2.3 INVLOED KEUZE BAGGERMATERIEEL

Het inzetten van verschillend baggermaterieel werkt door in de kosten voor het project. Waarbij de keuze voor een snijkopzuiger de totale ketenkosten doen stijgen (-2,3 %), terwijl het gebruik van een draadkraan (gecombineerd met een schuifboot) en graafmachine (gecombineerd met een schuifboot) een kleine besparing (+1,6 %, +0,7 %) teweegbrengt (Bijlage K). De uitwerking op de totale emissies in de keten is procentueel beperkt (~0,1 %). In het algemeen kan worden gesteld dat in het toetsingsinstrumentarium de keuze voor het baggermaterieel ondergeschikt is aan de keuzes voor het transport en de toepassing.



Figuur 5-4 Aandeel per baggerketenstap in de totale emissies. Waardes tussenhaakjes in kg CO₂-eq/m³(over periode van 20 jaar).



Figuur 5-5 Aandeel per baggerketenstap in de totale emissies voor scenario's waarbij emissies uit sediment niet zijn meegenomen in de berekening van het circulariteitsaspect Emissies. Waardes tussenhaakjes vertegenwoordigen emissies die instantaan vrijkomen in kg CO₂-eq/m³.

5.2.4 INVLOED VAN TRANSPORTSTAPPEN

De keuze van transporttechnieken (per as, per schip, per leiding) beïnvloedt het circulariteitsaspect Kosten-Waarde en Emissies. Transport per schip is gemiddeld per kuub per kilometer het goedkoopst. Echter komt transport per leiding naar voren, omdat de aangenomen kilometrages voor transportmodi in de referentiescenario's niet gelijk zijn (Bijlage K). Afstanden bij transport per leiding zijn kleiner dan transportafstanden per as of per schip (Hoofdstuk 3). Hierdoor zijn baggerketens met leidingtransport gemiddeld 27,2 % goedkoper en brengen 0,2 % minder uitstoot met zich mee. Transport 'per as' heeft een kostentoeename (+ 32 %) en een emissietoename (+ 0,1%) t.o.v. het gemiddelde genomen over alle ketens met een transportstap. Transport per schip is iets goedkoper (-5,2 %) en resulteert in een kleine emissietoename (+0,1 %). Let op dit zijn gemiddelde waardes t.o.v. de totale netto kosten en totale emissies van de gehele keten, dus niet enkel de transportstap. Afhankelijk van specifiek gekozen materieel en afstanden kunnen de uitkomsten afwijken.

5.2.5 INVLOED VAN TRANSPORTAFSTANDEN

Een kortere transportafstand reduceert zowel de kosten als de emissies. Bijvoorbeeld, een doorgangsdepot nabij (1 km) de baggerlocatie kan de totale keten kosten reduceren met 38 % t.o.v. van de gemiddelde keten. In een zeldzaam geval waarin tijdens de eerste transportstap de baggerspecie wordt vervoerd over een afstand van 150 kilometer zullen de totale kosten van de keten toenemen met 38,2 % (Bijlage K). De keuze voor toepassing in de nabije omgeving van de baggerlocatie is dan ook aantrekkelijker. De invloed van de transportafstand op de totale emissies in de gehele keten (inclusief emissies uit sediment) is klein (bijvoorbeeld transportafstand van 150 kilometer, +0,3 % emissie toename), omdat de grootste emissie bijdrage van sediment emissies afkomstig is (Figuur 5-4). Indien emissies uit sediment niet worden meegerekend leveren transportemissies gemiddeld de grootste bijdrage aan de totale emissies. De toepassing 'Oeverblokken' vormt een uitzondering, voor deze toepassing is de bijdrage van emissies uit het opwerkingsproces gemiddeld groter dan de transportemissies (Figuur 5-5). De mediane circulariteitsscore per toepassing varieert tussen de $\pm 5,4$ % afhankelijk van de toepassing en transportafstand voor transport per as en schip (Bijlage K).

5.2.6 INVLOED VAN CATALOGUSWAARDES

De catalogus omvat kengetallen over de kosten en emissies van materieel en toepassingen (Bijlage G). De referentiescenario's bevatten drie groepen (laag, middel, hoog) (Paragraaf 3.2.1). De keuze voor bijvoorbeeld goedkoper materieel en/of materiaal met minder uitstoot resulteert in een hogere circulariteitsscore voor de baggerketen. Keuze voor de lage waardes uit de catalogus set resulteert gemiddeld in een verhoging van de circulariteitsscore met 7,2 %, terwijl de keuze voor de hogere waardes leidt tot een afname van de score met gemiddeld 7,3 %. De uitwerking van de catalogusscenario's op de circulariteitsscore per toepassing is weergegeven in Bijlage K).

5.2.7 INVLOED VOLUME HERGEBRUIKT

Een hoger aandeel aan nuttig hergebruikt volume resulteert in een hogere circulariteitsscore (Bijlage K). Voor de toepassing 'Storten' heeft dit geen invloed, omdat storten van verontreinigde baggerspecie wordt gezien als verliespost (Paragraaf 3.1.3). Volledig nuttig hergebruikt volume resulteert gemiddeld in een verhoging van de circulariteitsscore van 8,6 % t.o.v. de gehele referentiedataset. Een lage percentage volume hergebruikt (25% hergebruikt) leidt tot een afname van de circulariteitsscore met 5,6 %. De onderlinge percentages tussen de toepassingen verschillen iets, omdat het circulariteitsaspect Volumes bestaat uit een aandeel volume hergebruikt en een aandeel volume toegevoegd (Paragraaf 3.1.3).

5.2.8 INVLOEDFACTOREN EMISSIES UIT SEDIMENT

De formulering voor de berekening van de emissies uit sediment is voornamelijk afhankelijk van de leeftijd van de organisch stof, de laagdikte en het percentage organische stof. In Bijlage K zijn deze invloeden in meer detail weergegeven. De spreiding van de uitstootresultaten is aanzienlijk en sterk afhankelijk van de leeftijd van het organisch materiaal en het percentage organische stof. Beiden zijn lokale parameters waar de beheerder geen invloed op heeft. Echter, de beheerder heeft wel invloed op de laagdikte, een kleinere laagdikte zal leiden tot een hogere circulariteitsscore, omdat de kans op anaerobe omstandigheden kleiner is. Dikkere lagen zijn ongunstiger voor methaanproductie. Dit hoeft echter niet direct te leiden tot verhoogde methaanuitstoot, omdat de afbraak van organische stof onder anaerobe omstandigheden langzamer is. Hierdoor is het tijdselement zeer relevant bij het bepalen van de emissies uit sediment. Hierbij moet opgemerkt worden dat de toegepaste formuleringen speciaal voor dit toetsingsinstrumentarium zijn opgesteld en onderdeel zijn van nader onderzoek naar emissies uit sediment. In de meest recente versie van het toetsingsinstrumentarium (versie ten tijde van publicatie van deze STOWA-handreiking) heeft de gebruiker de mogelijkheid om het effect van emissies uit sediment aan/uit te zetten (Hoofdstuk 4).

6

DISCUSSIE

6.1 TOEPASSINGSKADER TOETSINGSINSTRUMENT (T.B.V. CASUSSEN EN KETENS)

Het toetsingsinstrument dat is ontwikkeld in deze studie is toegespitst op ketens met bijbehorend materieel en bijbehorende toepassingen die kenmerkend zijn voor regionale waterbeheerders (Hoofdstuk 2). Binnen deze doelgroep is het toetsingsinstrument breed toepasbaar en biedt veel flexibiliteit, doordat de gebruiker ketens kan wijzigen en ook achterliggende informatie (bijvoorbeeld over emissies van ingezet materieel) kan aanleveren. Het instrumentarium is ingericht om informatieve keuzen te maken m.b.t. het opzetten van baggerprojecten om circulariteit te stimuleren en te waarderen.

Het toetsingsinstrumentarium geeft aan dat toepassing 'Op de kant' (3,5 = A⁺⁺⁺) het meest frequent (66 %) kan worden aangemerkt als meest circulair. Dit hangt samen met de korte lengte van deze baggerketen en het verwerken van de grond in dezelfde omgeving. Daarnaast zijn de bijhorende kosten laag en is er doorgaans ruimte voor deze vorm van toepassen. De toepassing 'Oeverblokken' staat over de gehele lijn op de tweede plek. Het opwerken van baggerspecie naar deze toepassing is het meest kostbaar, maar resulteert ook in een hogere toegevoegde waarde aan de bagger. Daarvoor wordt o.a. de organische stof vastgelegd dat resulteert in lagere emissies op langere termijn. Toepassing als 'Dijkversterking' staat op de derde plaats. Het is een hoogwaardige toepassing, maar komt minder frequent naar voren als meest circulair vanwege de langere keten en doordat emissies niet worden geremd. Een langere keten staat doorgaans inherent aan hogere kosten, omdat de bagger meermaals wordt behandeld. Economisch kan dit echter een interessante toepassing zijn in het geval er op relatief korte afstand behoefte is aan dijkklei, welke anders bijvoorbeeld uit het buitenland geïmporteerd zou worden. Een hoogwaardigere toepassing is doorgaans duurder, maar bespaart ook geld en emissies doordat productie en vervoer elders vervalt. Echter zijn er ook praktijkvoorbeelden dat klei afkomstig is uit de regio bijvoorbeeld vanwege afgravingen ten behoeve van woningbouw. Deze toepassing scoorde ook het hoogst op de som Kosten en Waarden. Het gebruik van gebiedseigen materiaal in lokale dijkversterkingsprojecten wordt als zeer circulair gekenmerkt. De gemiddelde eindscores van 'Oeverblokken' (2,9 = A) en 'Dijkversterking' (3,0 = A⁺) liggen heel dicht bij elkaar, maar de 'Oeverblokken' komt over de hele lijn frequenter naar voren als meest circulair (17,6 % versus 16,3 % van de scenario's) ook al is het gemiddelde toegekende 'Oeverblokken' circulariteitslabel net lager in vergelijking met de 'Dijkversterking'. De toepassing 'Storten' (1,9 = D) waarbij verontreinigde bagger in een daarvoor aangewezen plek wordt gestort is kenmerkt als minst circulair. De resultaten weergegeven in dit rapport zijn onder de aanname dat alle circulariteitsaspecten even zwaar wegen. Echter, vanuit beleidsoogpunt kan worden besloten één of meerdere aspecten zwaarder te laten wegen. De gebruiker van het toetsingsinstrumentarium heeft in de huidige versie al de mogelijkheid om inzicht te krijgen in de doorwerking hiervan op de circulariteitsscores.

De onzekerheden die gebiedsafhankelijke factoren veroorzaken voor het beoordelen van circulariteit worden in de volgende paragraaf verder toegelicht. Het toepassingskader van het instrumentarium is vastgesteld op basis van de standaard RAW-bepalingen. Het toetsingsinstrumentarium is modulair opgezet en daardoor uit te breiden met additionele baggerketens (bijvoorbeeld voor ander type baggerwerken of zoute baggerspecie) en formuleringen (implementatie van nieuwe kennis). Hierbij moet wel worden

afgewogen in welke mate dezelfde beoordelingssystematiek schaalbaar is naar grote baggerwerken. Verder wordt in het huidige toepassingskader niet stilgestaan bij mogelijkheden om de jaarlijkse baggerlast te verminderen; de baggerlast is als gegeven beschouwd.

6.2 BEOORDELINGSKADER

Het beoordelingskader voor circulair baggerbeheer biedt vele baggerketenvarianties en geeft de gebruiker flexibiliteit om kengetallen te wijzigen. Het toetsingsinstrument geeft scores die in lijn zijn met de verwachtingen. Zo resulteren lage kosten, korte transport afstanden, natuurlijke hoogwaardige oplossingen met relatief weinig emissies het hoogst op de circulariteitsladder. De resultaten geven naast een label ook inzicht in welke aspecten verbeterd kunnen worden om circulair beheer te bevorderen. Denk aan vermindering van verblijftijd in het doorgangsdepot, om emissies te verkleinen. Een model is slechts een representatie van de werkelijkheid en is omgeven met aannames en onzekerheid rond data invoer. Voor de referentiescenario's is deze invoer gebaseerd op literatuur en projectramingen van praktijkcasussen. Daarnaast is het voor de gebruiker mogelijk om zelf materieel eigenschappen toe te voegen (bijvoorbeeld elektrisch materieel). Door deze aanpak wordt getracht het toetsingsinstrument goed aan te sluiten op de praktijk. Het huidige instrument betreft een eerste bruikbare versie. In deze paragraaf worden kanttekeningen geplaatst bij de aannames en data voor scoring op de vier circulariteitsaspecten.

Kosten-Waarde

Kosteninschattingen zijn bepaald op basis van de standaard RAW-bepalingen. De waarde van de toepassing is bepaald op basis van de vervangingswaarde van een oplossing met een vergelijkbare functie. Bijvoorbeeld een houten oeverbeschoeiing voor de toepassing 'Oeverblokken'. Dit overstijgt dus de waarde van 'enkel' de grond. De basiswaarden voor het circulariteitsaspect Kosten-Waarde (Bijlage G) zijn uitgedrukt in euro's per kubieke meter baggerspecie. Deze eenheid is gekozen zodat er geen sprake is van een voorkeur richting projecten met veel of juist kleine baggervolumes. Met andere woorden, een project met een kleiner of groter baggervolume is volgens het instrument niet meer of minder circulair.

De onderliggende aanname is dat er een lineaire relatie bestaat tussen de kosten-waarde en het baggervolume. Echter, in de praktijk is er mogelijk sprake van schaalvoordelen waardoor de behandelingskosten per kuub voor een groter project lager zullen liggen in vergelijking met een kleiner project, bijvoorbeeld doordat kosten voor projectmanagement en (de)mobilisatie relatief minder hoog zijn ten opzichte van de aanneemsom. Voor het huidige instrumentarium dient de gebruiker deze eventuele schaalvoordelen om te rekenen naar euro per kuub. Als uitbreidingsmogelijkheid van het instrumentarium zou in de toekomst overwogen kunnen worden om niet-lineaire relaties op te nemen. Daarnaast wordt er aangenomen dat de baggerlast (hetgeen dat gebaggerd dient te worden) een gegeven is. Terwijl in de praktijk het vanuit een circulariteitsoogpunt aan te raden is om ook te inventariseren in hoeverre de baggerlast kan worden teruggedrongen.

Emissies

In het huidige klimaat speelt uitstoot van broeikasgassen een steeds prominentere rol in afwegingskaders. Baggerketens voor bagger hebben een relatief grote invloed op emissies. Uit het huidige onderzoek volgt dat emissies uit sediment mogelijk vele malen groter zijn dan de emissies uit machinerie (baggeren, transport, creëren van toepassing). Echter de emissies uit sediment komen niet in zijn geheel instantaan vrij, maar zijn verspreid over een langere tijd. Verder is er in een ecosysteem altijd sprake van (achtergrond)emissies door biochemische activiteiten. De vraag is in hoeverre het aanbrengen van een

toepassing zich verhoudt t.o.v. deze achtergrond emissies. Deze lokale omstandigheden zijn niet meegenomen.

De huidige tool bevat emissies uit materieel en emissies uit sediment. Volgens de uitkomsten van het huidige instrumentarium zijn emissies uit sediment een veelvoud van de emissies uit materieel, zelfs in het geval van lange transportafstanden. In de huidige scoringsmethodiek voor emissies uit sediment is in tegenstelling tot andere aspecten geen vergelijking gemaakt met een referentiescenario, oftewel met natuurlijke emissies. Als het sediment niet gebaggerd en toegepast zou worden, zal er ook sprake zijn van emissies uit sediment. De vraag is echter in welke mate het baggeren en het verwerken in een toepassing een verhoging in emissies teweegbrengt. Dit is nog onderwerp van lopend onderzoek. In het toetsingsinstrumentarium heeft de gebruiker de mogelijkheid om de invloed van emissies uit sediment in de circulariteitsberekening aan/uit te zetten. De geïmplementeerde formulering voor emissies uit sediment geven een eerste orde schatting van de emissies en dient de betrokken partijen bewust te maken van dit aspect. Als de beheerders de emissies uit sediment trachten terug te dringen is het raadzaam om inzicht te krijgen in referentie emissies (zonder ingrepen) en het effect van laagdiktes op de uitstoot van CH₄ en CO₂. Verder is het interessant om toepassingen te inventariseren waarbij koolstof wordt vastgelegd, zeker voor bagger met een zeer hoog percentage organische stof (bijvoorbeeld 50-70 %). Voor de baggerspecie met een laag percentage organische stof zijn emissies uit sediment minder relevant.

Volumes

Eén van de principes van de definitie circulair baggerbeheer is het maximaliseren van gesloten kringlopen. Middels het beoordelingsvariabele volume hergebruikt geeft de gebruiker de marktvrage per toepassing aan, met uitzondering van 'Storten' waarvan wordt aangenomen dat dit een verliespost is. Kringlopen zijn te sluiten door vraag -en aanbod op elkaar aan te sluiten. Het uitgangspunt is dat het toepassen van baggerspecie in een hoogwaardigere oplossing zoals een dijk of oeverbeschoeiing meer circulair is, omdat hiermee wordt voorkomen dat externe grondstoffen vanuit elders worden geïmporteerd voor de realisatie van de toepassing. Inzicht in vraag -en aanbod van baggerspecie is van groot belang en vergt samenwerking tussen betrokken partijen. Dit inzicht overschrijdt de grenzen van het kader van het toetsingsinstrumentarium. Het is aan de gebruiker om dit inzicht te verkrijgen en de actuele vraag cijfers (volume hergebruikt) in het instrument in te vullen. Een hoog hergebruikt volume resulteert ook in een hogere circulariteitsscore. Het gaat in deze om hergebruikte droge stof. Mogelijke toevoegstoffen (bijvoorbeeld binders) zijn ook meegenomen en resulteren in een afname van de circulariteitsscore.

Natuur en Systeem

De meeste scoringsmethodieken voor circulariteit zijn toegespitst op producten die op grote schaal fabrieksmatig worden geproduceerd. Sediment is geen fabrieksproduct en behoeft interactie met het (eco) systeem daarom speciale aandacht. Deze interactie is sterk afhankelijk van de lokale inpassing en de interactie met de omgeving. In het huidige beoordelingskader is dit circulariteitsaspect kwalitatief vastgesteld middels expert beoordeling op basis van een interne en externe enquête onder waterbeheerders, experts en aannemers. Hierbij is de systeemimpact gelinkt aan de mate waarin de toepassing kan worden aangemerkt als een natuurlijke oplossing en als een hoogwaardige oplossing. De mate van hoogwaardigheid is vastgesteld op basis van het aantal ketenstappen (vaak gecorreleerd aan het aantal betrokken partijen in de keten). Idealiter wordt inzichtelijk gemaakt welke systeem impact de toepassing van sediment in het systeem (natuurlijk, technisch, economisch) te weeg brengt ten opzichte van een referentiescenario. Hierbij is een mogelijkheid om scores toe te kennen aan ecosysteemdiensten.

Echter, een eenduidige methodiek om dit inzichtelijk te maken en vervolgens te scoren ontbreekt. Alvorens een degelijke methodiek te ontwikkelen is het belangrijk om overeenstemming te hebben met de betrokken partijen over de breedte van de definitie van circulair baggerbeheer.

6.3 OVERWEGINGEN IN VERGELIJKING MET DUBOCALC

Momenteel wordt het instrument DuboCalc gebruikt in de Nederlandse (water)bouwsector voor aanbestedingen. DuboCalc is een duurzaamheidsinstrument dat duurzaamheidsaspecten zoals uitstoot en gebruik van materialen omzet in monetaire eenheden waaruit Milieu Kosten Indicatoren (MKI) worden afgeleid. DuboCalc is van oorsprong gericht op de bouwsector en lijkt in huidige vorm ongeschikt om duurzaamheid van regionale baggerwerkzaamheden in kaart te brengen, omdat specifieke ketens die gangbaar zijn voor regionale waterbeheerders ontbreken. Verder ontbreekt bijvoorbeeld de mogelijkheid om gebiedsafhankelijke invoer te gebruiken voor het betrekken van emissies uit sediment. Het toetsingsinstrument circulair baggerbeheer dat is ontwikkeld in opdracht van STOWA richt zich op circulariteit. Het instrument kent circulariteitslabels toe op basis van prestatie op vier circulariteitsaspecten. Dit instrument verschilt hierdoor van DuboCalc dat zich specifiek richt op duurzaamheid en scores uitdrukt in MKI-waardes. Vanwege het verschil in toepassingsgebied en scoringsmethodiek zijn deze twee instrumenten niet eenduidig met elkaar te vergelijken. Vergelijking en afstemming tussen beide instrumenten is momenteel onderwerp van gesprek.

6.4 AANDACHTSPUNTEN

Op dit moment bevat het toetsingsinstrumentarium vier toepassingen ('Storten', 'Op de kant', 'Oeverblokken', 'Dijkversterking'). Deze zijn bepaald op basis van een aantal praktijkcasussen die aangeleverd zijn door de Waterschappen. Van deze casussen is genoeg data beschikbaar om het beoordelingskader uit te werken en om een betrouwbare inschatting van de circulariteit van baggerspecie te maken. Andere toepassingen liggen buiten het kader van deze fase van deze studie. De opgenomen toepassingen zijn representatief voor 50-75 % van de baggerwerken van de waterschappen. Hetzelfde gaat op voor het materieel dat wordt ingezet voor baggeren (draadkraan, graafmachine, schuifboot, snijkopzuiger) en voor transport (per as, per schip, per leiding). Voor de meeste toepassingen die zijn geselecteerd wordt baggerspecie onttrokken uit het waterlichaam en op het land of op de land/water grens toegepast. Echter kan het zo zijn dat deze onttrekking een negatieve uitwerking heeft op het watersysteem. In deze gevallen is het niet wenselijk dat circulariteit op het land ten koste gaat van circulariteit van het watersysteem en de sedimentfluxen hierin. Voor ketens die gebruik maken van een doorgangsdepot wordt gebruik gemaakt van kosten voor een bestaand depot. Er kan echter behoefte zijn om een nieuw depot aan te leggen, omdat er geen doorgangsdepot beschikbaar is in de nabijheid van de baggerlocatie. De gebruiker kan daarvoor een aantal variabelen met betrekking tot het doorgangsdepot aanpassen in de catalogus.

Het huidige instrumentarium is niet opgezet om afwegingen te ondersteunen in met name grootschaligere baggerprojecten waar ander type materieel in wordt gezet en/of projecten waarin wordt gewerkt met zoute baggerspecie. Bij grotere baggerwerken en ander type materieel komen andere ketenstappen kijken. Deze kenmerken vereisen de toevoeging van extra keten- en materieelopties en bijhorende kengetallen over kosten-waarde, emissies, volumes en systeemimpact. Het huidige toetsingsinstrumentarium is dusdanig opgezet dat latere uitbreiding, bijvoorbeeld voor grotere baggerwerken, mogelijk is.

Het huidige toetsingsinstrumentarium is ontwikkeld voor zoete baggerspecie. Voor het verwerken van zoute

baggerspecie gelden andere juridische normen. Daarnaast wordt zoute baggerspecie anders behandeld en toegepast. Het is bijvoorbeeld niet altijd mogelijk om zoute specie op de kant te verspreiden vanwege de kans op verzilting van bijvoorbeeld de ondergrond. Het baggeren van zoute specie is meer relevant voor grootschaligere baggerwerken, die eventueel later nog kunnen worden toegevoegd, maar minder relevant voor regionale waterbeheerders. Echter vanwege toenemende verdroging en bodemdaling, wordt zoute baggerspecie ook voor regionale waterbeheerders relevant. Gebaggerde specie kan worden gebruikt om agrarische laden op te hogen, om daarmee bodemdaling (deels) te compenseren. Vanwege het nu nog kleinere belang voor de regionale waterbeheerders is zoute baggerspecie geen onderdeel van het huidige instrumentarium. Daarnaast is het instrumentarium niet ontworpen om ander type slib te beoordelen zoals slib uit afvalverwerkingsinstallaties.

6.5 TOEKOMST VAN HET TOETSINGSINSTRUMENTARIUM

Het huidige instrumentarium is opgesteld in opdracht van de STOWA en voorziet regionale waterbeheerders met een praktisch inzetbaar en uitbreidbaar instrument dat gebruikers ondersteunt en inzicht geeft in circulair baggerbeheer. Het instrument zou ook formeler ingezet kunnen worden door het gebruik ervan verplicht te stellen bij aanbestedingen. Alvorens een stap te maken naar formelere inzet dient er overeenstemming te zijn over de oorsprong van de basiswaarden waarmee wordt gerekend. In de huidige opzet zijn deze waardes afkomstig uit literatuur en bestekken van regionale baggerwerken. Echter voor een formelere inzet kan het wenselijk zijn dat informatie over inzet van baggermateriaal en toepassing kenmerkend voor regionaal waterbeheer worden opgenomen in een breder toegankelijke database (zoals de Nationale Milieu Database), waardoor er ook overeenstemming is tussen de bronnen van het toetsingsinstrument circulair baggerbeheer.

7

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

Het ontwikkelde toetsingsinstrument voor circulair baggerbeheer is het eerste instrument dat gebruikers in staat stelt inzicht te verkrijgen in de mate van circulariteit van regionale baggerspecie op basis van vier kenmerkende toepassingen ('Op de kant', 'Oeverblokken', 'Dijkversterking' en 'Storten' (van verontreinigde baggerspecie)). Het instrument wijst circulariteitslabels toe op basis van de prestaties voor vier circulariteitsaspecten: Kosten-Waarde, Emissies, Volumes en Natuur & Systeem. Het instrument is tot stand gekomen in samenwerking met verschillende nationale en internationale experts op het gebied van bagger en circulariteit van natuurlijke grondstoffen. Het instrument omvat een eerste versie waarvan de formuleringen zijn gebaseerd op de huidige beschikbare kennis. Het instrument bevat specifieke ketens en materieel voor regionaal baggerbeheer en omvat meer dan alleen duurzaamheidsaspecten. Dit maakt het instrument uniek en zet hiermee een voorbeeld voor de beoordeling van circulariteit van natuurlijke grondstoffen. Het instrument en de bijhorende (technische) achtergrond is al meermaals onderdeel geweest van nationale vakgroepbijeenkomsten en internationale conferenties (Bijlage L). Het wordt aanbevolen om verder aandacht te besteden aan kennisdisseminatie en gebruik in de praktijk te bevorderen.

De huidige versie van het toetsingsinstrumentarium voor circulair regionaal baggerbeheer omvat vier typische baggerketens voor regionale waterbeheerders. Een keten is maximaal opgebouwd uit vijf stappen: Baggeren, Transport 1, Doorgangsdépot, Transport 2 en Toepassen. Afhankelijk van de gekozen toepassing kan de keten ook korter zijn. De gebruiker heeft de mogelijkheid om te kiezen uit verschillende soorten materieel voor deze stappen. Hiermee komt het aantal mogelijke variaties uit op 49. Tijdens het project zijn referentiescenario's gedraaid (totaal meer dan 276.000 scenario's) waaruit een maatstaf voor circulair baggerbeheer is afgeleid. Deze scenario's zijn o.a. gebaseerd op materieel opties, eigenschappen van baggerspecie en toepassingsmogelijkheden (Hoofdstuk 3). Het instrumentarium vergelijkt de prestatie van een individueel project t.o.v. van deze maatstaf op basis van invoer van de gebruiker. Gemiddeld wordt de toepassing 'Op de kant' (66 % van de scenario's) gekenmerkt als meest circulair, gevolgd door 'Oeverblokken' (18 %), 'Dijkversterking' (16 %) en 'Storten' (0 %). Echter, voor een bepaald project, kan de volgorde wijzigen afhankelijk van de gebruikerskeuzes en lokale omstandigheden. Het instrument omvat in huidige vorm vier toepassingen die kenmerkend zijn voor regionaal baggerbeheer, echter zou het instrument uitgebreid kunnen worden met additionele toepassingen (bijvoorbeeld gebruik van specie als wegophoging of verspreiding van baggerspecie onderwater) en variaties (bijvoorbeeld gebruik van elektrische transportvoertuigen). Daarnaast zou kunnen worden overwogen om het instrument uit te breiden voor grotere baggerwerken. Echter moet in dat geval kritisch worden gekeken in hoeverre de scoringsmethodiek voor regionaal baggerbeheer toepasbaar is voor grotere baggerwerken, aangezien andere factoren wel of niet meer relevant kunnen zijn.

Resultaten van deze studie laten zien dat emissies uit sediment een zeer belangrijke bijdrage kunnen leveren aan de totale emissies. Deze bijdrage is dusdanig dat de emissies uit materieel (baggeren, plus transport) overschaduwden. De achterliggende formuleringen zijn speciaal voor deze studie opgesteld gebaseerd op de laatste kennisontwikkelingen op dit gebied. Verder onderzoek naar de invloed van emissies

uit sediment en fysische processen wordt aanbevolen. Een ander belangrijk aspect is het percentage van de gebaggerde specie dat wordt gebruikt in één van toepassingen. Met ander woorden, het aansluiten van vraag -en aanbod van baggerspecie staat centraal in circulair baggerbeheer. Wat betreft kosten lijkt de keuze voor het baggermateriaal ondergeschikt aan de transportopties en voornamelijk de transportafstanden hebben invloed op de circulariteitscore vanwege de invloed op het circulariteitsaspect Kosten & Waarde en in minder mate Emissies. Het huidige instrument werkt vooral met lineaire relaties. Er kan nader onderzoek worden gedaan naar opschalingseffecten en andere mechanismen die mogelijk niet nauwkeurig genoeg benaderd worden met deze relaties.

Binnen het beoordelingsaspect Kosten - Waarde wordt waarde aan de baggerketen toegekend op basis van de waarde (in euro's) van een oplossing met een gelijkwaardige functie. Bijvoorbeeld een houtenbeschoeiing i.p.v. 'Oeverblokken'. Echter, met oog op ecosysteemdiensten zou ook op andere plekken in de baggerketen sprake kunnen zijn van waarde toevoeging. Echter, een eenduidige methode om ecosysteemdiensten in baggerketens te scoren ontbreekt. Kwantificering van ecosysteemdiensten als onderdeel van het circulariteitsaspect Natuur & Systeem is mogelijk een onderwerp als onderdeel van een vervolgstudie.

Zoals eerder aangeven is volgens de uitkomsten van deze studie 'Op de kant' in de meeste gevallen het meest circulair. Dit kan echter wijzigen op basis van projectkeuzen en projectomstandigheden. Daarnaast is in de huidige studie aangenomen dat de vier circulariteitsaspecten even zwaar wegen. 'Op de kant' is een goedkope toepassing maar resulteert daarmee in meer uitstoot in vergelijking met bijvoorbeeld 'Oeverblokken'. Als vanuit beleidsredenen meer waarde zou worden gehecht aan emissies, dan is het interessant om een inventarisatie te maken van toepassingen welke organische stof vastleggen ('Oeverblokken' is hiervan een voorbeeld). Daarnaast heeft de gebruiker de mogelijkheid om in het toetsingsinstrumentarium de weging tussen de circulariteitsaspecten aan te passen.

Het instrument dient in huidige vorm als praktisch inzetbaar en uitbreidbaar instrument dat kan worden toegepast in projectvoorbereidingen en evaluaties. Om toe te werken naar een meer circulaire vorm van baggerbeheer is het van belang dat het instrument in de praktijk wordt ingezet. Op basis van de praktijkbevindingen kan het instrument worden verbeterd en uitgebreid. Formele inzet, bijvoorbeeld in aanbestedingsprocedures, is in de toekomst mogelijk, echter dient er eerst overeenstemming te zijn over de gehanteerde basiswaarden, dient er afstemming plaats te vinden met andere instrumenten zoals DuboCalc en dient er een formele bindende richtlijn te worden opgezet.

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.

CROW (2009). Zand in (constructieve) ophogingen en aanvullingen – richtlijn beoordeling van alternatieve materialen. Publicatie 281, Ede.

CROW (2015). Standaard RAW Bepalingen 2015.

Fugro (2005). Haalbaarheidsonderzoek baggerspecie in infrastructuur in noord-holland.

Ministerie van Volkshuisvestings, Ruimtelijke ordening en milieubeheer (2004), Minimum Verwerkingsstandaard (MVS) voor baggerspecie. *Staatscourant*. 96, 10.

Ministerie van Volkshuisvestings, Ruimtelijke ordening en milieubeheer (2007), houdende regels voor de uitvoering van de kwaliteit van de bodem. *Staatscourant*. 247.
<https://wetten.overheid.nl/BWBR0023085/2021-01-21>

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

Rijkswaterstaat (2001). Toepassingsmogelijkheden van Klei uit Baggerspecie.

Rijkswaterstaat (2004). Bouwen met baggerspecie dagelijkse praktijk.

Rijkswaterstaat (2016). Technische handleiding BoToVa-Service. Versie 2.1.

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

BIJLAGEN

A. PRAKTIJKCASUSSEN

Plantageweg Muidergracht (2018)

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, vanaf 2018 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 deze bagger dus juridisch toestaat. Er is vraag naar meer alternatieven voor het gebruiken en of schoonmaken van verontreinigde bagger.



Figuur A-1 Baggeren in plantage muidergracht

Loosddrechtse plassen (2017)

Waternet, de provincie Noord-Holland, twee gemeenten en het Plassenschap zijn gezamenlijk betrokken bij het baggeren van de Loosddrechtse plassen. In 2017 is een pilot uitgevoerd om van twee problemen een oplossing te maken. De twee 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.



Figuur A-1 Legakkerherstel in de Loosddrechtse plassen

Oranjekanaal (2017)

De functie van het oranjekanaal is na veenwinning beperkt tot aanvoer en afvoer van water. Daardoor is jarenlang weinig aan onderhoud gedaan. In 2017 is er vermoedelijk vanwege kwaliteitsredenen besloten om te gaan 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 oeverblokken. 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.



Figuur A-2 Voorbeeld van oeverblokken in het oranjekanaal

HHNK / Damsterdiep (2018)

Het Damsterdiep is een vaarweg tussen Groningen en Delfzijl. In opdracht van het waterschap Noorderzijlvest is de waterweg gebaggerd om het weer bevaarbaar te maken. Het gaat over 173.000 m³ kleiige baggerspecie waarvan 172.000 m³ toepasbaar of verspreidbaar is. Het slib is hydraulisch gebaggerd en vervolgens naar een doorgangsdepot gebracht waar het gedroogd werd. Uiteindelijk kon het nuttig toegepast worden in de kade van het Eemskanaal. Concreet is het doel om de kade over de rand te verhogen en te verbreden. Ook wordt de dijkbekleding deels vernieuwd.



Figuur A-3 Visualisatie van het depot in het damsterdiep-project

Het HHNK (Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard) is binnen Nederland één van de voorlopers op het gebied van het hergebruiken van baggerspecie in nuttige toepassingen. Vergelijkbaar met de deelcasus Damsterdiep is het bij HHNK zeer gebruikelijk dat het baggerspecie eerst in een doorgangsdepot gedeponereerd wordt om te drogen om vervolgens het vervolgens in een nuttige toepassing te verwerken. Meerdere onderzoeken zijn uitgevoerd om baggerspecie ook op een vergelijkbare manier in een Dijkversterking toe te passen.

B. EISEN TOEPASSINGEN RIJKSWATERSTAAT

Code	Toepassings- gebied	Constructie- onderdeel	Toelichting
CB	Wegen	Belasting spreidende laag	Onderdeel van de ophoging en verhardingsconstructie, ook wel 'zandbed' genoemd. Deze laag moet goed doorlatend zijn en geen vorstheffing vertonen. ¹⁾
CO	Wegen Dijken Terreinen	Constructieve ophoging	Ophoging voor locaties met belangrijke bovenbelasting. Stringente eisen aan draagvermogen, stabiliteit en vervormingen.
NO	Geluidswallen Terreinen Landscaping	Niet-constructieve ophoging	Ophoging met lage eisen aan draagvermogen, stabiliteit, vervormingen.
CA	Wegen Dijken Terreinen	Constructieve aan- vulling	Aanvulling van cunetten en ontgravingen met belangrijke constructieve functie. ²⁾
NA	Geluidswallen Terreinen	Niet-constructieve aanvulling	Aanvulling van ontgravingen, dempen van sloten etc., geen belangrijke constructieve functie. ³⁾
AD	Wegen Dijken Stortplaatsen Terreinen	Deklaag	Beschermende laag voor constructie bescherming (erosie), tegengaan van uitloging, t.b.v. begroeiing. ⁴⁾ ⁵⁾
Ao/Ab	Wegen Stortplaatsen Terreinen	Isolatielaag onder/boven	Isoleren van de bodem, tegengaan van watertransport en uitloging van schadelijke stoffen ⁶⁾ . (niet in figuur 3.1 aangegeven)

Figuur B-1 Toepassingscategorieën van Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2004)

Rijkswaterstaat heeft in 2001 vastgesteld dat de toepassingen als grond moeten voldoen aan een aantal fysische normen. Hierbij worden de toepassingen onderverdeeld in een aantal subcategorieën. In het geval van de toepassingen voor bagger in deze handreiking zijn drie toepassingscategorieën van Rijkswaterstaat van toepassing: NO (niet-constructieve ophoging), CO (constructieve ophoging) en D (deklaag). Op basis van deze categorieën zijn de chemische en fysische eisen voor toepassingen vastgesteld.

Eén van deze normen is de consistentieindex. Dit een geo-fysische parameter afhankelijk van het watergehalte en de samenstelling van de baggerspecie op basis van de Attenbergse grenzen. De consistentieindex is een criteria dat in het stadium van de verwerking (bijv. drogen in een depot) bereikt moet worden. Dit wordt intrinsiek meegenomen in berekening van de circulariteitsscore en wordt later nader toegelicht.

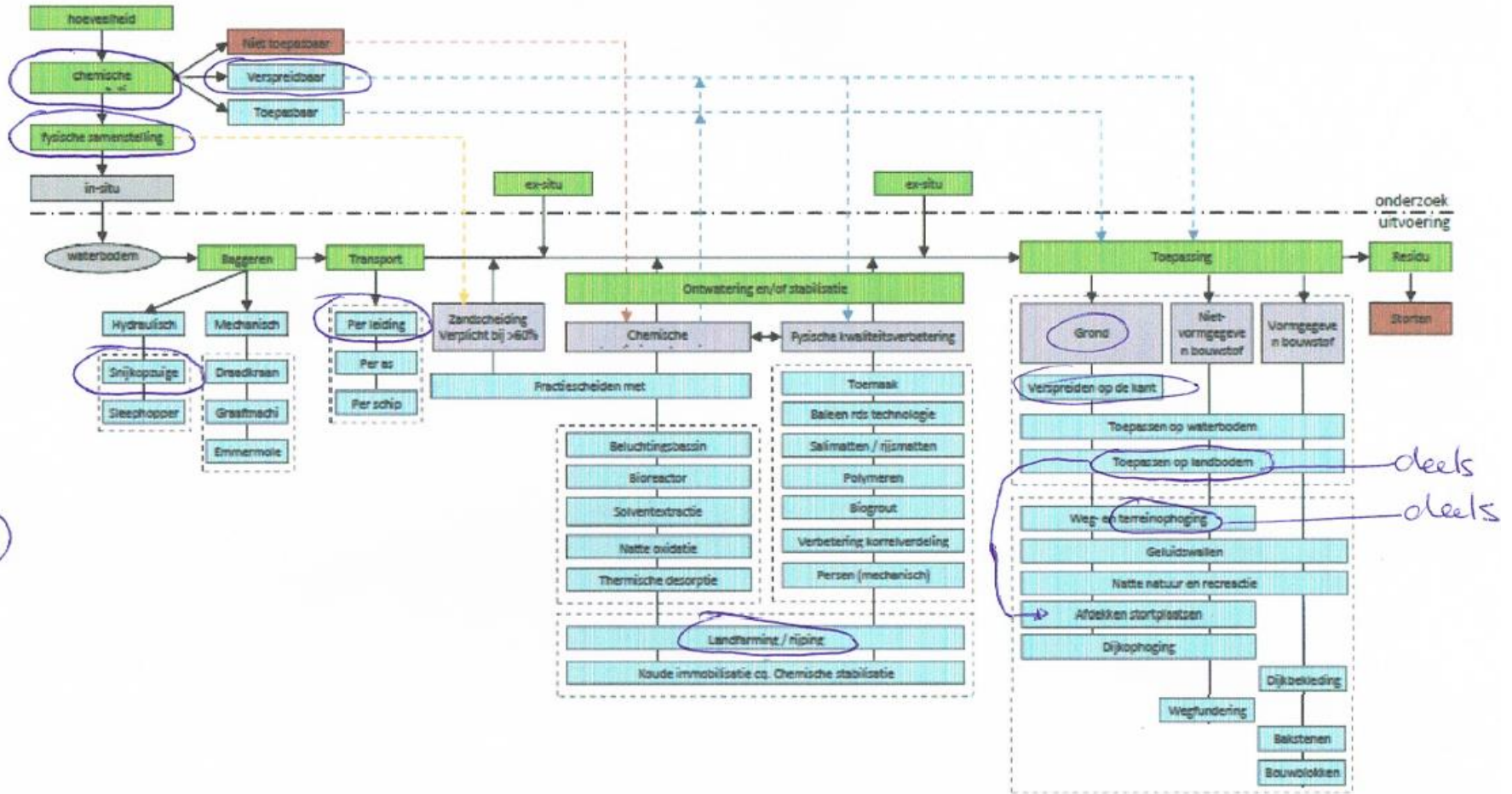
Categorie	Beschrijving grond uit baggerspecie	Klasse-indeling volgens NEN5104	% Lutum < 2 mm	% Silt 2 - 63 mm	% Zand > 63 mm	% Org. stof (*)
I	Zand	Zs1, Zs2, Zs3, Zs4, Zk	L < 8 %	S < 50 %	Z > 50 %	H < 5 %
II	Matig zandige klei	Kz1, Kz2, Kz3	L > 8 % L < 25 %	S < 42 %	Z > 50 %	H < 5 %
III	Silt houdende klei	Ks4, Lz1, Lz3	L < 25 %	S > 25 %	Z < 50 %	H < 5 %
IV	Klei	Ks1, Ks2 en Ks3	L > 25 %	S < 75 %	Z < 75 %	H < 5 %
V	Veenhoudende grond	nvt	nvt	nvt	nvt	H > 5 %

(*) In een volgende versie voor niet-constructieve toepassingen wellicht een ruimere eis.
Genoemde percentages zijn alle m/m

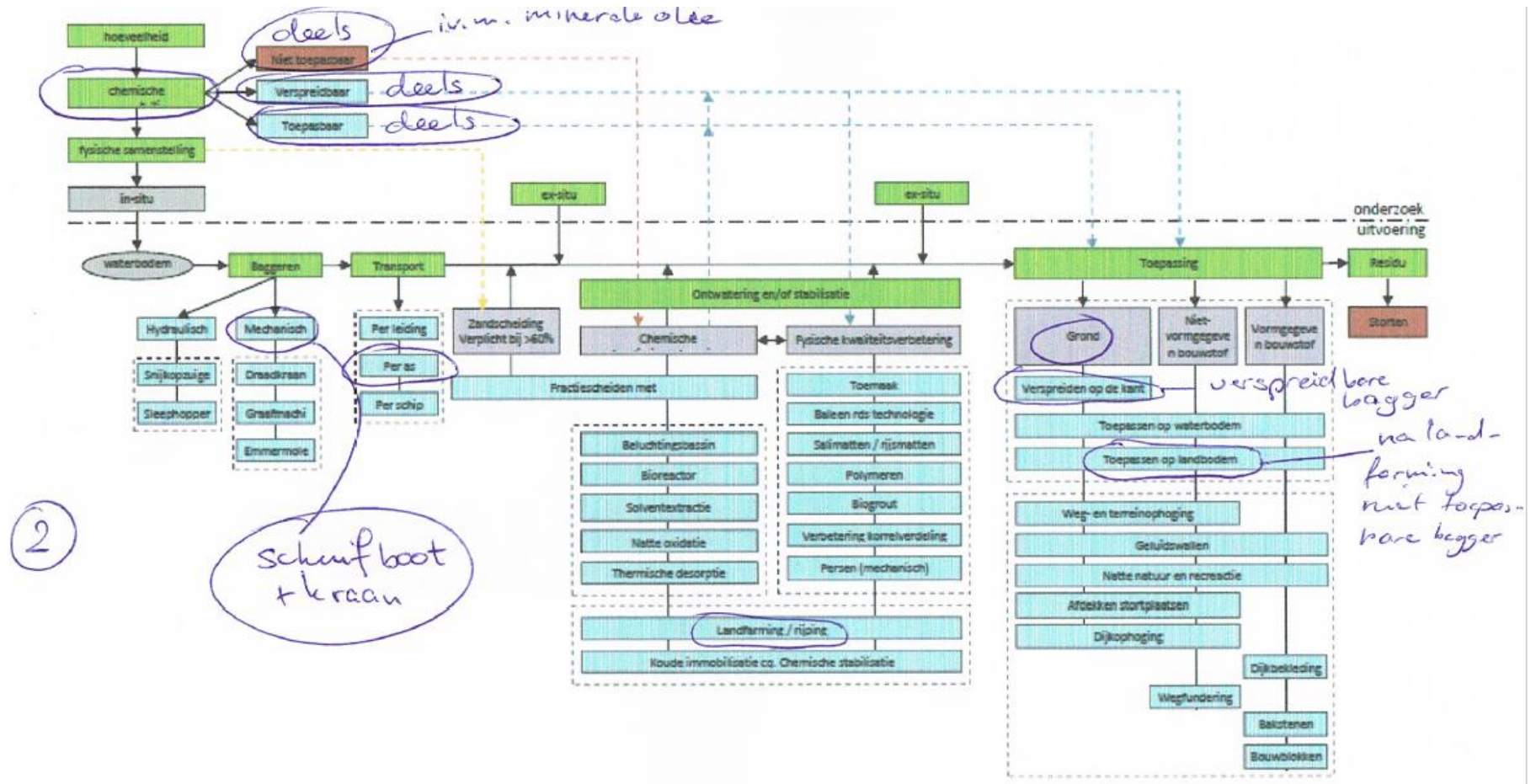
Constructieonderdeel	Civieltechnische aspecten							Milieuhygiënische en juridische aspecten		
	Toepasbaarheid grond uit baggerspecie					Randvoorwaarden		Voorwaarden vanuit het Bsb		
	Zand	Matig zandige klei	Silt houdende klei	Klei	Veenhoudende grond	Consistentie index (I _c) ^{1,2}	Overige ^{3,4}	Schone grond	Categorie 1	Categorie 2
CB	+	-	-	-	-	nvt	Zie RAW 2000	+++	++	+
CO	+	+	+	+	-	> 0,70		+++	++	++
CO, sandwichconstr.	+	+	+	+	-	> 0,60		+++	++	++
CO, hoger dan 5m	+	+	+	+	-	> 0,70	Lutumgehalte < 20% ⁵	+++	++	++
CA	+	+	+	+	-	> 0,70		+++	++	-?
NO	+	+	+	+	+	> 0,60		+++	++	++
NA	+	+	+	+	+	> 0,60		+++	++	-?
AD	?	+ ³⁾	+ ³⁾	+	-	> 0,75	Zie:-TAW 1996 -RAW 2000 §22.06.21 en 22	+++	++	-
Ao/Ab	-	-	-	+	-	> 0,75	Kleine waterdoorlatendheid	+++	++	-
CB = Belasting spreidende laag CO = Constructieve ophoging NO = Niet constructieve ophoging CA = Constructieve aanvulling NA = Niet constructieve aanvulling AD = Deklaag Ao = Isolatielaag onder Ab = Isolatielaag boven	+	= Potentieel geschikt				1 =	Voorwaarden voor consistentie index (I _c) zijn niet van toepassing op zand of veenhoudende grond.	+++	= Geen Bsb-voorwaarden	
	-	= Ongeschikt				2 =	Als de L _c te laag is, is de klei te nat om te verwerken en te verdichten.	++	= Lichte Bsb-voorwaarden, naar verwachting minimale consequenties voor het ontwerp	
	?	= Geschiktheid onbekend				3 =	De dichtheid na verdichten dient groter of gelijk te zijn aan 97% van de proctordichtheid of epd bij het in-situ watergehalte.	+	= Bsb-voorwaarden, naar verwachting belangrijke consequenties voor het ontwerp	
	a)	= Alleen erosiebestendig materiaal (TAW cat 1)				4 =	Maximale zoutgehalte van grond dat wordt toegepast in een zoetwater omgeving is 4 g/l.	∓?	= Aan Bsb kan waarschijnlijk niet worden voldaan	
	b)	= Rekening houden met beperkte draagkracht, inklinking en oxydatie.				5 =	Een hoog lutumgehalte betekent dat er sprake is van vette of zware klei. Deze klei is minder geschikt voor hoge ophogingen.	-	= Volgens Bsb niet toegestaan	

Figuur B-2 Richtlijnen per toepassingscategorie van Rijkswaterstaat (Rijkswaterstaat, 2004)

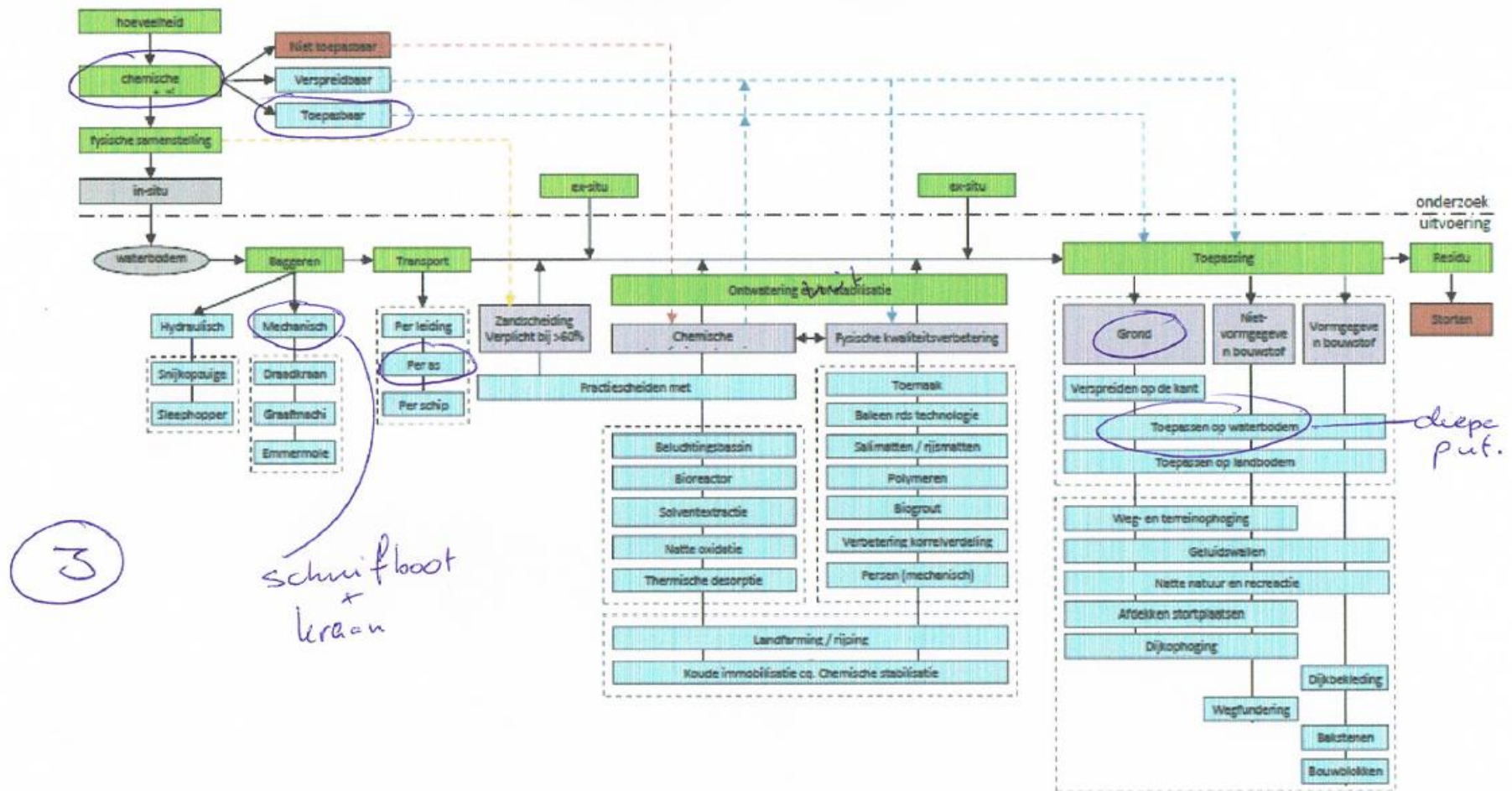
C. WERKBLADEN KETENS



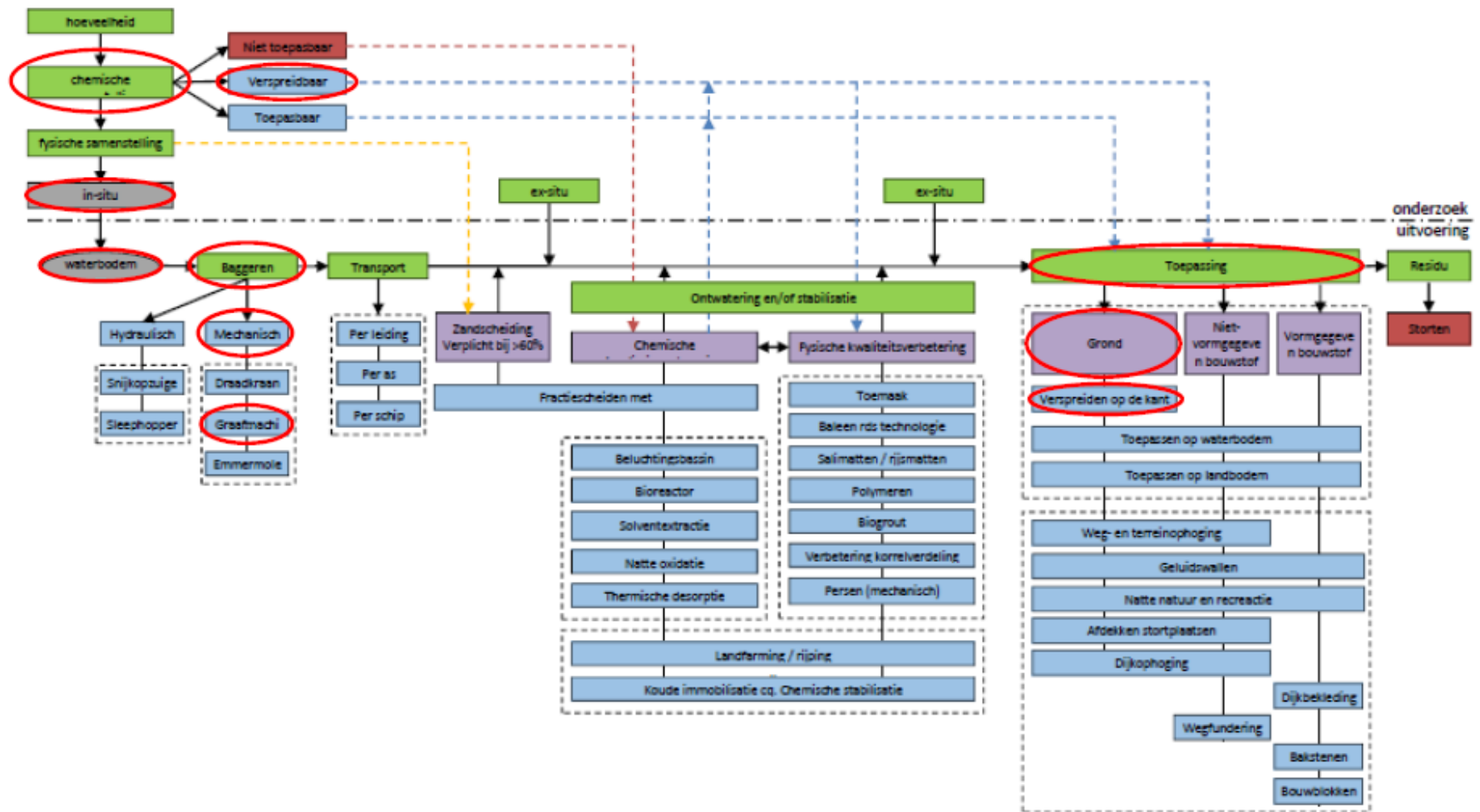
Figuur C-1 Werkblad 1



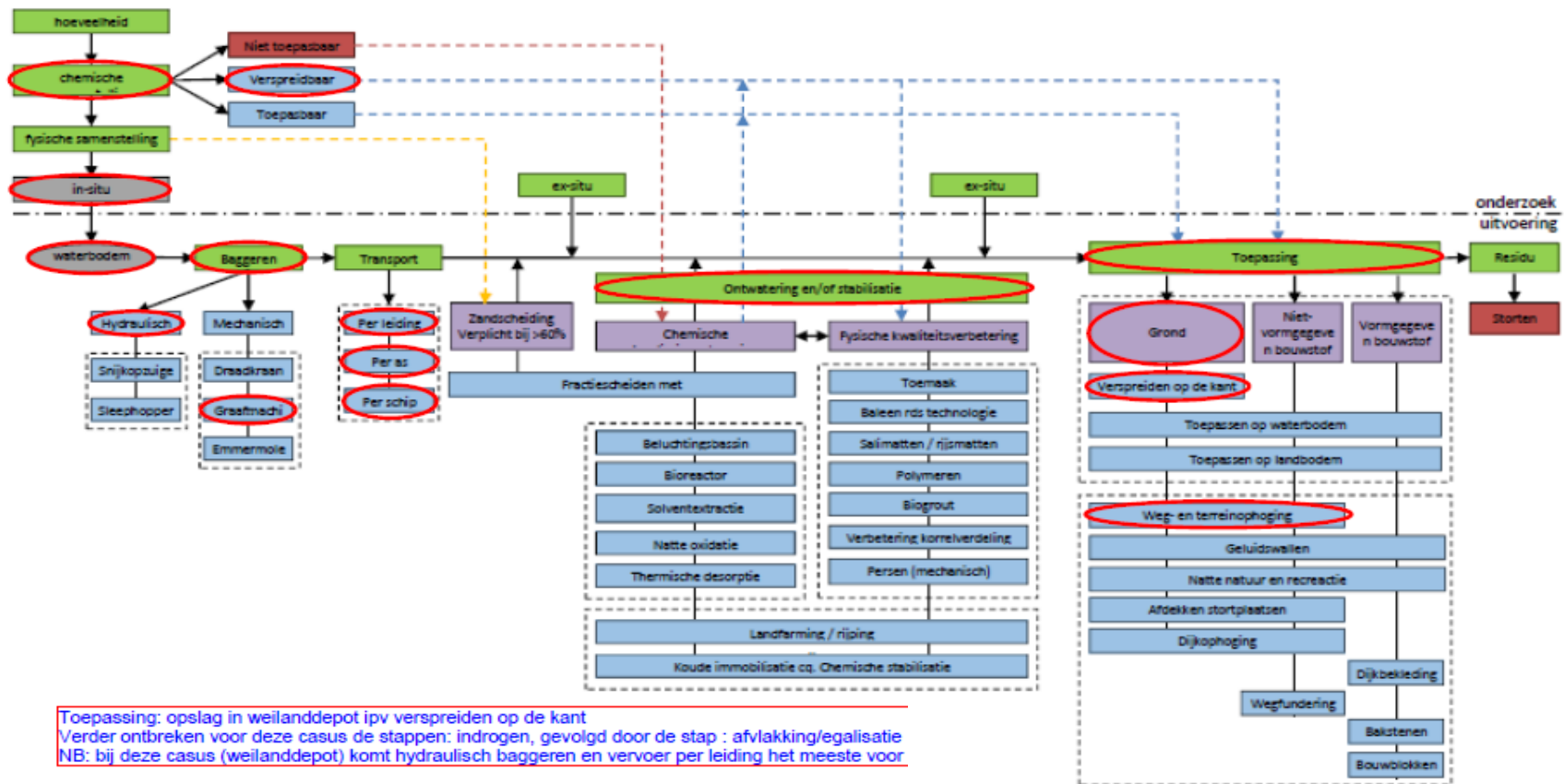
Figuur C-2 Werkblad 2



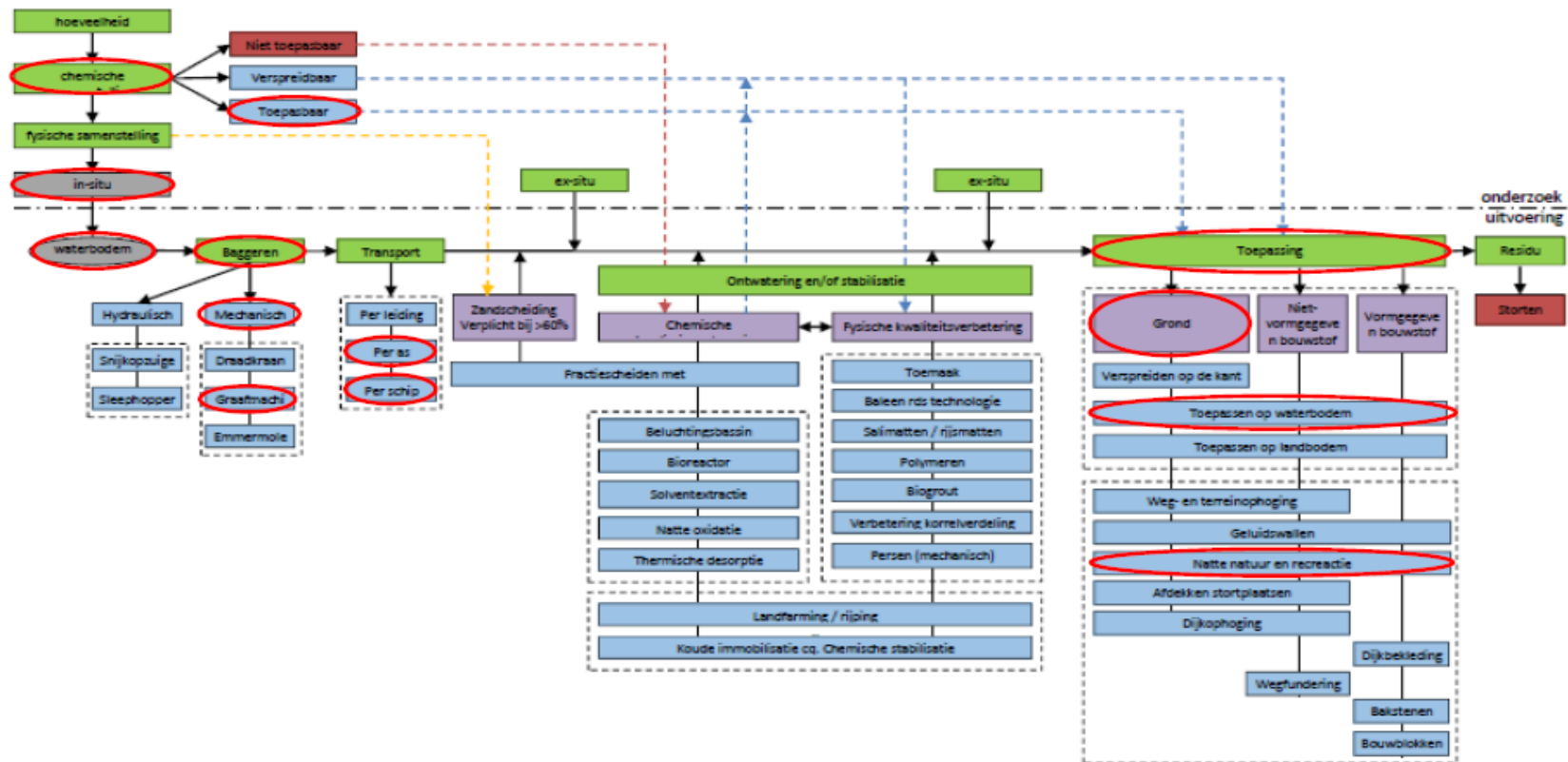
Figuur C-3 Werkblad 3



Figuur C-4 Werkblad 4

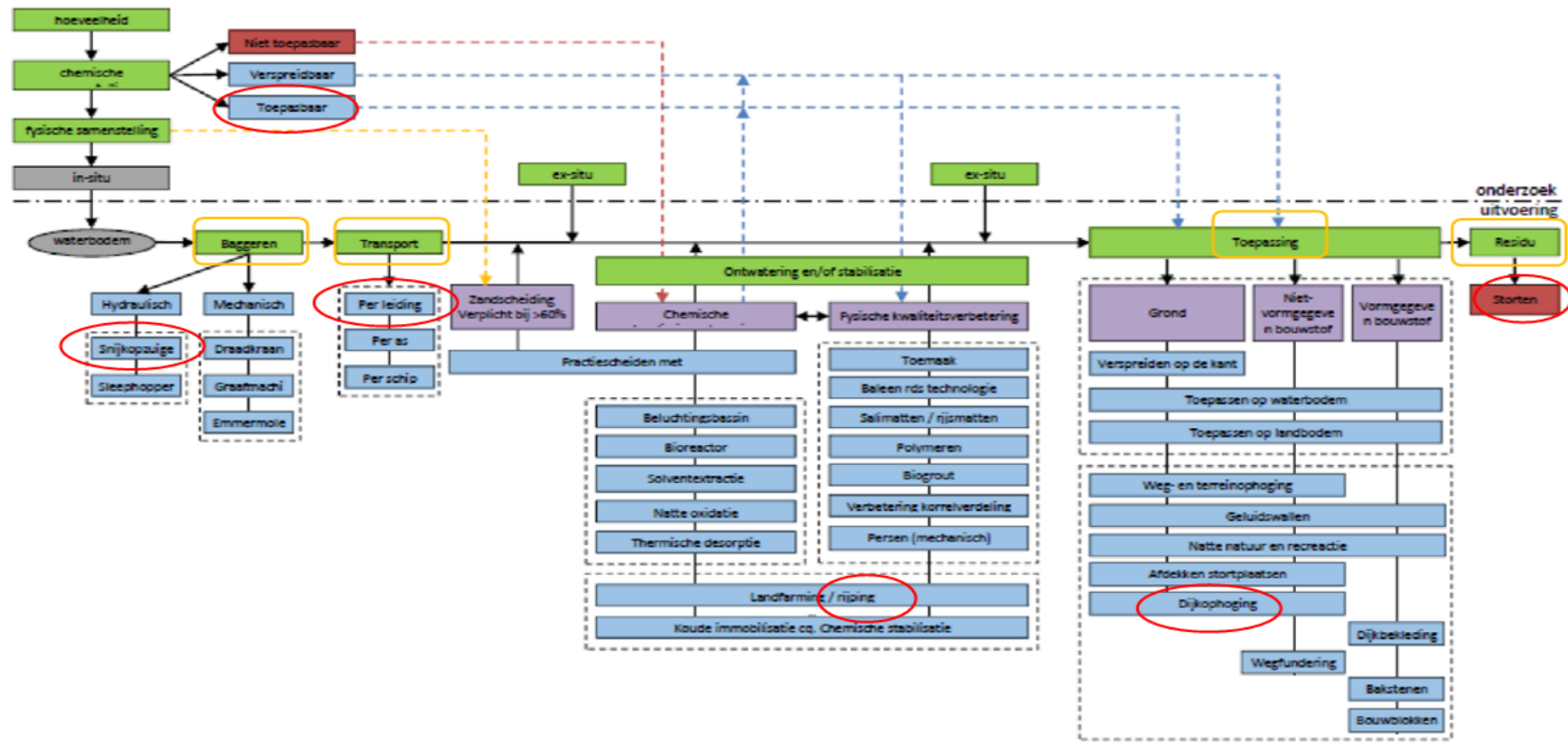


Figuur C-5 Werkblad 5

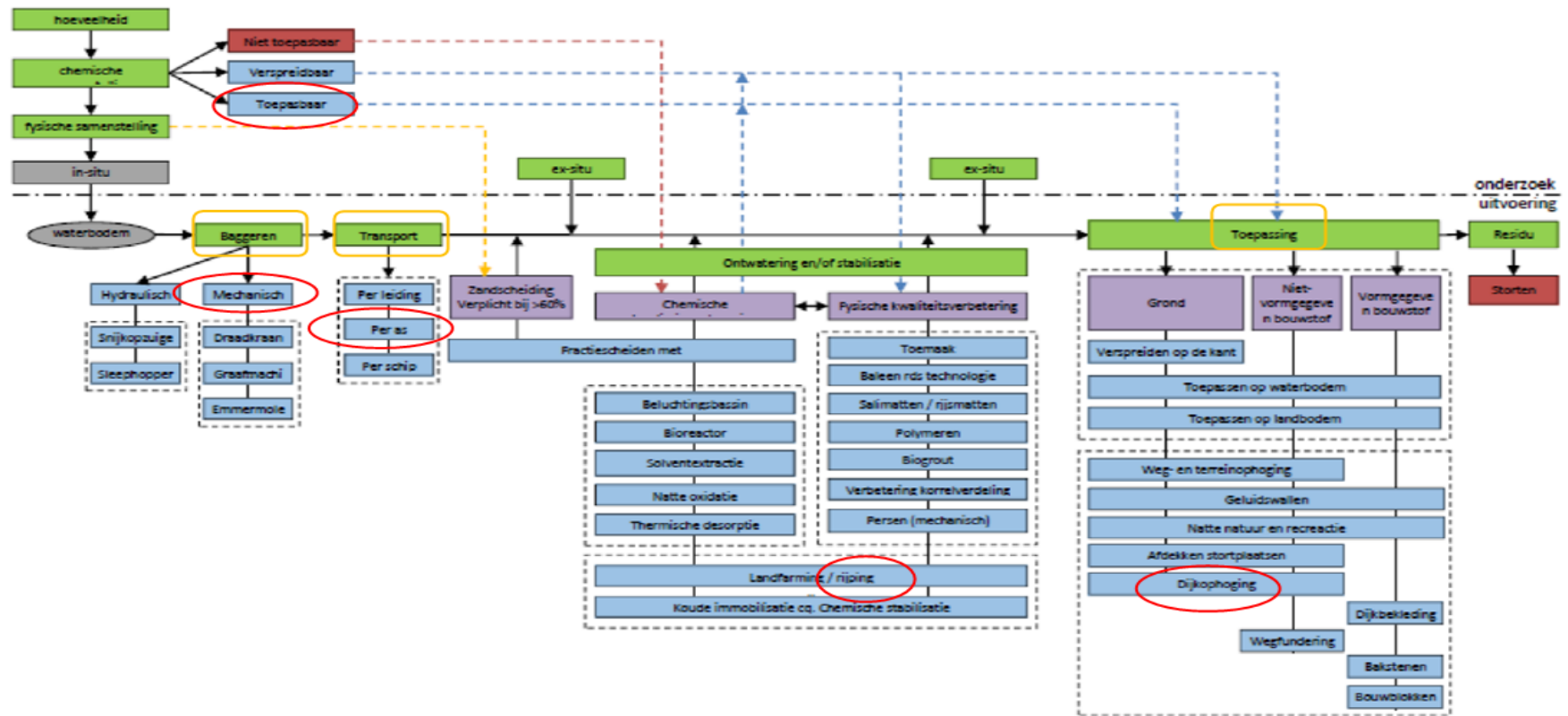


Schuifboot (icm graafmachine) wordt meestal toegepast bij mechanisch baggeren als bagger wordt afgevoerd per as, deze ontbreekt.

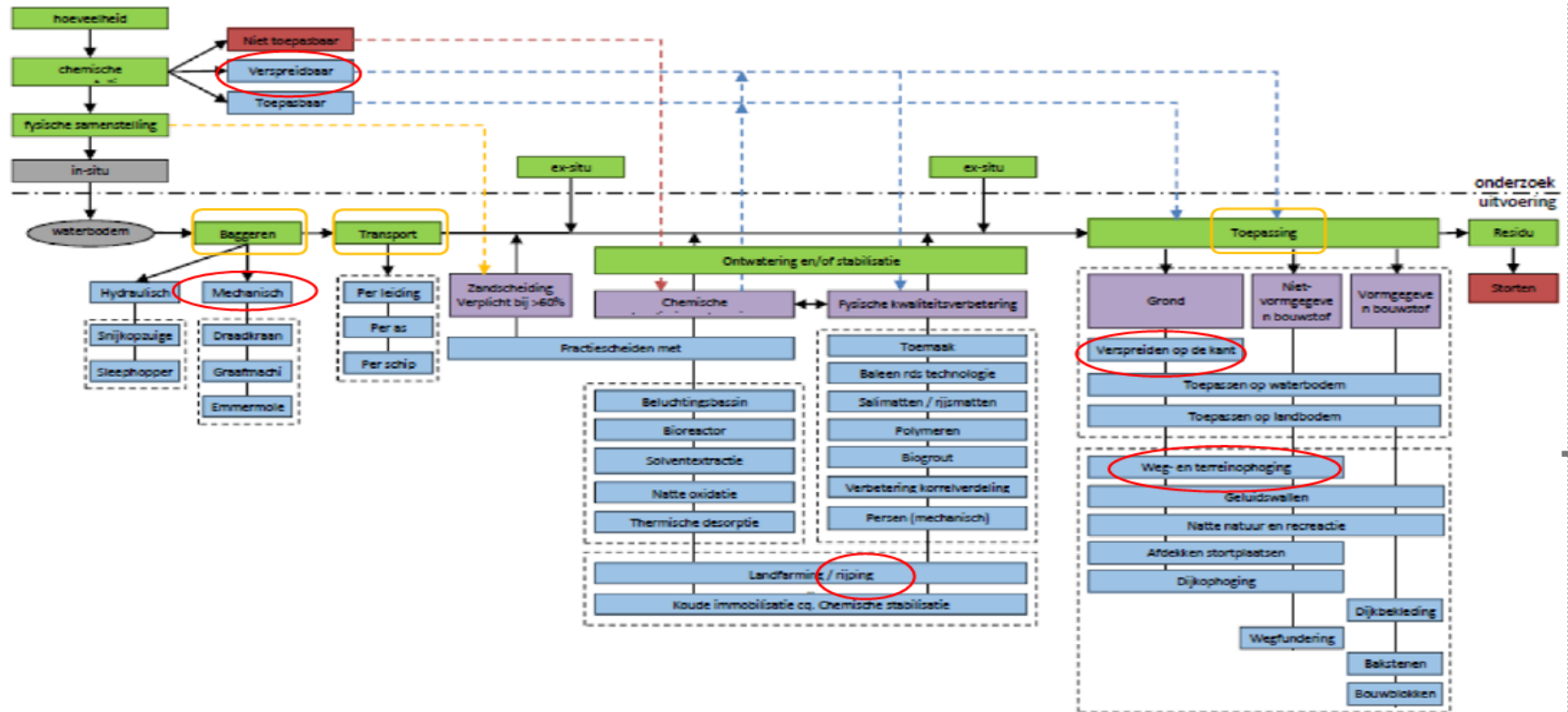
Figuur C-6 Werkblad 6



Figuur C-7 Werkblad 7



Figuur C-8 Werkblad 8



Figuur C-9 Werkblad 9

D. KETENSTAPPEN

Baggeren

Tabel D-1 Ketenstappen die vallen onder de categorie: baggeren

Schuifboot

Eenvoudig rechthoekig open vaartuig gelijkend op de maaiboot 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. Ze verplaatsen zich door zich aan verankerde kabels voort te trekken.



Graafmachine

De hydraulische kraan is een discontinu werkend graafwerktuig. Afhankelijk van de omstandigheden wordt de kraan vanaf de wal dan wel drijvend ingezet. Voor de inzet van een hydraulische kraan zijn verschillende materieelopstellingen denkbaar. De grijper wordt in open stand op de waterbodem neergelaten. De ontgraving komt tot stand door de bak dicht te knijpen. De grijper is aan de bovenzijde afgesloten met uitzondering van daar gemonteerde kleppen. De analyse gaat uit van het gebruik van een milieugrijper of vizierbak.



Draadkraan

De draadkraan is een discontinu werkend graafwerktuig. De ontgraving wordt gerealiseerd door het volknippen van de grijper met de te ontgraven grond. De kraan kan vanaf de oever werken of drijvend worden ingezet. Evenals bij de hydraulische kraan zijn verschillende situaties denkbaar. De analyse gaat uit van het gebruik van een gesloten grijper of milieugrijper.



Snijkopzuiger

De snijkopzuiger is een continu gravend baggerwerktuig en is verankerd door middel van een spud (werkpaal) en zijdraden. De snijkop bevindt zich ter plaatse van de mond van de zuigleiding. Met de snijkop wordt de grond losgesneden en als een grond-watermengsel met één of meerdere in het schip opgestelde pompen opgezogen en via een drijvende leiding en walleiding naar het stort geperst. Alle typen koppen zijn inbegrepen in de analyse.



Tractor met pomp

Baggerwerktuig. Hierbij wordt de bagger met veel water opgezogen en gelijkmatig over het aangrenzende weiland gespoten.



Transport / verwerken

Tabel D-2 Ketenstappen die vallen onder de categorie: transporteren

Transport per schip

Er is sprake van transport overwater indien: a) het gebaggerde materiaal per bak of beunship wordt vervoerd b) gebaggerd wordt met een hopperzuiger. Afhankelijk van de diepte kunnen schepen met tonnages van 600 ton tot 1650 ton gebruikt worden. Bij het nattransport wordt de lading m.b.v. graafmachines en/of kranen uit het schip geladen in vrachtwagens die het verdere transport naar de toepassing verzorgen.



Transport per as

Voor het transport over de weg wordt gebruik gemaakt van vloeistofdichte vrachtwagens. Tijdens het vervoeren en het lossen mag geen verlies van water optreden of van het mengsel van water en grond.



Transport per leiding

Bij hydraulisch transport wordt het af te voeren materiaal in slurry gebracht d.m.v. toevoegingen en menging met een overmaat aan water. Vervolgens wordt de natte specie door hydraulisch transport via een persleiding naar de plaats van bestemming (meestal een opslaginrichting) afgevoerd.



Doorgangsdepot

Rijping van baggerspecie in een depot vindt in de meeste gevallen plaats in een doorgangsdepot waarbij, in tegenstelling tot rijping van baggerspecie op de kant, geen vermenging van de specie met de ontvangende bodem optreedt. De rijping vindt in de lente, maar met name in de zomerperiode plaats. In het geval van zoute sediment, ontzilting vindt met name plaats in de herfst of winter.



Toepassingen

Tabel D-3 Ketenstappen die vallen onder de categorie: 'Toepassingen'

Storten



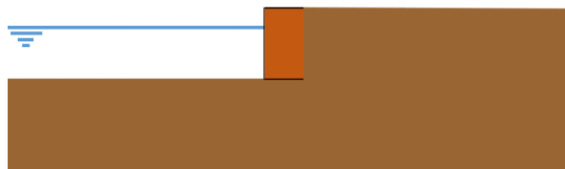
Een stortplaats is een terrein waar, al dan niet onder toezicht van de overheid, nu of in het verleden verontreinigde baggerspecie wordt/is gestort.

Op de kant



Artikel 35, lid f van het Besluit bodemkwaliteit maakt het "verspreiden van baggerspecie uit een watergang over de aan de watergang grenzende percelen" mogelijk. Daarmee is het verspreiden een nuttige toepassing als bedoeld in het Besluit bodemkwaliteit.

Oeverblokken



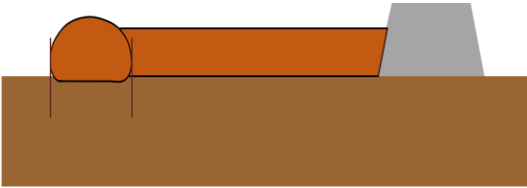
Een beschoeiing is een constructie die een oever of waterkant beschermt tegen afkalven, golfkrachten en andere invloeden die de stabiliteit van de waterkant in gevaar brengen. Ook in de bouwsector worden beschoeiingen gebruikt langs wanden van bouwputten, voornamelijk om droog te kunnen werken.

Dijkversterking



Een Dijkversterking kan toegepast worden op bestaande waterkeringen. De waterkering wordt hierbij opgehoogd met baggerspecie, en eventueel verbreed. Hierbij wordt de bestaande bekleding in principe niet verwijderd.

Weilanddepot



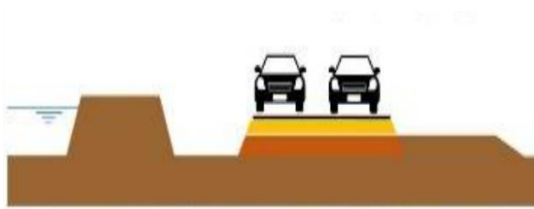
Het Besluit bodemkwaliteit biedt de mogelijkheid om een weilanddepot in te richten, zonder een vergunningsverplichting op grond van de Wet milieubeheer en / of de Waterwet. Een weilanddepot is een vorm van opslag van baggerspecie op een perceel, aangrenzend aan de watergang waaruit de baggerspecie afkomstig is (gelijke beoordeling als verspreiding) en heeft niet de juridische status van een 'depot' (inrichting).

Afdekken stortplaats



Het kan zeer interessant zijn om bestaande stortplaatsen af te dekken met gerijpt baggerspecie, zodat de stortplaats niet meer blootgesteld is aan de buitenlucht. Dit wordt gedaan met verschillende afdekklagen van baggerspecie.

Wegophoging



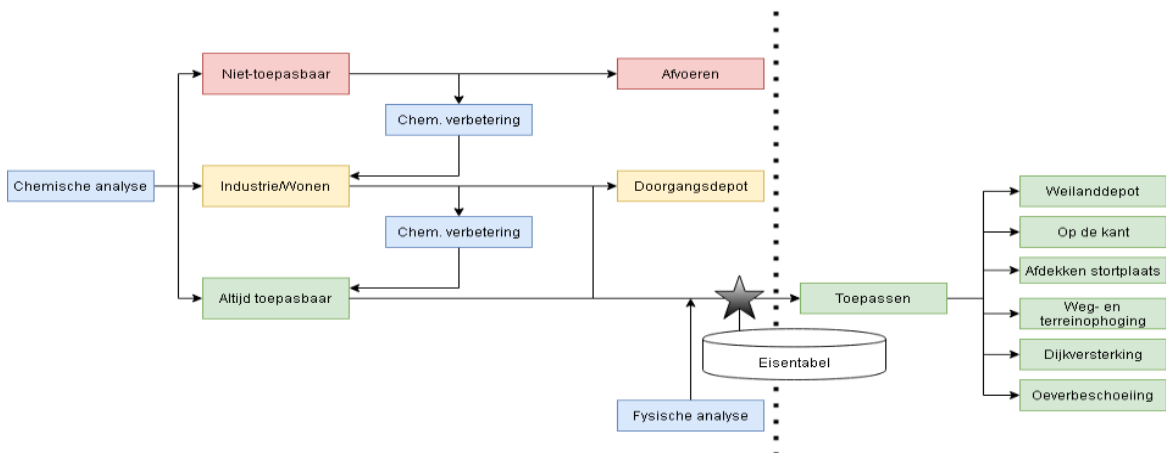
Gedurende wegwerkzaamheden, met name in de vorm van een ophoging van wegdelen, is het zeer gebruikelijk om bouwstoffen zoals zand of klei te gebruiken. Een alternatief hiervoor is het gebruik van gerijpt baggerspecie bij de ophoging van wegconstructies of funderingen.

Terreinophoging



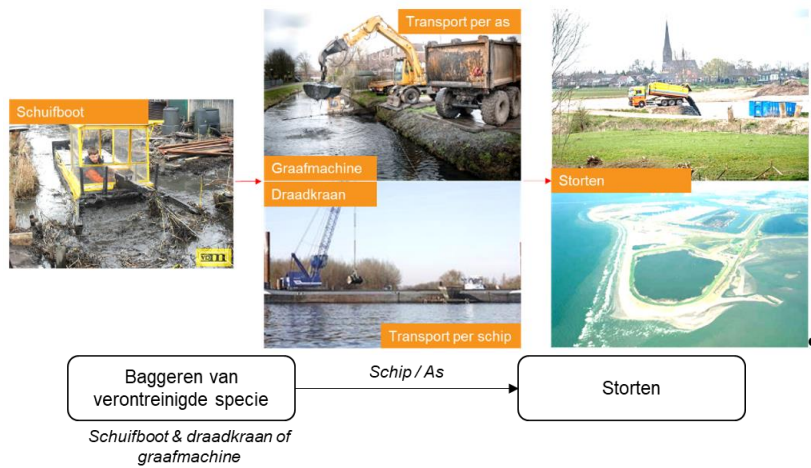
Laaggelegen terrein kan in plaats van met conventionele bouwstoffen, ook met gerijpt baggerspecie opgehoogd worden.

E. VAN CASUSSEN NAAR KETENS



Figuur E-1 Schema met ketenstappen op basis van het ketenoverzicht uit Fase 1. Dit schema dient als basis voor de vier opgestelde baggerketens voor de praktijkcasussen.

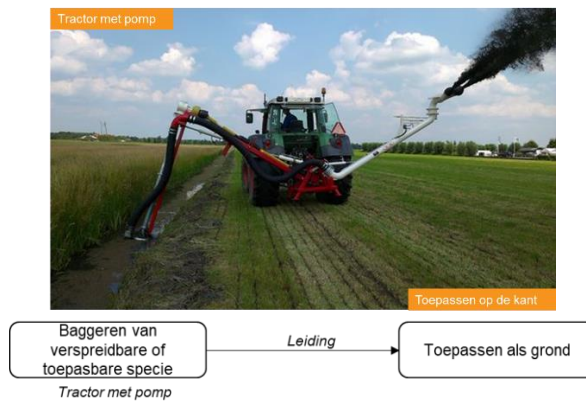
Casus 1 Gebaseerd op praktijkcasus Plantageweg Muidergracht



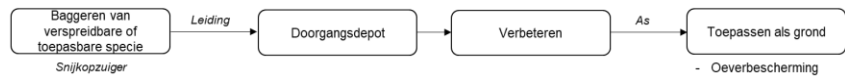
Casus 2a Gebaseerd op praktijkcasus Loosdrechtse plassen



Casus 2b Gebaseerd op praktijkcasus Loosdrechtse plassen



Casus 3 Gebaseerd op praktijkcasus Oranjekanaal



Casus 4 Gebaseerd op praktijkcasus HHNK / Damsterdiep



Figuur E-2 De casussen op basis van Figuur E-1, teruggebracht naar vier ketens.

F. AANPASBARE CATALOGUSWAARDEN

Ketenstap	Aanpassing Kosten/Waarden	Aanpassing Emissies	Aanpassing Volumes	Aanpassing Natuur/ Systeem
Schuifboot	Kosten uitvoering	CO ₂ uitvoering	Volumevermindering	-
Graafmachine	Kosten uitvoering	CO ₂ uitvoering	Volumevermindering	-
Draadkraan	Kosten uitvoering	CO ₂ uitvoering	Volumevermindering	-
Snijkopzuiger	Kosten uitvoering	CO ₂ uitvoering	Volumevermindering	-
Tractor met pomp	Kosten uitvoering	CO ₂ uitvoering	Volumevermindering	-
Transport per schip	Transportkosten	CO ₂ transport	-	-
Transport per as	Transportkosten	CO ₂ transport	-	-
Transport per leiding	Transportkosten	CO ₂ transport	-	-
Storten	Kosten toepassing Waarden toepassing	CO ₂ uitvoering Laagdikte stortdepot	Volumevermindering Volume toegevoegd Capaciteit	-
Op de kant	Kosten toepassing Waarden toepassing	CO ₂ uitvoering Laagdikte op de kant	Volumevermindering Volume toegevoegd Capaciteit	-
Doorgangsdepot	Kosten uitvoering	CO ₂ uitvoering Laagdikte doorgangsdepot	-	-
Dijkversterking	Kosten toepassing Waarden toepassing	CO ₂ uitvoering	Volumevermindering Volume toegevoegd Capaciteit	-
Oeverblokken	Kosten toepassing Waarden toepassing	CO ₂ uitvoering	Volumevermindering Volume toegevoegd Capaciteit	-

Figuur F-1 Overzicht van alle basiswaarden van beoordelingsvariabelen die aangepast kunnen worden in de catalogus onderverdeeld in circulariteitsaspect.

G. BASISWAARDEN REFERENTIESCENARIO'S EN (BRON)VERANTWOORDING

De basiswaarden voor de referentiescenario's voor verschillende ketenstappen zijn opgesteld in de vorm van een minimum- en een maximumwaarde. Dit betekent dat de tool alleen kan rekenen met een vaste waarde die binnen het minimum en maximum ligt van een ketenstap (In welk geval dan ook, bevat de schuifboot een waarde van 1,73 tot 3,70 euro/m³). In het geval de waarde veranderd wordt, in bijvoorbeeld de catalogus, wordt de dichtstbijzijnde minimum- of maximumwaarde aangehouden.

Het minimum en maximum zijn bepaald op basis van de waarden die uit verschillende bronnen verzameld zijn. Een minimum uitvoeringskosten van 1,73 euro/m³ voor de schuifboot betekent dat de laagste waarde gevonden in de bronnen 1,73 euro/m³ bedraagt. Hetzelfde geldt voor de maximale uitvoeringskosten. In het geval er geen bronnen beschikbaar zijn die direct een waarde aangeven voor een ketenstap, bijvoorbeeld bij de emissies uitvoering van de 'Dijkversterking', is in samenwerking met experts een calculatie uitgevoerd op basis van de individuele componenten (bijv. afgraven, aanbrengen, afwerken) en is deze gesommeerd. Een overzicht van de gebruikte bronnen voor de beoordelingsvariabelen van elke ketenstap is weergegeven in Tabel G-7.

Baggeren

Tabel G-1 Basiswaarden voor circulariteitsaspect kosten en waarden voor baggerstappen

	Uitvoeringskosten [EUR/m ³]		Emissies [kg CO ₂ -eq/m ³]		Bulk volume vermindering [%]	
	-	+	-	+	-	+
Schuifboot	1,73	3,70	0,20	0,50	2	5
Draadkraan	3,00	6,00	0,54	2,20	5	10
Graafmachine	2,14	8,00	0,54	2,20	5	10
Snijkopzuiger	2,60	5,47	0,20	4,86	0	0
Tractor met pomp	2,60	5,47	0,30	0,93	0	0

Transport

Tabel G-2 Basiswaarden voor circulariteitsaspect kosten en waarden voor transportstappen

	Transportkosten [EUR/m ³ /km]		Emissies [kg CO ₂ -eq/m ³ /km]	
	-	+	-	+
Per as	0,23	0,37	0,04	0,15
Per schip	0,10	0,14	0,02	0,20
Per leiding	0,10	2,0	0,06	1,00

Doorgangsdepot

Tabel G-3 Basiswaarden voor circulariteitsaspect kosten en waarden voor het doorgangsdepot

	Kosten [EUR/m ³ /km]		Laagdikte [m]			Emissies uitvoering [kg CO ₂ -eq/m ³]	
	-	+	-	-/+	+	-	+
Doorgangsdepot	10,33	25,00	0,5	1,0	2,0	0,4	0,9

Toepassing

Tabel G-4 Basiswaarden voor circulariteitsaspect kosten en waarden voor toepassingen van baggerspecie

	Uitvoeringskosten [EUR/m ³]		Waarde [EUR/m ³]		Bulk volume vermindering [%]	
	-	+	-	+	-	+
Storten	13,71	60,0	0,0	0,0	8,0	12,0
Op de kant	0,00	1,00	0,0	1,0	0,0	0,0
Oeverblokken	66,0	172,0	16,0	120,0	25,0	40,0
Dijkversterking	1,61	8,04	6,00	18,00	8,0	13,0

Tabel G-5 Basiswaarden voor circulariteitsaspect emissies voor toepassingen van baggerspecie

	Laagdikte toepassing			Emissies uitvoering [kg CO ₂ -eq/m ³]		Natuur&Systeem [-]
	-	-/+	+	-	+	(geen spreiding)
Storten	0,25	0,5	1,0	0,54	0,88	0,46
Op de kant	0,1	0,2	0,3	0,30	1,10	2,6
Oeverblokken ²	0,0	0,0	0,0	32,8	61,22	2,5
Dijkversterking	0,25	0,50	1,0	0,30	1,10	2,4

Tabel G-6 Basiswaarden voor circulariteitsaspect volumes voor toepassingen van baggerspecie

	Toegevoegd volume [%]		Natuur&Systeem [-]
	-	+	(geen spreiding)
Storten	0,0	0,0	0,46
Op de kant	0,0	0,0	2,6
Oeverblokken	7,5	50,0	2,5
Dijkversterking	0,0	30,0	2,4

² Door opwerking van baggerspecie tot oeverblokken wordt de aanwezige organische stof vastgelegd. Om deze reden wordt een laagdikte van 0,0 toegepast voor de oeverblokken. In de oeverblokken ketens komen emissies uit sediment wel vrij tijdens verblijf van het gebaggerde materiaal in een doorgangsdepot.

Tabel G-7 Overzicht van de bronnen gebruikt voor het bepalen van de minimum- en maximumwaarden voor elk beoordelingsvariabele gesorteerd per ketenstap. Elk nummer refereert naar een bron onder in de tabel weergegeven.

Variabele	Unit	Baggeren				
		Schuifboot	Graafmachine	Draadkraan	Snijkopzuiger	Tractor met pomp
Bagger-toepassingskosten en	EUR/m ³	2, 1 (x6)	2, 1 (x8)	2	2, 1 (x7)	1 (x1)
Transportkosten	EUR/ m ³ /km	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t
Waarden	EUR/ m ³	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t
CO ₂ transport	G/ton/km	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t
CO ₂ baggeren en toepassen	kg CO ₂ -eq/m ³	9	8	8	8, 9, 10	10
Emissies sediment uit	kg CO ₂ -eq/m ³	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t

- NETICS interne ramingen en documenten
- <http://Bodemrichtlijn.nl> – Kennisdocument voor bodem- en waterbodembeheer
- MCKBA Evaluatie Eems-Dollard slib-alternatieven, Sijtsma et al., 2017
- Baggerplan IJsselstein 2015-2024, *gemeente IJsselstein*
- Baggeren in de stad, *Gemeente Goes*
- Ramingen en documentatie, *waterschap Vechtstromen*
- Bouwen met baggerspecie dagelijkse praktijk, *Rijkswaterstaat*, 2004
- Ketenanalyse CO₂ emissies baggerwerken, *Peek B.V.*, 2001
- Ketenanalyse, *Aannemingsbedrijf Van der Lee Bruchem*, 2019
- Ketenanalyse baggerwerken CO₂-Prestatieladder, *Biggelaar Groep*, 2017
- Calculatie emissies uit sediment, *Deltares*, 2021
- <http://Soilpedia.nl> – De kennisbank bodem en ondergrond
- Interview *Grondbalans* & NETICS, 2021
- Interview *Van Ooijen & Zn. B.V.* & NETICS, 2021
- Consultatie experts - *expertgroep Circulair Baggerbeheer Fase II*, 2021
- G&B systems Kunststofproductiebedrijf
- Ramingen en documentatie, *waterschap Noorderzijlvest*
- Calculatie o.b.v. individuele componenten
- NETICS & Deltares. (2019). *Onderzoek circulair gebruik van baggerspecie bij de waterschappen Fase I Rapport.*

Variabele	Unit	Transport			Toepassen					
		Per schip	Per as	Per leiding	Storten	Op de kant	Doorgang sdepot	Dijk ophoging	Terreinop hoging	Oeverblo kken
Bagger- en toepassingskosten	EUR/m ³	n.v.t	n.v.t	n.v.t	2, 1 (x6)	3, 2	4	17	4,5	1 (x2)
Transportkosten	EUR/m ³ /km	1 (x2), 3	1 (x4), 6	1 (x15), 6	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t
Waarden	EUR/ m ³	n.v.t	n.v.t	n.v.t	18	3	18	7, 15	7, 15	16,1 (x1)
CO₂ transport	G/ton/km	8, 3	10, 9	9	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t	n.v.t
CO₂ baggeren en toepassen	kg CO ₂ -eq/m ³	n.v.t	n.v.t	n.v.t	19	18	18	18	18	18
Emissies sediment uit	kg CO ₂ -eq/m ³	n.v.t	n.v.t	n.v.t	11, 12, 13, 2, 7,14	11, 12, 13, 2, 7,14	11, 12, 13, 2, 7,14	n.v.t	n.v.t	n.v.t

H. BAGGERKETEN VARIATIES TOOL

Tabel H-1 Alle verschillende variaties aan baggerketens die door de tool doorgerekend worden op basis van de ketenstappen uit de 4 unieke ketens.

#	Baggeren	Transport1	Tussenstation	Transport2	Toepassing
Storten					
1	draadkraan	schip			Storten
2	graafmachine	schip			Storten
3	snijkopzuiger	schip			Storten
4	draadkraan	as			storten
5	graafmachine	as			storten
6	snijkopzuiger	as			storten
7	draadkraan	leiding			storten
8	graafmachine	leiding			storten
9	snijkopzuiger	leiding			storten
Op de kant					
10	graafmachine				kant
11	snijkopzuiger				kant
12	tractor				kant
13	draadkraan				kant
Oeverblokken					
14	snijkopzuiger	leiding	doorgangsdepot	as	oever
15	draadkraan	leiding	doorgangsdepot	as	oever
16	graafmachine	leiding	doorgangsdepot	as	oever
17	snijkopzuiger	schip	doorgangsdepot	as	oever
18	draadkraan	schip	doorgangsdepot	as	oever
19	graafmachine	schip	doorgangsdepot	as	oever
20	snijkopzuiger	as	doorgangsdepot	as	oever
21	draadkraan	as	doorgangsdepot	as	oever
22	graafmachine	as	doorgangsdepot	as	oever
23	snijkopzuiger	leiding	doorgangsdepot	schip	oever
24	draadkraan	leiding	doorgangsdepot	schip	oever
25	graafmachine	leiding	doorgangsdepot	schip	oever
26	snijkopzuiger	schip	doorgangsdepot	schip	oever
27	draadkraan	schip	doorgangsdepot	schip	oever
28	graafmachine	schip	doorgangsdepot	schip	oever
29	snijkopzuiger	as	doorgangsdepot	schip	oever
30	draadkraan	as	doorgangsdepot	schip	oever
31	graafmachine	as	doorgangsdepot	schip	oever
Dijkversterking					

32	snijkopzuiger	leiding	doorgangsdepot	as	dijk
33	draadkraan	leiding	doorgangsdepot	as	dijk
34	graafmachine	leiding	doorgangsdepot	as	dijk
35	snijkopzuiger	schip	doorgangsdepot	as	dijk
36	draadkraan	schip	doorgangsdepot	as	dijk
37	graafmachine	schip	doorgangsdepot	as	dijk
38	snijkopzuiger	as	doorgangsdepot	as	dijk
39	draadkraan	as	doorgangsdepot	as	dijk
40	graafmachine	as	doorgangsdepot	as	dijk
41	snijkopzuiger	leiding	doorgangsdepot	schip	dijk
42	draadkraan	leiding	doorgangsdepot	schip	dijk
43	graafmachine	leiding	doorgangsdepot	schip	dijk
44	snijkopzuiger	schip	doorgangsdepot	schip	dijk
45	draadkraan	schip	doorgangsdepot	schip	dijk
46	graafmachine	schip	doorgangsdepot	schip	Dijk
47	snijkopzuiger	as	doorgangsdepot	schip	dijk
48	draadkraan	as	doorgangsdepot	schip	dijk
49	graafmachine	as	doorgangsdepot	schip	dijk

I. EMISSIES UIT SEDIMENT

Broeikasgassen uit sediment zijn benaderd op basis van de afname van organische koolstof (OC)(Middelburg, 1989). Volgens deze studie neemt de hoeveelheid organische stof af middels een machtsfunctie:

$$\frac{dOC}{dt} = -k \cdot OC$$

$$k = a \cdot t^{-b}$$

$$t = (t_{ini} + t')$$

OC	= organische koolstof	[gC / kg droge stof]
k	= afbraak constante	[jaar ⁻¹]
a	= constante (0.21)	
b	= constante (0.96)	
t _{ini}	= leeftijd (jaren) gewonnen sediment	
t'	= leeftijd (jaren) na plaatsing (gerekend met een maximum van 20 jaar)	

In het toetsingsinstrumentarium circulair baggerbeheer worden meegenomen:

- Blootstellingstijd van het gewonnen sediment
- Organische stof percentage
- Laagdikte in het doorgangsdepot en na verwerking als toepassing
- Leeftijd van het gewonnen sediment

Leeftijd sediment

De leeftijd van het sediment is medebepalend voor de hoeveelheid broeikasgassen die kunnen vrijkomen. Jong organische stof breekt sneller af dan ouder organische stof. Drie leeftijdsklassen worden onderscheiden:

Jong organische stof: leeftijd 0.5 jaar

Vers organisch materiaal dat aangeleverd wordt uit bijvoorbeeld algenboei.

Middel organische stof: leeftijd is 3 jaar

Gemiddeld systeem dat qua waterkwaliteit in orde is.

Oud organische stof: 10 jaar

Wateren met een veenrijke bodem.

Wat niet expliciet wordt meegenomen:

- Verhouding temperatuur en gasproductie
- Verhouding afbraaksnelheid en zuurstof
- Nutriënten
- Zoutgehalte

J. PAGINA'S VAN DE TOOL



Volumes en transport

Mijn volumes en transportafstand zijn...

Op deze pagina kunt u uw baggerhoeveelheid en transportafstanden invullen. Het **gebaggerde volume** is belangrijk voor transport en afzetmogelijkheden

De **transportafstand** naar de dichtstbijzijnde stort en het dichtstbijzijnde doorgangsdepot bepaalt in grote mate hoe circulair een toepassing kan zijn. Hier dient de kortste enkele transportafstand in kilometers ingevuld te worden van baggerlocatie naar de dichtstbijzijnde stort of dichtstbijzijnde doorgangsdepot.

Hoeveelheid vrijkomende baggerspecie

Volume m3

Transportafstand naar de dichtstbijzijnde stort

Afstand km

Transportafstand naar het dichtstbijzijnde doorgangsdepot

Afstand km

Vorige

Volgende

Figuur J-1 Weergave van invoerpagina 1 van het instrumentarium



Chemische kwaliteit

Mijn chemische kwaliteit is...

Op deze pagina dient u aan te geven welk percentage van het gebaggerde volume van de vorige pagina, niet toepasbaar, verspreidbaar en of altijd toepasbaar is. Het totaal van deze percentages (0-100) dient 100% te zijn. De percentages worden gebruikt voor het berekenen van het totaal gebaggerde volume van de enkele chemische kwaliteit van uw keuze

Niet toepasbaar

Fractie %

Verspreidbaar

Fractie %

Altijd toepasbaar

Fractie %

Let op! De tool berekend een score voor één van de drie milieukwaliteitsklassen (kies hieronder). De percentages hierboven worden gebruikt om de hoeveelheid baggerspecie van de gekozen klasse te bepalen en te gebruiken in de berekening van de score

[Kies hier uw chemische klasse](#)

Vorige

Volgende

Figuur J-2 Weergave van invulpagina 2 uit het instrumentarium



Fysische kwaliteit

Mijn fysische kwaliteit is...

Hier kunt u invullen welk percentage van uw totaal gebaggerde volume uit Zand, Silt, Klei en of Organisch materiaal bestaat. Percentage Zand, Silt en Klei dient samen **100%** te zijn.



Zand fractie
Fractie %

Silt fractie
Fractie %

Klei fractie
Fractie %

Organische fractie
Fractie %

Fysische verontreiniging

Vorige

Berekenen

Figuur J-3 Weergave van invulpagina 3 uit het instrumentarium

The 'Resultaten' page displays a summary of environmental and economic data for different scenarios. On the left, input parameters are listed: Hoeveelheid (1000 m3), Km stort (30 km), Km depot (30 km), Chemische kwaliteit (Verspreidbaar), and soil composition (%Zand: 40, %Silt: 50, %Klei: 10, %Org: 10). The main area shows five scenarios with their respective scores and quality indicators:

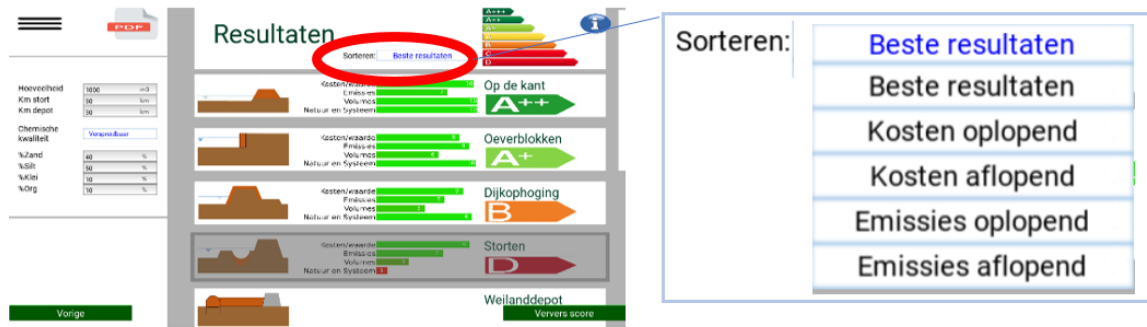
Scenario	Kosten/waarde	Emissies	Volumes	Natuur en Systeem	Quality Indicator
Op de kant	10	7	10	10	A+++
Oeverblokken	8	9	6	10	A+
Dijkophoging	9	7	5	9	B
Storten	9	7	3	1	D
Weilanddepot	-	-	-	-	Ververs score

Figuur J-4 Weergave van de resultatenpagina uit het instrumentarium

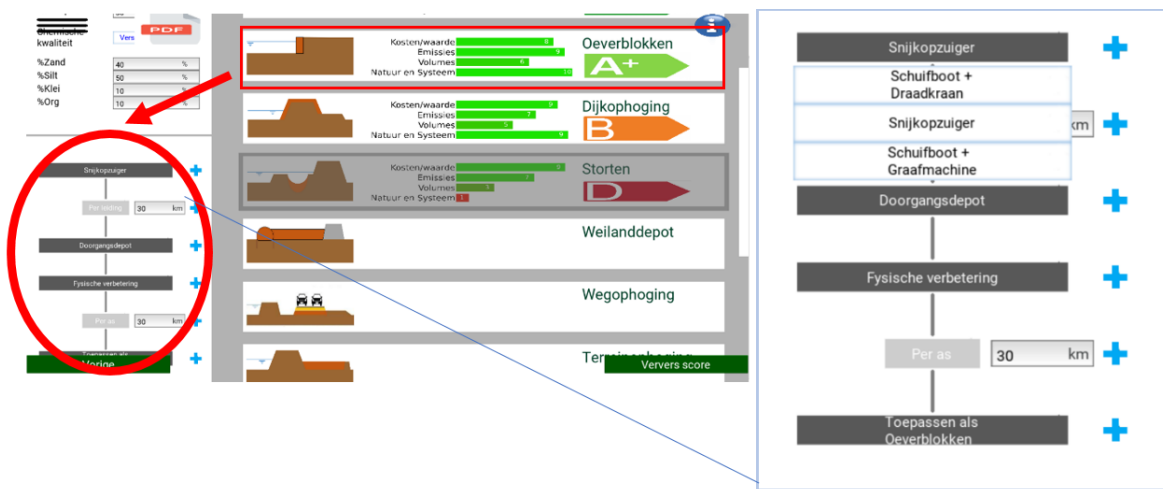
A detailed view of the 'Op de kant' scenario results, showing the following scores:

- Kosten/baten: 10
- Emissies: 7
- Volumes: 10
- Natuur en Systeem: 10

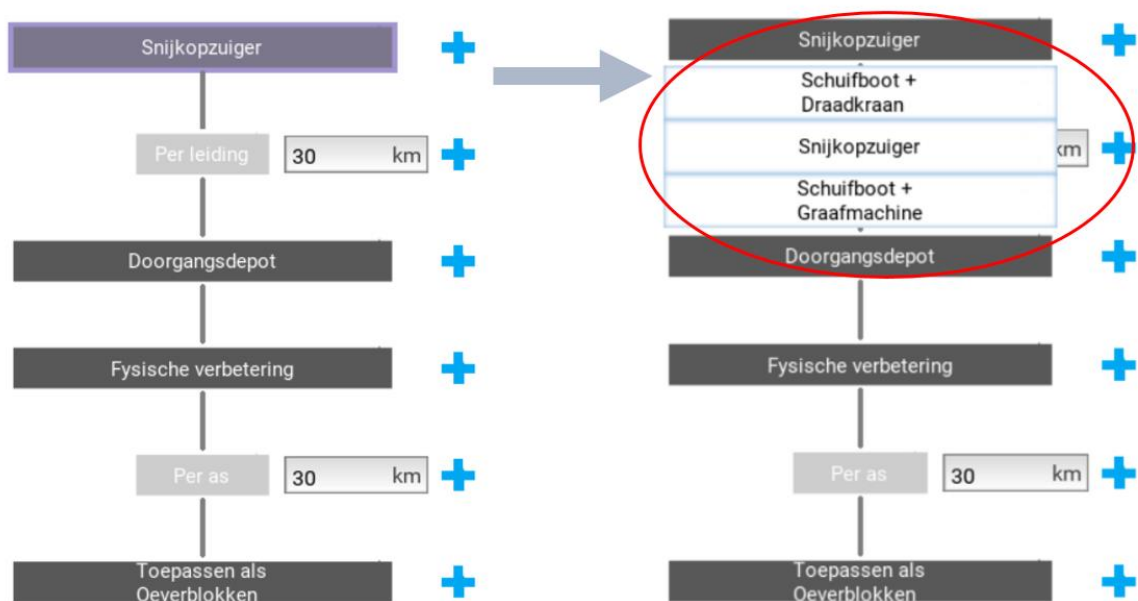
Figuur J-5 Weergave van de subscores uit de resultatenpagina van het toetsingsinstrumentarium



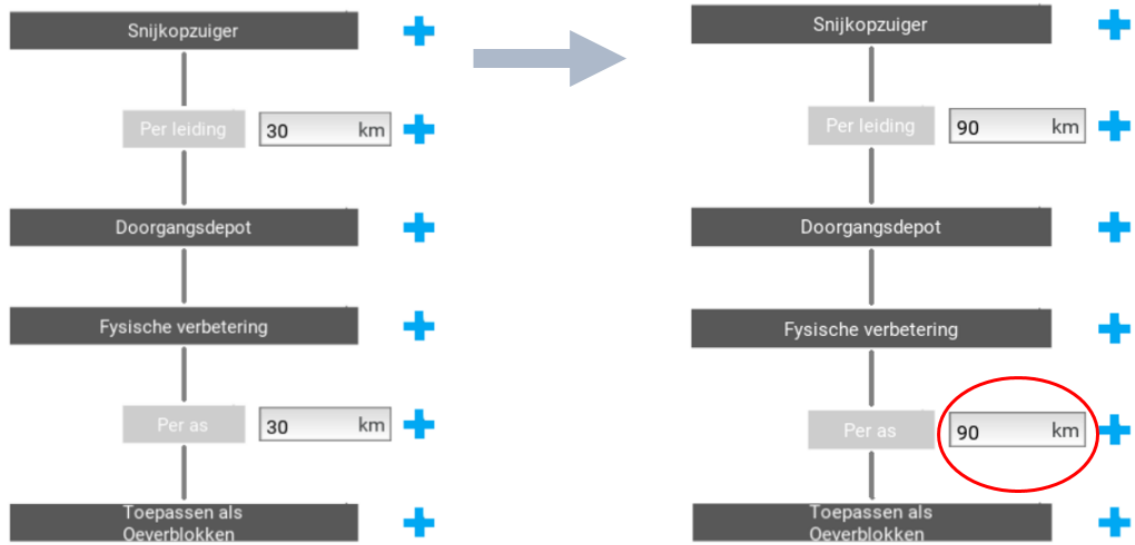
Figuur J-6 Weergave van de sorteringsfunctie uit de resultatenpagina van het toetsingsinstrumentarium



Figuur J-7 Weergave van de functie om ketens te visualiseren uit de resultatenpagina van het toetsingsinstrumentarium



Figuur J-8 Weergave van de functie om ketens te visualiseren en stappen aan te passen uit de resultatenpagina van het toetsingsinstrumentarium



Figuur J-9 Weergave van de functie om ketens te visualiseren en transportafstanden aan te passen uit de resultatenpagina van het toetsingsinstrumentarium

The screenshot shows a software interface with a table on the right and a list of circularity aspects on the left. The table has two columns: 'Circulariteits aspecten' and 'Weging'. The list on the left has a red circle around it.

Circulariteits aspecten	Weging
<input checked="" type="checkbox"/> Kosten/waarde	0.25
<input checked="" type="checkbox"/> Emissies	0.25
<input checked="" type="checkbox"/> Volumes	0.25
<input checked="" type="checkbox"/> Natuur en systeem	0.25
<input checked="" type="checkbox"/> Emissies van sediment	

On the left side of the interface, there is a list of circularity aspects with a red circle around it:

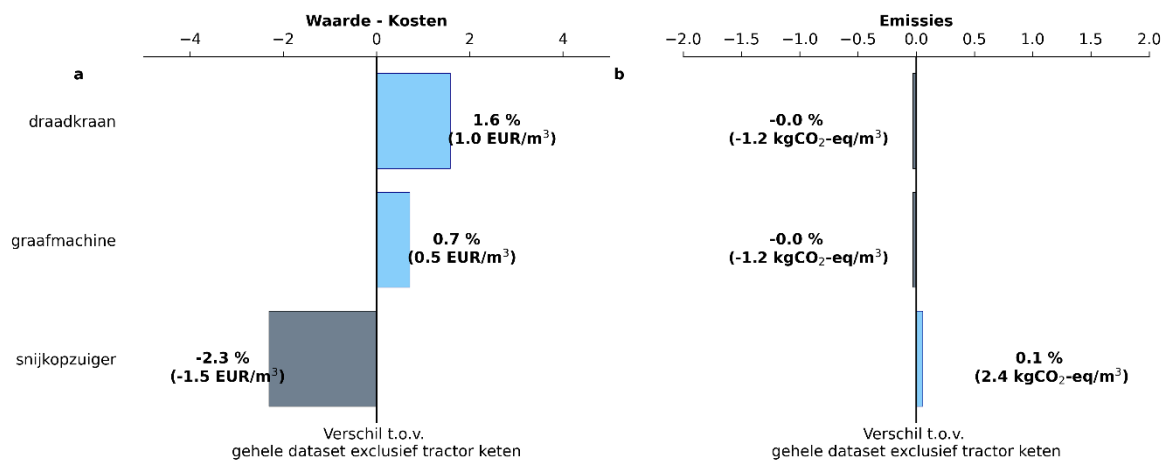
- Kosten/waarde
- Emissies
- Volumes
- Natuur en systeem
- Emissies van sediment

Figuur J-10 Weergave van de functie om de weging van circulariteitsaspecten aan te passen uit de resultatenpagina van het toetsingsinstrumentarium

K. GEVOELIGHEIDSANALYSE RESULTATEN

Invloed keuze baggermaterieel

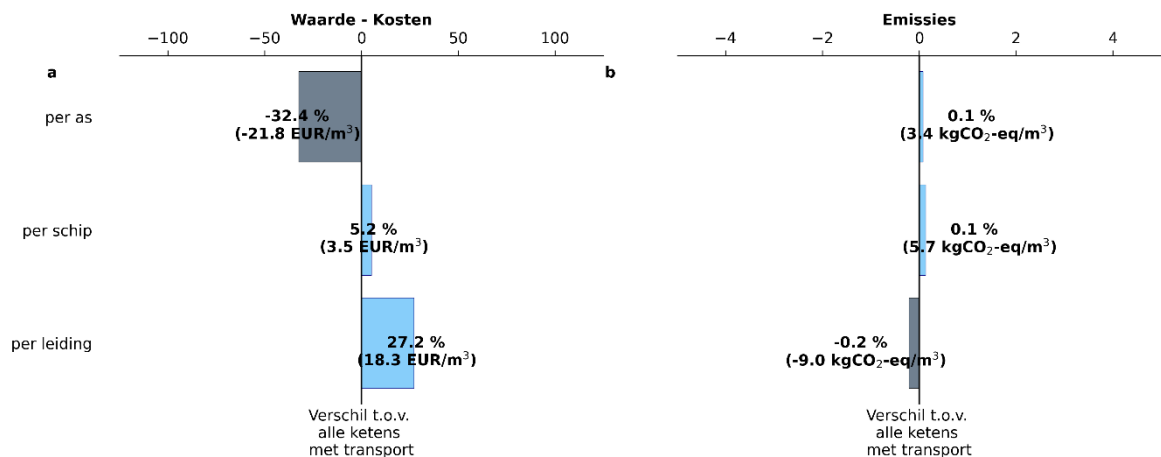
Het inzetten van verschillende baggermaterieel werkt door in de kosten voor het project. Waarbij de keuze voor een snijkopzuiger de totale projectkosten doen stijgen, terwijl het gebruik van een draadkraan (gecombineerd met een schuifboot) en een graafmachine (gecombineerd met een schuifboot) een kleine besparing teweegbrengt (Figuur K-1). De uitwerking op de emissies is procentueel beperkt. In het algemeen kan worden gesteld dat in het toetsingsinstrumentarium de keuze voor het baggermateriaal ondergeschikt is aan de keuzes voor het transport en de toepassing.



Figuur K-1 Invloed van het baggermaterieel op (a) Kosten-Waarde en (b) Emissies.

Invloed van transportmodi

De transportmodi keuze (per as, per schip, per leiding) beïnvloed het circulariteitsaspect Kosten-Waarde en Emissies. Transport per schip is doorgaans het goedkoopst per kuub per kilometer. Transport per leiding is vergelijkbaar met alle ketens het goedkoopst en resulteert in de minste emissies (Figuur K-2), omdat leidingtransport enkel wordt toegepast op relatief korte afstanden (< 5 kilometer).

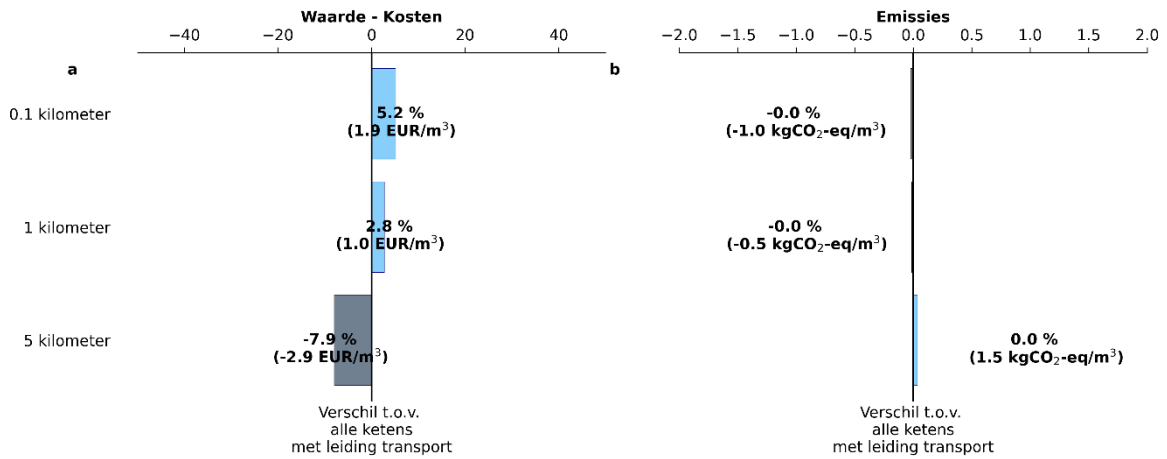


Figuur K-2 Invloed van de transportmodi op (a) Kosten-Waarde en (b) Emissies.

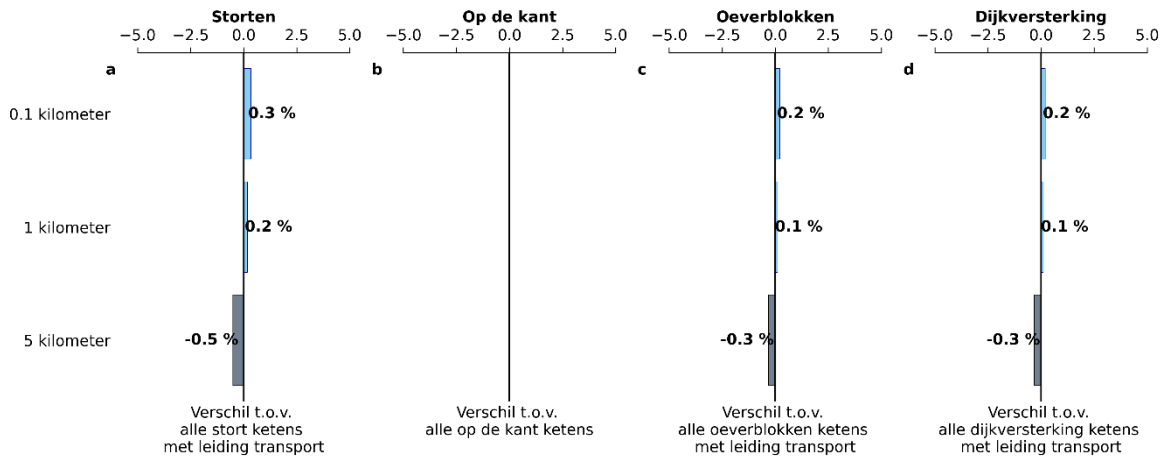
Invloed van transportafstanden

Een kortere transportafstand reduceert zowel de kosten als de emissies. De keuze voor toepassing van gebaggerd materiaal in de nabij omgeving van de baggerlocatie wordt als circulair beschouwd. Transport per leiding is alleen van toepassing voor korte transportafstanden. Hierdoor zijn de kosten -en emissie verschillen tussen de afstanden in absolute zin gering (Figuur K-4). Dit leidt er ook toe dat transport per leiding slechts een klein aandeel vormt in de gehele keten en dat de invloed van leidingtransportafstand op de circulariteitsscore varieert tussen -0,5 % en + 0,3 % (Figuur K-5).

Leiding transport



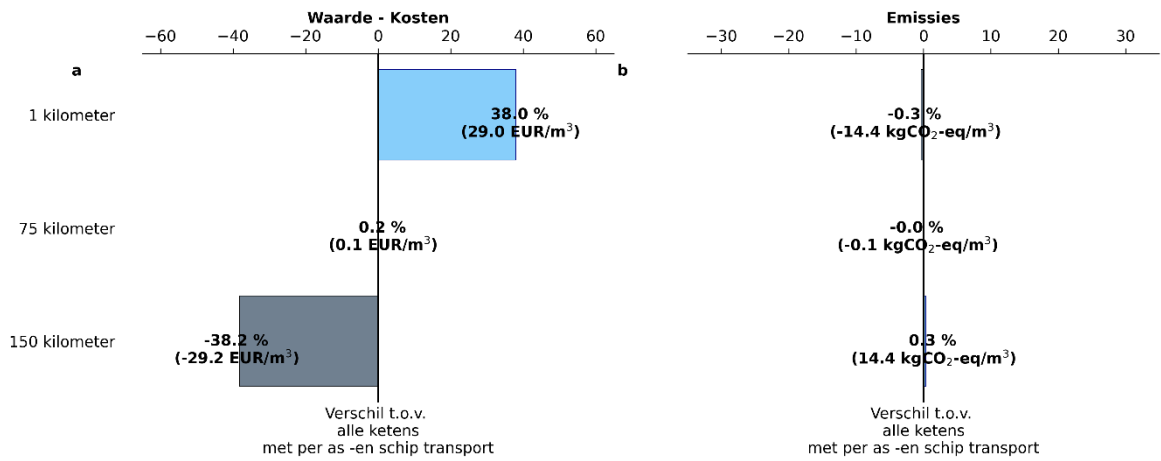
Figuur K-4 Invloed van de transportafstand per leiding op (a) Kosten-Waarde en (b) Emissies.



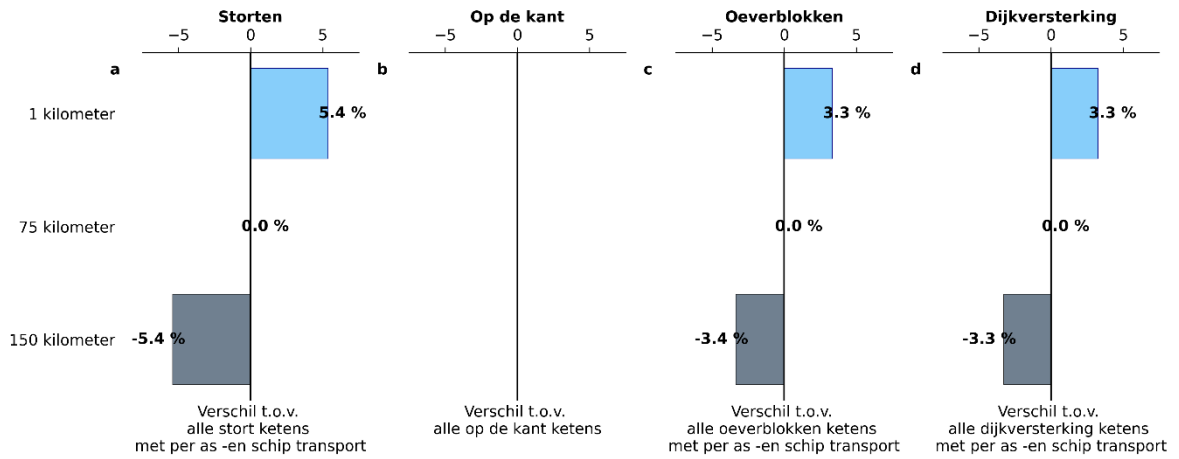
Figuur K-5 Invloed van de transportafstand per leiding op de mediane circulariteitsscore per toepassing.

Transportafstanden per schip en per as zijn doorgaans langer. Voor de eerste transportstap is in de referentiescenario's gerekend met de enkele reisafstanden 1, 75 en 150 kilometer (Bijlage G). De transportafstanden kunnen de gemiddelde projectkosten voor ketens met transport per as of per schip beïnvloeden met meerdere tientallen procenten (Figuur K-6a). De invloed van de transportafstand op de totale emissies in de keten is gering (Figuur K-6b), omdat de emissies uit de transportstap gemiddeld kleiner zijn dan de emissies uit sediment (zie ook Figuur 5-4). Door de invloed van de transportkosten op het aspect Kosten en Waarden beïnvloeden de transportafstanden de circulariteitsscore tussen de -5,4 % en +5,4 % afhankelijk van de toepassing (Figuur K-7).

Per as en schip transport



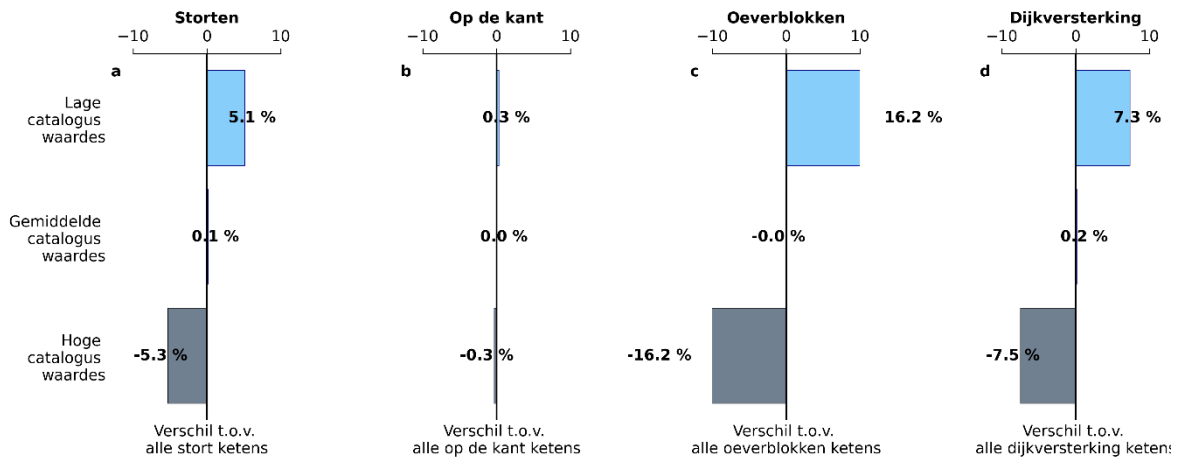
Figuur K-6 Invloed van de transportafstand per as en per schip op (a) Kosten-Waarde en (b) Emissies.



Figuur K-7 Invloed van de transportafstand per as en per schip op de mediane circulariteitscore per toepassing.

Invloed van catalogus waarden

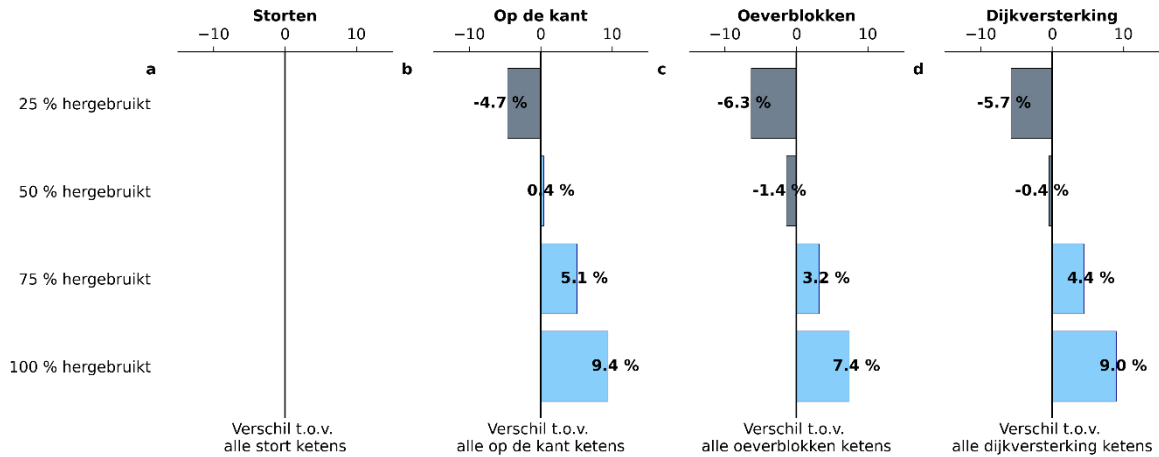
De catalogus omvat kengetallen over de kosten en emissies van materieel en toepassingen. De referentie scenario's bevatten drie catalogus sets (laag, middel, hoog) (Paragraaf 3.2.1). De keuze voor bijvoorbeeld goedkoper materieel met ook minder uitstoot resulteert in een hogere circulariteitscore voor de baggerketen. De uitwerking van de catalogusscenario's op de circulariteitscore per toepassing is weergegeven in Figuur K-8.



Figuur K-8 Invloed van de cataloguswaarden op de mediane circulariteitscore per toepassing.

Invloed volume hergebruikt

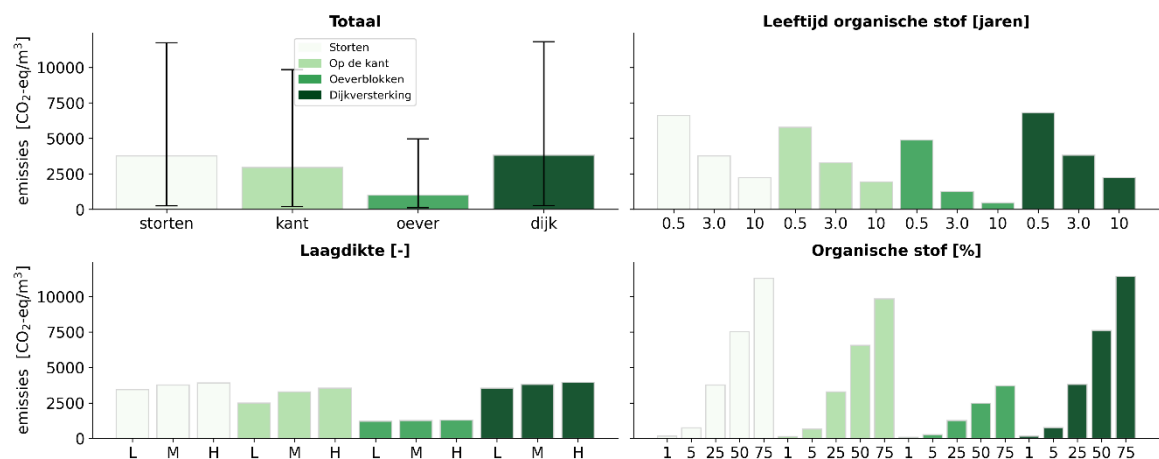
Een hoger nuttig hergebruikt volume resulteert in een hogere circulariteitscore (Figuur K-9). Voor de toepassing ‘Storten’ heeft dit geen invloed, omdat storten van verontreinigde baggerspecie wordt gezien als verliespost (Paragraaf 3.1.3). De onderlinge percentages in Figuur K-8 verschillen iets, omdat het circulariteitsaspect Volumes bestaat uit een aandeel volume hergebruikt en een aandeel volume toegevoegd (t.b.v. de aanleg van de toepassing) (Paragraaf 3.1.3).



Figuur K-9 Invloed van het hergebruikte volume op de mediane circulariteitscore per toepassing.

Invloedfactoren emissies uit sediment

De formulering voor de berekening van de emissies uit sediment is voornamelijk afhankelijk van de leeftijd van het organische materiaal, de laagdikte en het percentage organische stof. In Figuur K-10 zijn deze invloeden weergegeven. De spreiding rond de uitstoot resultaten is aanzienlijk en sterk afhankelijk van de leeftijd van het gewonnen materiaal en het percentage organische stof, beiden lokale parameters waar de beheerder geen invloed op heeft. Echter de beheerder heeft wel invloed op de laagdikte, een kleinere laagdikte zal leiden tot een hogere circulariteitscore. Een kleinere laagdikte verlaagt de kans op anaerobe condities en resulteert hiermee in een lagere uitstoot.



Figuur K-10 Totale emissies per toepassing en invloed van leeftijdsediment, laagdikte scenario en percentage organische stof.

L. KENNISDISSEMINATIE

USAR-Baggernet Webinar. 'Using Sediment As a Resource' 8 Oktober 2020.

'Using Sediment As a Resource' was the theme of Platform Baggernet's international webinar, which took place on Thursday October 8th 2020. The webinar was combined with the final symposium of the Interreg-project 'Using Sediment As a Resource' (USAR). In light of the COVID-19 pandemic the planned Baggernet/USAR conference in March 2020 unfortunately had to be cancelled. Instead, a webinar was organized.

Link:

https://www.youtube.com/watch?v=H0NuTkuKyys&feature=youtu.be&ab_channel=SIKBTV

UP festival. 25 November 2020.

Uitvoeringsproject bodem heeft een festival georganiseerd waar betrokken partijen hun project konden presenteren. NETICS en Deltares hebben een inzending gedaan met een filmpje:

https://www.youtube.com/watch?v=aB6IUlrWniQ&feature=youtu.be&ab_channel=NETICSB.V.

Workshop Navclimate-SEDNET . 10-11 Februari 2021.

The workshop comprised two consecutive half-day sessions. Its aim was to facilitate knowledge exchange, disseminate good practice, highlight opportunities, and identify gaps in understanding or research needs in relation to ports, waterways, dredging and associated infrastructure/activities.

Baggernet Webinar 'Verduurzaming in de baggersector). 1 Juli 2021

Het eerste elektrisch aangedreven baggervaartuig is al op de markt, maar met welk type materieel en welke brandstof maken we de meest duurzame keuzes? En hoe werken deze keuzes door in de bedrijfsvoering binnen de baggersector? We staan in dit webinar stil bij zowel de grotere baggerschepen als het kleinere baggermaterieel op de kant. De nieuwste technisch-inhoudelijke ontwikkelingen passeren de revue, evenals de rol van duurzaam inkopen en aanbesteden.

12th International SedNet conference (online), van 28 Juni -2 Juli 2021

Sediment Challenges and Opportunities due to Climate Change and Sustainable Development in partnership with BRGM and the Hauts-de-France Region

Assessing circularity of dredging activities: a new tool for the Dutch waterboards to pave the way towards a circular economy

Eldert Besseling¹, Fred de Haan², Ewoud Volbeda¹, Jip Koster¹, Vincent van Zelst³, Luca Sittoni^{3,4,5}
re-use of dredged sediment, circular economy; public-private cooperation

¹Netics BV, Edisonweg 10 (-300), Alblasserdam, The Netherlands

Phone: +31-6-2296-0671

² Waternet Waterschap Amstel gooi en vecht, Amsterdam, The Netherlands

E-mail: Eldert@Netics.nl

³Deltares, Boussinesqweg 1, Delft, The Netherlands.

⁴EcoShape – Building with Nature, Spuiboulevard 210, Dordrecht, The Netherlands.

⁵chair PIANC Working Group 214, Boulevard Roi Albert II 20, Brussels, Belgium.

Introduction:

Exposure to the climate change effects is increasing due to growing population and economy. These developments go hand-in-hand with increased pressure on natural habitats and resources. To pave the way towards a more sustainable environment, circular economy has gained more and more interest among policy makers, scientist and industry. Circular economy (CE) aims to shift away from the classical make use – and – dispose approach and establish a balance that makes both environmental and business sense (EU, 2017). While a clear political and societal momentum towards a CE is emerging, many different circular economy concepts exist (Kirchherr et al., 2017).

Translated to sediment management practices, the reuse of dredged material matches perfectly the philosophy of circular economy (Brils et al., 2014). Dredged sediments offer a natural resource that can be applied over and over again in many sustainable applications. To date uptake in practice is limited. However, ambitious circularity goals of national governments and water authorities provide opportunities to put theory into practice.

Methods:

The Dutch waterboards have set an ambitious target to become 50% circular by 2030 and 100% circular by 2050. The main resource flow within the work package of the waterboards consists of locally dredged sediments. The key question addressed is how the waterboards can manage this resource flow in a circular manner. Deltares and Netics are working closely together with 19 of the 21 Dutch Water Regional Authorities to answer this question and setup a quantitative tool to measure and guide the circularity of dredge sediments projects.

Most of the circularity concepts are focused on industrial products. Dredged sediments differ from these products as sediment itself is the product and the natural resource. This factor gave rise to a circularity definition purely focused on dredged sediments. This definition follows three main principles: 1) maximise benefits and added value for economy, environment and society. 2) strive to close cycles and re-use in high quality products, 3) minimize waste. In addition, key factors are following natural processes (what mother nature would do) and stakeholder engagement.

A circularity tool for dredged sediments is set-up that assesses the level of circularity of alternative pathways. These pathways include the use of various dredging methods, transport distances, transport mediums and applications.

Assessment of the level of circularity is based on four criteria groups: costs and added value, volumes, emissions and system impact. The tool includes emissions by dredging machines and transport, but also greenhouse gas (GHG) emissions from ripening of sediments. The latter involves complex biochemical processes that are subject of ongoing scientific research. We acknowledge that these processes are hard to predict accurately, however emissions from ripening cannot be neglected. For this reason, we included a newly developed formula and guidance to estimate GHG emissions from sediment ripening using the current knowledge base.

Three common pathways are selected based on case studies in discussion with the waterboards and a group of external experts. These particular cases include the re-use of sediment directly at the dredging location, use in a revetment and disposal of contaminated sediments. These case studies are used to assess the performance of the new circularity tool for dredged sediments.

Results and discussion:

The circularity tool is available as a user-friendly desktop application that is designed specifically for (freshwater) dredging activities for waterboards. The tool assigns a score (similar to an energy label) to possible pathways based on user input.

The assessment method and the tool are developed by Netics and Deltares in close collaboration with the Dutch Waterboards and are reviewed by an external expert panel. Nevertheless, we acknowledge that the tool, just like all models, is a representation of reality based on underlying the formulations. Further improvement and validation should be carried out prior to wide-use for practical applications.

This presentation will give insight in the definition of circular economy for dredged sediments and introduces the science-behind and the results of the new circularity tool.

References:

- [1] European Commission (2017). Booklet Circular Economy Research and Innovation – Connecting economic & environmental gains. B-1049. Brussels.
- [2] Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, conservation and recycling*, 127, 221-232.
- [3] 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.