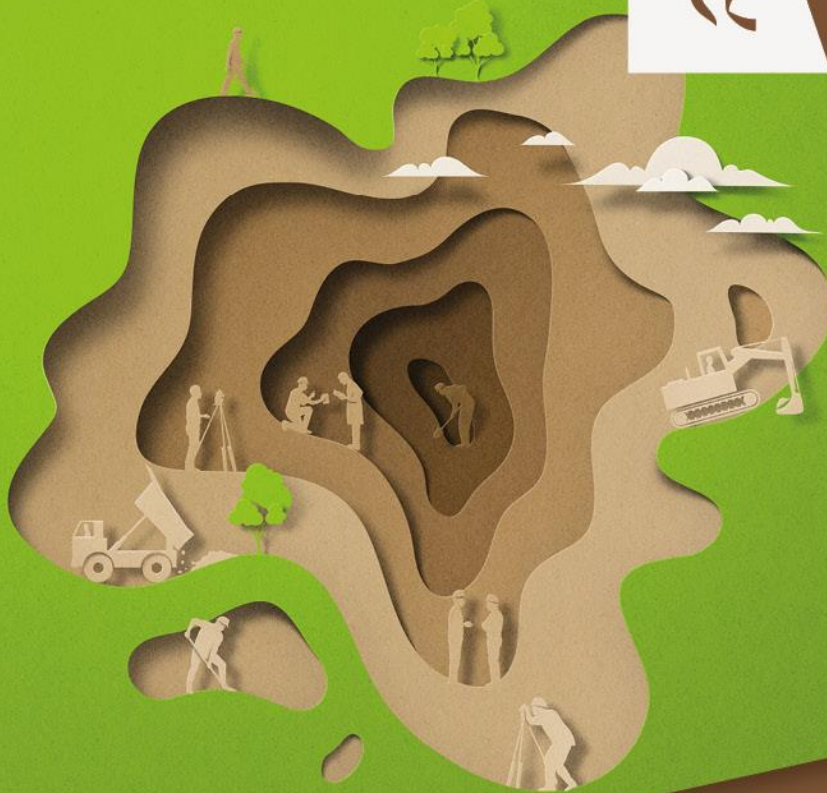




Vlaanderen
is materiaalbewust



RESANAT

LESSONS LEARNED VOOR
CODES VAN GOEDE PRAKTIJK

SAMEN MAKEN WE
MORGEN MOOIER

OVAM

OVAM.VLAANDEREN.BE



RESANAT

Lessons learned en aanbevelingen
voor codes van goede praktijk
publicatiedatum / 30.04.2023



DOCUMENTBESCHRIJVING

- | | |
|---|--|
| 1 <i>Titel van publicatie:</i>
RESANAT - lessons learned en aanbevelingen
voor code van goede praktijk | 2 <i>Verantwoordelijke Uitgever:</i>
OVAM |
| 3 <i>Wettelijk Depot nummer:</i> D/2023/5024/08 | 4 <i>Trefwoorden:</i>
RESANAT
INTERREG
Lessons learned
Code van goede praktijk |
| 5 <i>Samenvatting:</i>
Deze brochure bevat de aanbevelingen en lessons learned uit het Interreg-project RESANAT die kunnen
meegenomen worden in de code van goede praktijk. | |
| 6 <i>Aantal bladzijden:</i> 33 | 7 <i>Aantal tabellen en figuren:</i> 1 tabel |
| 8 <i>Datum publicatie:</i> 2023 | 9 <i>Prijs*:</i> / |
| 10 <i>Begeleidingsgroep en/of auteur:</i>
Katrien Van de Wiele – OVAM
Goedele Kayens – OVAM | 11 <i>Contactpersonen:</i>
Katrien Van de Wiele - OVAM |
| 12 <i>Andere titels over dit onderwerp:</i> Eindrapport “Restverontreiniging in de bodem saneren met de hulp van de natuur –
Resultaten Resanat”. | |

U hebt het recht deze brochure te downloaden, te printen en digitaal te verspreiden.
U hebt niet het recht deze aan te passen of voor commerciële doeleinden te gebruiken.

De meeste OVAM-publicaties kunt u raadplegen en/of downloaden op de OVAM-website: ovam.vlaanderen.be

* Prijswijzigingen voorbehouden.

INHOUD

1	Inleiding.....	5
2	Werkpakketten en pilots.....	6
2.1	WP 3: De Lieve: Een reactieve mat als barrière	6
2.2	WP4: Carcoke Zeebrugge: Fytoremediatie	6
2.3	WP5: 's Gravenmoer: Gestimuleerde biologische afbraak	6
2.4	High resolution site characterisation (HRSC) en Iflux	7
3	Lessons learned en aanbevelingen	8
3.1	WP3: De Lieve: Een reactieve mat als barrière	8
3.1.1	Lessons learned	9
3.1.2	Aanbevelingen voor codes van goede praktijk	20
3.1.3	Aanbevelingen	20
3.2	WP4: Carcoke Zeebrugge: Fytoremediatie	21
3.2.1	Lessons learned	21
3.2.2	Aanbevelingen voor codes van goede praktijk	27
3.3	WP5: 's Gravenmoer: Gestimuleerde biologische afbraak	29
3.3.1	Lessons learned	29
3.3.2	Aanbevelingen voor de codes van goede praktijk	31
4	Integratie aanbevelingen in codes van goede praktijk	32
4.1	Het beslissingsondersteunend systeem voor waterbodemsaneringstechnieken	32
4.2	De code van goede praktijk fytoremediatie	32
4.3	De CO ₂ -calculator	33
4.4	De code van goede praktijk – onderzoek waterbodem en oevers	33

1 INLEIDING

In RESANAT (Interreg Vlaanderen-Nederland) werken Vlaanderen en Nederland samen om natuurgebaseerde bodemsaneringsmethoden te verbeteren en te promoten. Het project richt zich specifiek op sites die verontreinigd zijn met PAK's en andere oliederivaten voor een natuurgebaseerde oplossing van de sanering (RESANAT = Restverontreiniging saneren met nature-based technieken).

RESANAT zette in op innovatie van duurzame saneringstechnieken, waarbij planten, micro-organismen, natuurlijke materialen, en wind- en zonne-energie worden ingezet om restverontreiniging te beheersen. Duizenden locaties in Vlaanderen en Nederland die nog met (rest)verontreiniging kampen, kunnen dankzij deze vernieuwende technieken op termijn opnieuw duurzaam inzetbaar kunnen worden.

In het kader van RESANAT zijn drie piloten opgezet:

- Nature-based barrière (de Lieve, Gent): een barrière, nl. een mat op de bodem van een waterloop, die met behulp van de natuurlijke drainagecapaciteit van de waterloop met gebruik van natuurlijke materialen de verontreiniging adsorbeert en afbreekt.
- Fytoremediatie (Carcoke, Zeebrugge): dankzij de aanplant van voornamelijk bomen en stimulatie door de juiste bacteriën wordt een afname verwacht van de vuilvracht en van het verspreidingsrisico van een restverontreiniging.
- Bioremediatie ('s Gravenmoer): Het doel is een stabiele eindsituatie te bereiken met behulp van gestimuleerde biologische afbraak van een grondwaterverontreiniging.

In deze piloten werd ook gebruik gemaakt van IFlux en High Resolution Site Characterisation technieken. Het doel van deze technieken en een uitgebreide beschrijving ervan en de onderzoeksresultaten vindt u in het eindrapport “ Restverontreiniging in de bodem saneren met de hulp van de natuur – Resultaten Resanat”.

In dit document verzamelen we de lessons learned uit de drie piloten en de aanbevelingen van de partners voor de Vlaamse codes van goede praktijk, zoals voorzien in het onderzoeksvoorstel.

Deze aanbevelingen worden verwerkt in respectievelijk:

- Het beslissingsondersteunend systeem voor waterbodemsaneringen.
- De code van goede praktijk – Fytoremediatie.
- De CO2-calculator.
- De code van goede praktijk – Onderzoek van waterbodem en oevers.

2 WERKPAKKETTEN EN PILOTS

Voor elke pilootopstelling werd een apart werkpakket voorzien:

- WP3: De Lieve: een reactieve mat als barrière.
- WP4: Carcoke Zeebrugge: fytoremediatie.
- WP5: 's Gravenmoer: gestimuleerde biologische afbraak.

2.1 WP 3: DE LIEVE: EEN REACTIEVE MAT ALS BARRIÈRE

Het doel van deze pilootopstelling is een barrière te plaatsen om verspreiding van de verontreiniging vanuit het grondwater tegen te gaan en zo te verhinderen dat het oppervlaktewater wordt verontreinigd. Dat de verontreiniging ter hoogte van de barrière wordt afgebroken is niet het doel op zich maar draagt bij tot een duurzaam beheer van de barrière.

De reactieve mat is na ruiming geïnstalleerd in de waterloop.

2.2 WP4: CARCOKE ZEEBRUGGE: FYTOREMEDIATIE

Het doel van werkpakket 4 is, om met een duurzame en op de natuur gebaseerde maatregel de kwaliteit van de bodem en het grondwater te verbeteren. Deze maatregel heeft vorm gekregen in fytoremediatie. Fytoremediatie is het inzetten van planten en de daarbij horende micro-organismen zoals bacteriën en schimmels. Deze techniek werd ook toegepast op sediment dat bij ruimingswerken van De Lieve is vrijgekomen.

Een uitgebreide beschrijving van de pilootopstellingen en de resultaten, vindt u in het rapport: "Restverontreiniging in de bodem saneren met de hulp van de natuur – Resultaten Resanat".

2.3 WP5: 'S GRAVENMOER: GESTIMULEERDE BIOLOGISCHE AFBRAAK

Het doel van dit onderzoek is om na te gaan of door gestimuleerde biologische afbraak de nalevering van de verontreinigingskern naar de pluim kan verminderen met als uiteindelijk doel het uitschakelen of passief beheersen van de geohydrologische barrière, bestaande uit een bentonietwand met diepwell onttrekking. De stimulatie van biologische afbraak werd getest in verschillende opstellingen.

Een uitgebreide beschrijving van de pilootopstellingen en de resultaten, vindt u in het rapport: "Restverontreiniging in de bodem saneren met de hulp van de natuur – Resultaten Resanat".

2.4 HIGH RESOLUTION SITE CHARACTERISATION (HRSC) EN IFLUX

Het doel van het RESANAT project is om met behulp van enkele pilots de toepasbaarheid van natuur gebaseerde ('nature based') technieken te vergroten.

Conventionele saneringstechnieken zijn vaak zeer ingrijpend en verbruiken veel energie. Natuurgebaseerde technieken maken gebruik van de natuurlijke omstandigheden en zijn vaker gericht op het beheersen van de verontreiniging. Hierdoor zal de sanering over een langere termijn lopen.

Het is een uitdaging om gedurende deze volledige periode een efficiënte en effectieve monitoring op te zetten. Het monitoringsplan moet toelaten om het rendement (= de effectiviteit) van de saneringsmaatregelen (=resultaat) op te volgen maar ook om tijdig en proactief bij te sturen wanneer wijzigingen optreden of blijkt dat de vooropgestelde saneringsdoelstellingen niet worden behaald.

Belangrijk is om van bij aanvang van de sanering de verontreinigingssituatie goed in beeld te hebben zodat de kritische ontwerpparameters kunnen worden gedefinieerd. Dit laat ook toe de randvoorwaarden en uitgangspunten van de saneringsmaatregelen duidelijk te omschrijven. Tijdens de duur van de sanering dient het monitoringsplan hierop afgestemd te zijn, alsook de frequentie.

Voor de drie pilootopstellingen werd **High resolution site characterisation (HRSC)** toegepast evenals **IFlux**-metingen.

De HRSC-methodes die werden toegepast zijn:

- De EnISSA-MIP-methode.
- EC-Electrical Conductivity: bodemgelaagdheid op basis van geleidbaarheidsmetingen.
- Hydraulic Profiling Tool (HPT): bodemgelaagdheid op basis van doorlaatbaarheidsmetingen.
- Optical Image Profiler.

Aanvullend op concentratiemetingen laat de bepaling van massa FLUX ($\text{g/m}^2/\text{dag}$) en VRACHT verplaatsing (g/dag) van een verontreiniging toe om het gedrag en de dynamiek van de verontreiniging in het grondwater te begrijpen en de risico's beter in beeld te brengen.

De iFLUX-metingen die werden toegepast zijn :

- iFLUX passieve samplers: meten onsite de grondwater en massa flux – zowel horizontale als verticale fluxen;
- iFLUX digitale sensor: meten semi continu de grondwaterstromingsnelheid en richting.

Deze technieken worden uitgebreid beschreven in het eindrapport: "Restverontreiniging in de bodem saneren met de hulp van de natuur – Resultaten Resanat". Ook de resultaten en bevindingen worden in het eindrapport toegelicht.

3 LESSONS LEARNED EN AANBEVELINGEN

3.1 WP3: DE LIEVE: EEN REACTIEVE MAT ALS BARRIÈRE

Een reactieve mat met groene adsorptiematerialen (Natural Catch^{TAUW}) kan de kwaliteit van oppervlaktewater aanzienlijk verbeteren. Aangetoond is dat een rendement van 80-99% kan worden behaald voor PAK, vluchtige olie en (B)TEX en van 70-80% voor het mobielere benzeen.

Essentieel voor het ontwerp en de werking van een Natural Catch^{TAUW} zijn inzicht in locatiespecifieke omstandigheden (hydrologie, verontreinigingssituatie, dimensies oppervlaktewater) en het uitvoeren van fluxmetingen (waterflux en massaflux) en adsorptietesten (schudtesten van verontreinigd water met adsorbent).

Uit de uitgevoerde fluxmetingen volgt dat na een operationele periode van 2 jaar biochar nog niet verzadigd is en nog niet doorslaat in hoge concentraties.

De werking van de reactieve mat zoals toegepast in Gent is gevoelig voor de volgende punten:

- de onderlinge aansluiting van de matelementen;
- de insluiting van gas door gasvorming in de waterbodem (methaan) en bij droogvallen als gevolg van ondiepte;
- de aanwezigheid van puur product in de waterbodem direct onder de mat;
- de verandering van de geohydrologie (stroombanen) als gevolg van ontwikkelingen in de omgeving (bv verandering van hemelwater infiltratie).

In Gent is de inzet van een reactieve mat de meest duurzame keuze bij een afweging op duurzaamheids-indicatoren conform ISO 18504, met name op de dimensies 'Planet' en 'Prosperity'.

De kosten van de inzet van de reactieve mat in Gent gedurende 30 jaar, inclusief aanleg, onderhoud en vervanging, zijn geraamd op EUR 1.100.000 (excl. BTW).

De carbonfootprint van de reactieve mat over 30 jaar is geraamd op 360 ton CO₂, met biochar als adsorbent en verwerking van het opgeladen biochar door verbranding. Bij biologische behandeling van het opgeladen biochar zou de carbonfootprint kunnen worden gereduceerd tot ca. 100 ton CO₂.

3.1.1 Lessons learned

3.1.1.1 Organisatorische aspecten

Regelmatig en nauw overleg tussen milieuadviseur, aannemer en producent zijn essentieel voor een haalbaar ontwerp van een reactieve mat constructie. De locatiespecifieke omstandigheden, de productietechnische mogelijkheden, de faciliteiten van de aannemer, de zuiveringseisen, de eisen van de waterbeheerder, veiligheid en kostenconsequenties dienen in gezamenlijk overleg te worden doorgesproken en op elkaar afgestemd.

Een realistische planning van het gehele proces en met alle processtappen, van vooronderzoek tot en met aanleg van de matten en daaropvolgende monitoring, dient voorafgaand aan een toepassing uitgewerkt te worden. Tijdens een dergelijk traject zijn aanpassingen in de planning tot op zekere hoogte nog steeds mogelijk, maar ontstaat direct inzicht in de consequentie van een aanpassing voor het moment van oplevering en de daaropvolgende monitoring. Logistiek is van het grootste belang voor producent, leveranciers van materialen en de aannemer met het oog op voorbereidingstijd, productietijd, leveringstijd en regelen van transporten, personeel en materieel.

Een centraal aanspreekpunt voor oppervlaktewater- en oeverbeheer is wenselijk. In dit geval waren de verantwoordelijkheden en onderlinge taakverdeling van eigenaar en beheerder onduidelijk. Hierdoor mist er snelheid in besluitvorming (in dit geval over een slibvang en eisen aan matdikte) en is tijdig onderhoud van de vegetatie op de oever, essentieel voor de bereikbaarheid en zichtbaarheid van de reactieve mat, niet gegarandeerd.

3.1.1.2 Voorinformatie en verkennend onderzoek

Ontwerp en constructie van een reactieve mat in de vorm van de Natural Catch^{TAUW} kan niet zonder eerst kennis te hebben vergaard over:

- De locatiespecifieke omstandigheden:
 - historische informatie: hoe, waar en wanneer is bodemverontreiniging ontstaan;
 - geohydrologie;
 - bodemopbouw;
 - aard en dimensies van de aanwezige bodemverontreiniging;
 - dimensies van het oppervlaktewater: lengte, breedte, diepte, stromingssnelheid en -richting;
 - concentraties in het oppervlaktewater ten opzichte van normen/risicowaarden.
- De water- en massaflux van de instromende grondwaterverontreiniging.
- De adsorptiekenmerken van de verontreiniging.
- De adsorptiecapaciteit van het te gebruiken groene adsorbent.

Als niet wordt voldaan aan deze randvoorwaarden, wordt tussentijdse bijsturing erg lastig, het zuiverend effect kleiner en komt het behalen van de saneringsdoelstelling in gevaar.

3.1.1.3 Monitoringstrategie, evaluatie en bijsturing

Vooraf dient een uitgeschreven monitoringsstrategie opgesteld te worden, inclusief locatie en aantal metingen en stalen, frequentie en meet- en analysepakket. Deze monitoringsstrategie dient vervolgens wel flexibel te zijn: bij de evaluatie van de resultaten van elke meetronde dient de monitoringsstrategie weer tegen het licht te worden gehouden. Een voorbeeld bij de pilootproef in de Lieve is de plotselinge stijging van oppervlaktewaterconcentraties: hierop dient geanticipeerd te worden door een herstaalname (op relatief korte termijn), een extra veldinspectie, eventuele aanpassingen aan het saneringssysteem (mede afhankelijk van visuele afwijkingen bij veldinspectie) en/of aanvullende metingen (bv met fluxsamplers). Afhankelijk van die uitkomsten is het wellicht nodig om de initiële monitoringsstrategie structureler aan te passen, bijvoorbeeld door de frequentie van meetronden te verhogen.

Indien de oppervlaktewaterkwaliteit structureel verslechtert ondanks maatregelen die op korte termijn zijn te treffen aan het bestaande systeem, zoals het rechtekken en verzwaren van matten en afdichtende flappen, zijn er de volgende opties in volgorde van ingrijpendheid:

- het **vervangen** van één of meerdere (verzadigde) matelementen **door matelementen met verse biochar of veen**, en/of;
- het alsnog **verwijderen** van lokaal voorkomend **puur product uit de waterbodem** en aanvulling met schoon zand, waarna weer een reactieve mat gelegd kan worden, en/of;
- het hanteren van **andere verbindingen** tussen de kritische matten, of;
- het verruilen van één of enkele reactieve matelementen door een **klei-/bentonietmat** om belasting van reactieve mat en oppervlaktewater met puur product of extreme concentraties te voorkomen;
- de **inzet** van een andere **saneringstechniek**, zoals (smart) P&T.

3.1.1.4 Financiële aspecten

Er zijn meerdere financiële aspecten relevant voor de toepassing. Die zijn globaal in vier categorieën in te delen:

- ontwerpkosten;
- aanlegkosten;
- operationele kosten;
- herinvesteringskosten (vervanging).

In onderstaande wordt nader ingegaan op de voor de reactieve mat specifieke aanlegkosten, operationele kosten en herinvesteringskosten.

3.1.1.4.1 Aanlegkosten

De aanlegkosten worden gevormd door:

- materiaalkosten 1: geotextielconstructie (inclusief ontwerp, gezien de noodzaak van maatwerk);
- materiaalkosten 2: adsorbent (bv. biochar) en ballast (bv. riviergrind);
- uitvoeringskosten: vullen en plaatsen van de matten.

De aanlegkosten van de constructie in Gent liggen in de orde grootte van EUR 300.000 voor een oppervlak van circa 660 m² (≈ EUR 450/m²) met een evenredige verdeling tussen de drie genoemde kostenposten. De aanlegkosten zijn gekwantificeerd op basis van informatie van OVAM en Envisan. De kosten voor de aanleg van het monitoringssysteem bestaande uit monitoringfilters voor staalname van het grondwater maken slechts een niet-significant deel uit van de totaal kost.

3.1.1.4.2 Operationele kosten

De operationele kosten worden gevormd door:

- monitoringskosten: staalname grondwater en oppervlaktewater (2 a 3x per jaar), chemische analyses, fluxmetingen (1 a 2x per jaar), interpretatie en rapportage. Optioneel aangevuld met periodieke qPCR-analyses en staalname en analyse van adsorptiemateriaal;
- inspectie van de locatie: visuele controle van matconstructie, oppervlaktewater, etc.;
- eventueel herstel van matconstructie bij beschadiging of verschuiving;
- onderhoud van de oevervegetatie: één tot tweemaal per jaar;
- verwijderen slib van matelementen: eens per 3 jaar.

3.1.1.4.3 Herinvesteringskosten

Indien matelementen verzadigd zijn, dient minimaal het daarin aanwezige adsorptiemateriaal vervangen te worden. Geotextiel en ballast kunnen in principe worden hergebruikt.

Doorgaans zal het adsorptiemateriaal minimaal 10 jaar mee moeten kunnen gaan (NB: Uitgangspunt daarbij is de aanwezigheid van opgelost product en niet van puur product). Bovendien is de vuilbelasting van niet alle matelementen even groot: dit is afhankelijk van de massaflux die over het traject genomen doorgaans heterogeen verdeeld is. Vandaar dat bij vervanging veelal niet het gehele traject hoeft te worden vervangen: een deel van de matelementen zal sneller verzadigen, een ander deel wordt minder belast. Wel kunnen uit voorzorg extra, nog niet volledig verzadigde matelementen worden vervangen om de kans te verkleinen dat binnen 10 jaar opnieuw dient te worden ingegrepen; vervanging vergt immers een behoorlijke voorbereiding en kost relatief veel materieel, tijd en daarmee geld (vrijmaken werkterrein; aan- en afvoer hijskranen, vulconstructie en keet; bestellen en levering adsorbent; uitvoeringsdocument; V&G-plan; verslag van de werken).

3.1.1.4.4 Duurzaamheid

In retrospectieve (post-hoc) is een duurzaamheidsbeoordeling van de reactieve mat uitgevoerd. Hierbij gaat het voornamelijk om de relatieve score op duurzaamheidsaspecten ten opzichte van alternatieve (conventionele) saneringstechnieken die hadden kunnen worden ingezet. TAUW heeft haar eigen tool ingezet om een duurzaamheidsbeoordeling uit te voeren waarbij gewichten en scores worden toegekend aan ruim 22 duurzaamheidsindicatoren. Deze indicatoren zijn ingedeeld in de 3 dimensies People, Planet en Prosperity (sociaal, milieugerelateerd en economisch). De duurzaamheidsindicatoren zijn gebaseerd op ISO 18504 (Soil Quality – Sustainable Remediation), relevante UN Sustainable Development Goals, SuRF-UK documenten en enkele andere relevante literatuurbronnen en eigen saneringservaring.

Binnen de duurzaamheidsindicatoren zijn de carbonfootprint (een indicator voor Planet) en de saneringskosten (een indicator voor Prosperity) nader gekwantificeerd.

3.1.1.4.5 Beoordeelde saneringsalternatieven

Als alternatieve saneringstechnieken voor de situatie bij de Lieve zijn beoordeeld:

- ontgraving van de bronzone;
- pump & treat (P&T);
- reactieve mat.

P&T is technisch, organisatorisch en financieel gezien het meest voor de hand liggende saneringsalternatief als we de locatiespecifieke omstandigheden in ogenschouw nemen. Een belangrijke factor hierbij is onder meer de aanwezigheid van bedrijven boven de bronzone, waardoor het bijkomend ontgraven van verontreinigde grond een moeilijk haalbare optie is. Aangezien het afgraven en verwijderen van verontreinigde grond onder andere omstandigheden (bv. bij een braakliggende locatie) een effectieve optie kan zijn, is dit als basisreferentie in de duurzaamheidsbeoordeling opgenomen.

Voor de alternatieve saneringstechnieken zijn de volgende grondslagen voor het ontwerp gehanteerd:

- De ontgraving beslaat een oppervlakte van ongeveer 7.500 m² en bereikt een gemiddelde diepte van ongeveer 5 m-mv; deze bronzone wordt verondersteld aanwezig te zijn binnen de drainerende invloedssfeer van de Lieve. Er moet grondwater worden onttrokken om grondontgraving in de verzadigde zone mogelijk te maken. Hiervoor is de plaatsing van damwanden noodzakelijk en is een waterzuiveringsinstallatie nodig met dezelfde componenten als voor het P&T-alternatief. Het sterk verontreinigde deel van de ontgraven grond, naar verwachting ongeveer 22.500 m³ (circa 60% van de ontgraven grond) wordt getransporteerd naar een externe verwerker voor thermische reiniging. Thermische reiniging is noodzakelijk met het oog op de aanwezigheid van hoge gehalten geadsorbeerd PAK en puur product (PAK, minerale olie en BTEX). Voor de opvulling is schone grond nodig.
- Het P&T-alternatief bestaat uit 3 onttrekkingsputten tot 5 m-mv, waarmee het grondwater tot een diepte van tenminste 6 m-mv door onttrekking wordt bereikt. Met behulp van een onttrekkingspomp wordt een debiet van 40 m³/d gehanteerd, rekening houdend met het natuurlijke debiet. Er wordt een zuiveringsinstallatie ingezet met een olie-waterafscheider en waterzijdige actieve koolfilters. Vervolgens wordt het gezuiverde water rechtstreeks in de Lieve geloosd. De onderdelen van het systeem worden na 12 tot 15 jaar vervangen en het duurt tenminste 30 jaar voordat de concentraties verontreinigende stoffen zijn gedaald tot een niveau waarbij de kwaliteitsnormen van het oppervlaktewater worden bereikt bij natuurlijke instroming van het verontreinigde grondwater.
- De reactieve matconstructie, zoals aangelegd in de Lieve, heeft een totale lengte van 110 m en is 5 m breed. Over een lengte van 65 m zijn de matelementen gevuld met 104 m³ biochar. Het overige deel van 45 m is gevuld met 88 m³ gezeefd zodonturf. Bovendien is in totaal 38 m³ riviergrind toegepast als ballastmateriaal. Er wordt vanuit gegaan dat 50% van de matelementen elke 10 jaar dient te worden vervangen (traject met hoge influx) en de overige 50% pas na 20 jaar wordt vervangen (traject met lage influx). Het verontreinigde adsorbens wordt voor thermische behandeling (volledige verbranding) afgevoerd. Het geotextiel en het ballastmateriaal worden daarbij hergebruikt. Analoog aan de P&T variant duurt het tenminste 30 jaar voordat de verontreinigingsconcentraties zijn afgenomen tot een voor de bescherming van de oppervlaktewaterkwaliteit aanvaardbaar niveau.

3.1.1.4.6 Vergelijking kosten

Kosten ontgraving

De kosten van de ontgraving worden geraamd op ongeveer EUR 4.200.000 (excl. btw). Hierbij is uitgegaan van:

- een ontgravingsduur van 2 maanden;
- 350 meter damwand tot 15 meter diep;
- aanvulling met 22.500 m³ schone grond;
- een bemaling met een debiet van 20 m³/h;
- inclusief milieukundige begeleiding en monitoring (grond, influent en -effluent zuivering, grondwaterpeil);
- 8% algemene kosten; 7% winst en risico;
- rentepercentage 0%.

Kosten pump & treat

De kosten van de P&T variant worden geraamd op ongeveer EUR 1.400.000 (excl. btw). Hierbij is uitgegaan van:

- een saneringsduur van 30 jaar;
- inclusief onderhoud;
- inclusief milieukundige begeleiding en monitoring (grondwater, influent en -effluent zuivering, oppervlaktewater, grondwaterpeil);
- 8% algemene kosten; 7% winst en risico;
- rentepercentage 0%.

Kosten reactieve mat

De kosten van de reactieve mat worden geraamd op ongeveer EUR 1.100.000 (excl. btw). Hierbij is uitgegaan van:

- 1 een saneringsduur van 30 jaar;
- 2 inclusief onderhoud;
- 3 inclusief milieukundige begeleiding en monitoring (grondwater, oppervlaktewater);
- 4 8% algemene kosten; 7% winst en risico;
- 5 rentepercentage 0%.

Conclusie

De kosten van de reactieve mat zijn het laagst. Daarbij de volgende opmerkingen:

- Alle kosten van de ontgravingsvariant worden in jaar 1 genomen, terwijl een groot deel van de kosten van P&T en de reactieve mat worden verspreid over 30 jaar. Er is nu gerekend met een rentepercentage van 0. Houden we echter rekening met rente, dan zal een dergelijke kostenspreiding nog veel gunstiger zijn.
- Ook als P&T en de reactieve mat 50 jaar nodig zijn in plaats van 30 jaar, zijn de kosten van beide varianten nog steeds ruim 50% lager dan van de ontgravingsvariant (nog zonder rekening te houden met rente).

3.1.1.4.7 Vergelijking CO₂-footprint

Uitgangspunten algemeen

De carbonfootprint van de saneringsalternatieven is bepaald met behulp van de CO₂-calculator voor bodemsaneringen van TAUW (versie 1.4 en 1.5). Aanvullend op de eerder genoemde ontwerpgrondslagen onder paragraaf 'Beoordeelde saneringstechnieken' en 'Vergelijking kosten' aangegeven ontwerpgrondslagen per alternatief, is voor de CO₂-footprint rekening gehouden met:

- het gebruik van fossiele brandstof voor voertuigen (transport en handling on- en off site);
- het gebruik van fossiele brandstof voor thermische behandeling van sterk verontreinigde grond en adsorbens;
- het gebruik van grijze elektriciteit voor elektrische apparatuur (vnl. zuiveringsunit);
- oxidatie van organisch stof bij thermische behandeling van grond en adsorbens;
- productie van gebruikte materialen en hulpstoffen;
- regeneratie van actief kool.

CO₂-footprint ontgraving

De CO₂-footprint van de ontgraving wordt geraamd op ongeveer 7.100 ton CO₂. Hierbij ligt het zwaartepunt bij de thermische reiniging van de ontgraven en afgevoerde grond.

CO₂-footprint P&T

De CO₂-footprint van de pump&treat variant wordt geraamd op ongeveer 430 ton CO₂. Hierbij ligt het zwaartepunt bij het actief koolverbruik; een goede tweede is het energieverbruik van de onttrekkingspompen.

CO₂-footprint reactieve mat

De CO₂-footprint van de reactieve mat variant wordt geraamd op ongeveer 360 ton CO₂. Hierbij is als uitgangspunt genomen dat alle adsorbens biochar betreft. Dus ook het nu gebruikte veen wordt beschouwd als biochar (= worst case). Een nog bepalender uitgangspunt is dat het opgeladen biochar extern wordt gereinigd door thermische behandeling / verbranding. Wordt gekozen voor een alternatieve externe reiniging, zoals biologische behandeling door landfarming (bv. met gebruik van witrotschimmels), dan wordt slechts een uitstoot van circa 100 ton CO₂ geraamd.

3.1.1.4.8 Volledige scan op duurzaamheidsindicatoren

Inleiding

TAUW heeft een tool ontwikkeld om de duurzaamheid van saneringsopties te beoordelen door gewichten en scores toe te kennen aan duurzaamheidsindicatoren. De 22 voor deze casus geselecteerde duurzaamheidsindicatoren zijn ingedeeld in de drie dimensies People, Planet en Prosperity (mens, milieu & welvaart). De duurzaamheidsindicatoren zijn gebaseerd op ISO 18504, de VN-doelstellingen voor duurzame ontwikkeling, SuRF-UK-documenten en enkele andere relevante literatuurbronnen.

Alle duurzaamheidsindicatoren hebben een standaardgewicht (vastgesteld vóór de eigenlijke beoordeling), variërend van 1 tot 3. Het maximale gewicht van 3 is toegekend aan de volgende van het grootste belang geachte indicatoren:

- 'Veiligheids- en gezondheidsrisico's' en 'Hinder' (dimensie People);
- 'Kwaliteitsverhoging bodem en grondwater', 'Kwaliteitsverhoging oppervlaktewater' en 'CO₂-footprint' (dimensie Planet);
- 'Kosten van sanering' en 'Waardestijging van perceel' (dimensie Prosperity).

De overige duurzaamheidsindicatoren hebben een gewicht van 1 of 2.

De score per saneringsalternatief voor elke duurzaamheidsindicator kan een waarde aannemen van 0 tot 5. De laagste individuele score is 0, de beste individuele score is 5. Een score van 0 betekent ofwel helemaal geen toegevoegde waarde ofwel een negatieve last. Hoe hoger de score, hoe lager de last of hoe hoger het voordeel in termen van duurzaamheid.

Het product van individuele score en gewicht levert een eindwaarde op voor elke afzonderlijke duurzaamheidsindicator, per saneringsalternatief. Deze waarden worden bij elkaar opgeteld om een totaal te krijgen voor elk van de drie dimensies, per saneringsalternatief. De uiteindelijke beoordeling van saneringsalternatieven vindt plaats op basis van de vergelijking van de totaalscore per dimensie.

Resultaat

De beoordeling is uitgevoerd door TAUW. Tabel 1 toont de scores van de duurzaamheidsbeoordeling voor de drie saneringsalternatieven voor zowel de individuele duurzaamheidsindicatoren als voor een volledige dimensie.

N.B. Indien de beoordeling zou worden uitgevoerd als onderdeel van een voorafgaand besluitvormingsproces op een locatie, zou ook de inbreng van andere belanghebbenden, zoals de probleemeigenaar en omwonenden, bij de beoordeling moeten worden betrokken. Verschillende belanghebbenden kunnen criteria die niet volledig meetbaar/kwantificeerbaar zijn, zoals 'Overlast', 'Betrokkenheid van de gemeenschap' en 'Esthetische gevolgen', verschillend beoordelen (wegen en scores).

Een korte toelichting na Tabel 1 geeft per duurzaamheidsindicator een ondersteunende motivering voor de behaalde scores.

De uitkomst van de duurzaamheidsbeoordeling is als volgt:

- Op de dimensie 'People' scoren 'P&T' en 'Reactieve Mat' vergelijkbaar en ruim beter dan 'Ontgraving', vanwege de indicatoren 'Veiligheids- en gezondheidsrisico's' en 'Overlast'.
- Op de dimensie 'Planet' scoort 'Reactieve mat' het best en 'Ontgraving' het slechtst. Dit komt vooral door de indicatoren 'Effect op luchtkwaliteit', 'Gebruik van energie', 'CO₂-footprint' en 'Gebruik van primair zand'.
- Op de dimensie 'Prosperity' scoort 'Reactieve mat' het best en 'Ontgraving' het slechtst. Dit komt vooral door de indicatoren 'Kosten van sanering', 'Bedrijfsonderbreking' en 'Financiële projectrisico's'.

Als we de totaalscore per dimensie beoordelen is de reactieve mat een overtuigend duurzamere keuze dan ontgraving als saneringsvariant. Het verschil met de P&T variant is veel kleiner, maar nog wel overtuigend op de dimensies 'Planet' en 'Prosperity'. Geconcludeerd wordt dat in Gent de inzet van de reactieve mat de meest duurzame keuze is.

© TAUW		Health & safety risks (regarding execution remediation)						
Dimension	Sustainability Indicator	Assessment score	Assessment score	Assessment score	Weight	Final score	Final score	Final score
		Excavation	Pump&Treat	Reactive Mat		Excavation	Pump&Treat	Reactive Mat
People	Health & safety risks (regarding execution remediation)	2	5	4	3	6	15	12
	Nuisance (odor, noise, dust, movements, vibrations, light, road closure)	1	4	4	3	3	12	12
	Community involvement	2	2	3	1	2	2	3
	Aesthetic impact of works (permanent)	3	2	2	1	3	2	2
	Uplift in public value of site (leisure, cultural historic, etc)	0	0	0	1	0	0	0
	Subscore dimension People						14	31
Planet	Uplift in soil & groundwater quality	5	0	0	3	15	0	0
	Uplift in surface water quality	5	5	5	3	15	15	15
	Impact on air quality (fine particles (PM10) and NOx)	0	4	4	1	0	4	4
	Physical landscape disturbance (permanent)	5	4	4	1	5	4	4
	Biodiversity impact (macro and micro)	1	3	4	2	2	6	8
	Climate adaptation impact (incl extraction of groundwater resources)	1	3	5	2	2	6	10
	Use of energy (fossil or green fuel and electricity)	0	4	5	1	0	4	5
	CO2 footprint (energy, materials, chemicals, redox)	0	4	4	3	0	12	12
	Use of virgin soil (sand mining)	0	5	5	1	0	5	5
	Production of waste	2	3	4	2	4	6	8
Subscore dimension Planet						43	62	71
Prosperity	Cost of remediation	0	4	5	3	0	12	15
	Land use restrictions (with respect to excavation and extraction)	5	2	2	1	5	2	2
	Business interruption	0	5	5	2	0	10	10
	Financial project risks	0	5	4	2	0	10	8
	Impact on brand value	1	1	4	2	2	2	8
	Time span (from start to end of remediation work)	5	0	0	2	10	0	0
	Uplift in land values (reclaim of land, marketability, etc)	4	3	3	3	12	9	9
Subscore dimension Prosperity						29	45	52

Tabel 1: Afweging saneringsalternatieven op duurzaamheidsindicatoren (ontgraving, P&T en reactieve mat)

Health and safety / veiligheid en gezondheid

Vanwege de aanzienlijke graaf- en aanvulactiviteiten, de transportbewegingen (verkeersrisico's) en de verdamping van vluchtige stoffen (blootstellingsrisico's) heeft 'Ontgraving' de laagste score.

Nuisance / hinder voor omgeving

Als gevolg alle transportbewegingen op en buiten het terrein en de daarmee gepaard gaand lawaai, stof, bewegingen, trillingen, licht en wegafsluitingen heeft het ontgravingsalternatief de laagste score.

Community involvement / betrokkenheid van gemeenschap

De buurt is niet actief betrokken geweest bij de realisatie van de sanering. De buurt is periodiek geïnformeerd over de voortgang door middel van periodieke nieuwsbrieven. Wat de reactieve mat onderscheidt, is dat vanwege het innovatieve karakter een informatiebord voor het publiek naast de Lieve is geplaatst om informatie te geven over de geschiedenis van de site en de innovatieve aanpak (inclusief een link naar een online animatie).

Aesthetic impact of works / esthetische gevolgen van werk, permanent

Het ontgravingsalternatief zal het uiterlijk van de site niet permanent negatief beïnvloeden. De andere twee alternatieven zullen op langere termijn enkele zichtbare delen hebben.

Uplift in public value of site / verhoging publieke waarde van gebied: recreatie, cultuurhistorisch, enz.

De publieke waarde van het gebied neemt niet toe als gevolg van het werk.

Uplift in soil & groundwater quality / verbetering van bodem- en grondwaterkwaliteit

Op korte en middellange termijn neemt de bodem- & grondwaterkwaliteit niet (of nauwelijks) toe door P&T en de reactieve mat: geen van beide zijn gericht op de bron, alleen op traject en receptor. De ontgraving is het enige alternatief dat op deze indicator scoort.

Uplift in surface water quality / verbetering van oppervlaktewaterkwaliteit

Alle alternatieven scoren even goed op deze indicator. De verbetering is immers het doel van de sanering.

Impact on air quality / effect op luchtkwaliteit: fijnstof (PM10) en NOx

Alle voertuigen die nodig zijn voor ontgraving, transport en aanvulling gebruiken fossiele brandstoffen. Dit veroorzaakt uitstoot van fijnstof en NOx. Voor de twee andere alternatieven is dit verwaarloosbaar ten opzichte van het ontgravingsalternatief.

Physical landscape disturbance / permanent verstoring van het fysieke landschap

Het landschap wordt door P&T en de reactieve mat enigszins beïnvloed in permanente zin. Zandwinning voor de aanvulling van de ontgraving verstoort het landschap, maar hier wordt impliciet rekening mee gehouden onder een andere indicator: '*Gebruik van primair zand*'.

Biodiversity impact / gevolgen voor biodiversiteit, macro- en microflora en -fauna

De ontgraving zal leiden tot verlies van de huidige vegetatie en biodiversiteit in de huidige bodem. De P&T variant heeft geen effect op de biodiversiteit. De reactieve mat heeft een licht positief effect op de biodiversiteit in het waterlichaam omdat deze een habitat vormt voor micro-organismen en enkele waterplanten (N.B. periodiek moeten waterplanten worden verwijderd).

Climate adaptation impact / klimaatadaptatie impact, incl. onttrekking grondwatervoorraden

In alle alternatieven is verwijdering van (verontreinigd) slib en daarmee betere ontwatering van de omgeving opgenomen bij zware regenval. Niettemin is voor de graaftoptie een tijdelijke maar grote actieve onttrekking van grondwater noodzakelijk. Dit leidt tot een impact op de grondwatervoorraad en lokale verdroging. In mindere mate geldt dat ook voor de P&T variant: er wordt meer grondwater onttrokken dan op basis van alleen natuurlijk toestroom naar de Lieve.

Direct use of energy / direct gebruik van energie

De ontgraving gebruikt veel energie (hetzij groen, hetzij fossiel / grijs) vanwege het gebruik van graafmachines, vrachtwagens voor transport van grond en machines voor verdichting en nivellering na opvulling. Voor het P&T-alternatief zijn gedurende een lange periode onttrekkings- en zuiveringspompen nodig. Het energieverbruik bij de reactieve mat is relatief verwaarloosbaar.

CO₂ footprint (energie, materialen, chemicaliën, redox)

Alle voertuigen nodig voor afgraving, transport en aanvulling gebruiken fossiele brandstoffen. Dit veroorzaakt een netto CO₂-uitstoot. De thermische behandeling van de afgevoerde grond vergt niet alleen veel energie, maar veroorzaakt ook oxidatie van organisch materiaal in de bodem, wat leidt tot CO₂-emissie. Ook de productie van damwandplanken (ondanks hergebruik) veroorzaakt een groot deel van de CO₂-emissie. De laatste belangrijke emissie in geval van ontgraven is als gevolg van productie van actief kool en regeneratie van gebruikt actief kool afkomstig van de waterbehandeling.

De grootste CO₂-uitstoot voor P&T wordt bepaald door het energieverbruik door de pompen, de productie van actief kool en de regeneratie van beladen/gebruikt actief kool afkomstig van de waterbehandeling.

Voor de reactieve mat wordt biochar gebruikt. Voor biochar is productie-energie nodig, maar minder dan voor actief kool. De grootste CO₂-emissie in het geval van de reactieve mat vindt plaats via thermische behandeling van gebruikt biochar na 10 of 20 jaar (N.B. in de praktijk zijn er mogelijk twee alternatieve behandelingen beschikbaar met een veel lagere tot verwaarloosbare CO₂-emissie: storten of biologische behandeling met witrotschimmels). De CO₂-uitstoot als gevolg van de productie van geotextiel is verwaarloosbaar en geotextiel wordt zoveel mogelijk hergebruikt.

De CO₂-footprint van de ontgraving, P&T en de reactieve mat wordt geraamd op respectievelijk 7.100, 430 en 360 ton CO₂.

Use of virgin soil / Gebruik van primair zand (zandwinning)

Voor aanvulling is bij het ontgravingsalternatief een grote hoeveelheid schone grond nodig. Verondersteld wordt dat deze afkomstig is uit een zandwinning.

Production of waste / Productie van afval

In geval van ontgraving en P&T wordt afval geproduceerd in de vorm van leidingmateriaal voor grondwateronttrekking en vrij product van de olie-waterafscheider. In het geval van ontgraving komt bovendien folie vrij van de tijdelijke opslag van grondpartijen. In het geval van de reactieve matten wordt het geotextieldoek uiteindelijk afval (na hergebruik).

Cost of remediation / Kosten van sanering

De kosten van de ontgraving zullen ongeveer 4,2 miljoen euro bedragen (binnen een tijdsbestek van enkele maanden). De kosten van het P&T-alternatief en het reactieve mattenalternatief voor 30 jaar zullen respectievelijk ongeveer EUR 1,4 miljoen en EUR 1,1 miljoen bedragen.

Land use restrictions / Beperkingen van landgebruik

Afgraven scoort het best op deze indicator, simpelweg omdat bijna alle bodem- en grondwaterverontreiniging is verwijderd, ten minste boven een diepte van 5 tot 6 m-mv. Tot die diepte gelden geen restricties voor het landgebruik. In het geval van zowel P&T als de reactieve mat zijn er aanzienlijke beperkingen van het landgebruik, waarbij de vestiging van op- en overslaghallen overigens gewoon mogelijk is met een gasdichte vloer als isolatie.

Business interruption / Bedrijfsonderbreking

In het geval van ontgraving moeten de activiteiten op het terrein enkele maanden worden stilgelegd. De bedrijfsactiviteiten kunnen doorgaan wanneer P&T en de reactieve mat geïnstalleerd worden en operationeel zijn.

Financial project risks / Financiële projectrisico's

De financiële gevolgen bij afwijkingen in de dimensionering van de ontgraving zijn veel groter dan bij de P&T en de reactieve mat.

Impact on brand value / Impact op merkwaarde

Elke bodem- en grondwatersanering die succesvol wordt uitgevoerd draagt bij aan de merkwaarde van de probleemeigenaar. Meer impact kan worden gegenereerd wanneer projecten op een innovatieve en zichtbare manier worden uitgevoerd, in combinatie met de link naar het natuur-gebaseerde karakter. Dit laatste is het geval voor de reactieve mat.

Time span / Tijdsduur (van begin tot einde van sanering)

Het ontgravingsalternatief scoort veruit het best op de tijdsduur van de werkzaamheden: maanden versus decennia.

Uplift in land values / Stijging van perceelwaarde (herbruikbare perceel delen, verkoopbaarheid, enz.)

Voor alle alternatieven is er een stijging van de economische grondwaarde, omdat de aansprakelijkheid voor de verontreiniging afneemt. Bovendien is de verhandelbaarheid groter wanneer alle bodem- en grondwaterverontreiniging tot een diepte van 5 m-mv is verwijderd, waarmee ontgraven het best scoort.

3.1.2 Aanbevelingen voor codes van goede praktijk

Een reactieve mat met groene adsorptiematerialen (Natural Catch^{TAUW}) kan de kwaliteit van oppervlaktewater aanzienlijk verbeteren. Aangetoond is dat een rendement van 80-99% kan worden behaald voor PAK, vluchtige olie en (B)TEX en van 70-80% voor het mobielere benzeen.

Essentieel voor het ontwerp en de werking van een Natural Catch^{TAUW} zijn inzicht in locatie specifieke omstandigheden (hydrologie, verontreinigingssituatie, dimensies oppervlaktewater) en het uitvoeren van fluxmetingen (waterflux en massaflux) en adsorptietesten (schudtesten van verontreinigd water met adsorbent).

Uit de uitgevoerde fluxmetingen volgt dat na een operationele periode van 2 jaar biochar nog niet verzadigd is en nog niet doorslaat in hoge concentraties.

De werking van de reactieve mat zoals toegepast in Gent is gevoelig voor de volgende punten:

- de onderlinge aansluiting van de matelementen;
- de insluiting van gas door gasvorming in de waterbodem (methaan) en bij droogvallen als gevolg van ondiepte;
- de aanwezigheid van puur product in de waterbodem direct onder de mat;
- de verandering van de geohydrologie (stroombanen) als gevolg van ontwikkelingen in de omgeving (bv verandering van hemelwater infiltratie).

In Gent is de inzet van een reactieve mat de meest duurzame keuze bij een afweging op duurzaamheidsindicatoren conform ISO 18504, met name op de dimensies 'Planet' en 'Prosperity'.

De kosten van de inzet van de reactieve mat in Gent gedurende 30 jaar, inclusief aanleg, onderhoud en vervanging, zijn geraamd op EUR 1.100.000 (excl. BTW).

De carbonfootprint van de reactieve mat over 30 jaar is geraamd op 360 ton CO₂, met biochar als adsorbent en verwerking van het opgeladen biochar door verbranding. Bij biologische behandeling van het opgeladen biochar zou de carbonfootprint kunnen worden gereduceerd tot ca. 100 ton CO₂.

3.1.3 Aanbevelingen

De voordelen van een reactieve mat op basis van een geschikte groene adsorbent zijn evident:

- Het is een passief en duurzaam systeem met een lage carbon footprint en lage kosten.
- Het kan worden geplaatst in drainerende sloten, beken en (kleinere) kanalen.
- Het verwijderd verontreiniging uit kwellend grondwater, waaronder C6-C40, PAK, BTEX, chloorkoolwaterstoffen, pesticiden en zware metalen (in een ander type adsorbent is tevens fosfaat te verwijderen).
- Afgaande op het type verontreiniging is het toepasbaar voor verontreiniging afkomstig van brownfields, operationele industrielocaties, chemische stortplaatsen, mijnbouwlocaties en intensieve akkerbouw.

Op basis van bovenstaande wordt aanbevolen de optie van een Natural Catch^{TAUW}* altijd mee te nemen bij de afweging van saneringsvarianten in het geval van kwellend verontreinigd grondwater in natuurlijke of speciaal daartoe aangelegde kleinere drainerende oppervlaktewateren.

Bij het ontwerp, de voorbereiding en de toepassing van een Natural Catch^{TAUW} wordt aanbevolen:

- Extra slib/grond uit de waterbodem weg te nemen en aanvullen met enkele decimeter zand of gravel, bij:
 - Aanwezigheid van puur product in de waterbodem. Hiermee wordt de levensduur van de reactieve mat verlengd en de invloed van eventuele kortsluitstroming geminimaliseerd.
 - Een hoog organisch stofgehalte in de waterbodem en als gevolg daarvan gasvorming door biologische activiteit. Hiermee wordt de ophoping van gas in de mat geminimaliseerd, waardoor de volledige adsorptiecapaciteit van de mat kan worden benut.
- Extra aandacht te besteden aan de aansluiting of verbinding van matelementen om kortsluitstroming tussen twee elementen te voorkomen of te minimaliseren door:
 - Zowel aan de onderzijde als aan de bovenzijde een brede vloeistofdichte folieflap over de naad te leggen.
 - De folieflap aan de bovenzijde te verzwaren met een scheepsketting of te fixeren met een klittenband constructie.
- Rekening te houden met voorzienbare veranderingen in geohydrologie (richting en flux van stroombanen) als gevolg van ontwikkelingen in de omgeving, zoals verharding of ontharding op maaiveld, onttrekking van grondwater, ruiming van slib, hemelwaterafvoer, etc.
- Aanvullend onderzoek uit te voeren naar de mogelijkheden om de carbonfootprint van de Natural Catch^{TAUW} verder te verlagen. Laaghangend fruit is wat dat betreft onderzoek naar de biologische behandeling van opgeladen adsorbent in een landfarm met witrotschimmels of specifieke microbiomen.

3.2 WP4: CARCOKE ZEEBRUGGE: FYTOREMEDIATIE

3.2.1 Lessons learned

3.2.1.1 Organisatorisch

Zoals ook vermeld in de code van goede praktijk voor fyto remediatie, is het haalbaarheidsonderzoek een belangrijke factor om fyto remediatie succesvol toe te passen.

De timing van het RESANAT project liet echter niet toe om de resultaten van het haalbaarheidsonderzoek mee te nemen in het concept. Bijgevolg werd het concept opgesteld en ook de inrichting uitgevoerd voorafgaand aan de resultaten van het haalbaarheidsonderzoek. Voor de opmaak van het concept baseerde bio2clean zich op resultaten van haalbaarheidsonderzoeken uit andere projecten en op de reeds opgedane kennis en ervaring. Hierdoor werden in het algemeen de juiste beslissingen genomen bij de opmaak van het concept en de inrichting van het terrein. Deze werden bevestigd door de resultaten van het haalbaarheidsonderzoek.

Bovendien heeft het haalbaarheidsonderzoek dat werd uitgevoerd door de U Hasselt ook een aanzienlijke vertraging opgelopen, onder meer te wijten aan de gevolgen van de COVID-pandemie. Ook in functie van het vervolgtraject met bijvoorbeeld het opstellen van de monitoringscampagne kwamen de conclusies van het haalbaarheidsonderzoek dus laat.

Fytoremediatie is een natuurgebaseerde techniek. De natuur heeft een eigen ritme (seizoenen, groeiperiodes, jaarlijkse schommelingen in de grondwaterstand, ...) Inrichting en beheer worden dan ook geënt op dit ritme. Zo is er bijvoorbeeld een specifieke plantperiode voor de bomen van november tot eind februari en dienen inoculaties bijvoorbeeld best te gebeuren in de periode vanaf begin april tot mei/juni. Bijgevolg zijn ook de acties voor de monitoring gelinkt aan specifieke periodes, zeker als er hierbij een onderscheid moet worden gemaakt tussen de periode waarin planten minst of meest actief zijn.

Daarom is het belangrijk om bij dergelijke projecten, waarbij vaak verschillende uitvoerders zijn betrokken, een goede planning uit te werken en deze goed op te volgen. In praktijk blijkt het niet evident om zelfs met een goed en gedetailleerd uitgewerkte planning en een stipte opvolging en coördinatie alles ook effectief volgens plan te laten verlopen.

Een projecttermijn van drie jaar is kort voor fyto-remediatie. Zeker omdat er in eerste fase vaak een uitgebreid haalbaarheidsonderzoek dient te gebeuren en er verder voldoende tijd nodig is voor inrichting, inoculatie en monitoring. Een nieuwe inrichting heeft ook een aantal maanden tot jaren nodig om zich te ontwikkelen vooraleer de effecten van deze inrichting op de verontreiniging duidelijk zichtbaar worden. De monitoring dient ook om het proces indien nodig bij te sturen. Gezien de korte projectperiode is dergelijke bijsturing in deze periode niet mogelijk. Zo startte de monitoring in 2021 en was de afronding van het project al in 2022. We adviseren dan ook een vervolgtrajec uit te stippelen om de evolutie en effecten, vooral in zone 1 en op het centrale deel van het Carcoke terrein verder op te volgen.

3.2.1.2 Technisch

De standplaatseigenschappen en het kiezen van daarvoor geschikte planten zijn een belangrijke succesfactor in de toepassing van fyto-remediatie.

Omdat er in de oorspronkelijk geselecteerde hoekzone te weinig verontreiniging aanwezig was, werd gekozen voor zone 1 aan de noordelijke rand van het terrein. In deze zone bleek echter een meters dikke puinlaag aanwezig die niet alleen de plantwerken hinderde maar ook nadelig is voor de evolutie van aangeplante populieren, waardoor deze meer tijd nodig hebben om te ontwikkelen en de verontreiniging te bereiken. Indien nodig is het aangewezen om bij de aanplant betere groeiomstandigheden te creëren door bijvoorbeeld in de plantput mee compost in te mengen en/of voedingsstoffen toe te voegen via een infiltratiebuis.

In zone 1 was het nodig om de inrichting van de hydraulische barrière aan te passen aan de aanwezigheid van zowel de dikke puinlaag (fundering van de weg), de breedte van de weg en de aanwezigheid van ondergrondse leidingen. Deze aanpassing heeft een nadelig effect op de werking van de hydraulische barrière. We adviseren om deze breder te maken door bijkomende rijen aan te planten ten zuiden van de aangeplante rij populieren in zone 1.

In zone 2 (oever Zijdelings Vaartje) werd getracht in een specifieke zone een beplanting met Grote lisdodde aan te brengen tussen de bestaande rietvegetatie. In het concept werd oorspronkelijk gekozen voor het plaggen van deze zone om de dominante rietvegetatie zo veel als mogelijk te verwijderen.

Omdat bij het plaggen echter ook een groot deel van de verontreinigde toplaag zou worden verwijderd, opteerden we uiteindelijk om de rietvegetatie in het voorjaar verschillende keren te branden zodat deze zich minder vlug ontwikkelt. Dit bleek echter niet voldoende om de aangeplante Grote lisdodde tot ontwikkeling te laten komen.

Uit literatuur blijkt dat zowel Gewoon riet als Grote lisdodde geschikt zijn voor fyto-remediatie voor de aanwezige verontreiniging. Zoals weergegeven in de code van goede praktijk is het dus vaak aangewezen om verder te werken met de reeds aanwezige vegetatie, zeker in het geval van dominante soorten. Voor het inmengen van andere soorten is het nodig om de aanwezige vegetatie zo goed mogelijk te verwijderen, bijvoorbeeld door te plaggen. De vrijgekomen verontreinigde grond kan dan alsnog elders op het terrein bijvoorbeeld in een phytoplek verder aan de hand van fyto-remediatie worden gereinigd.

In het kader van de monitoring is de keuze van de staalnamepunten en locaties van de peilbuizen van groot belang. Hierbij dient men rekening te houden met de aanwezige verontreiniging, de grondwaterstromingssnelheid en -richting, alsook met de aanwezige planten. Omgevingsfactoren zoals aanwezigheid van puinfunderingen en ondergrondse leidingen kunnen de optimale keuze van de locaties voor peilbuizen en staalnames nadelig beïnvloeden.

Door de aanwezige puinlaag was het moeilijk om in zone 1 de wortelzone van de bestaande bomen te bereiken voor staalname in functie van monitoring. Daardoor werd de monitoring meer toegespitst op het grondwater en zijn de vastgestelde effecten niet met zekerheid toe te wijzen aan processen in de wortelzone. Het is nochtans in de wortelzone dat de meeste fyto-remediatie-effecten worden verwacht voor de betreffende verontreiniging met minerale olie en naftaleen.

We adviseren om in een vervolgotraject in zone 1 bijkomend monitoringsacties (met behulp van een graafmachine) uit te voeren in de wortelzone van zowel de bestaande bomen als van de nieuw aangeplante bomen.

3.2.1.3 Belangrijke elementen in de rapportage (meetstrategie/hypothese)

Welke factoren moeten worden meegenomen in een vooronderzoek of haalbaarheidsstudie. Welke meetstrategie en procesevaluatie is minimaal nodig om tijdig te kunnen bijsturen of het eindresultaat te kunnen borgen.

Factoren die het succesvol inzetten van fyto-remediatie beïnvloeden, zijn in de eerste plaats de omgevingscondities zoals bodemtype, pH, organische stofgehalte, nutriëntgehalte, aanwezigheid van ondoordringbare lagen, diepte en stromingssnelheid van het grondwater,

Een belangrijke factor is verder het selecteren van de juiste planten. De planten dienen geschikt te zijn voor de betreffende groeiplaatsomstandigheden en dienen naargelang de aard van de verontreinigende stoffen een impact te hebben op de opname, afbraak of vervluchtiging van de verontreiniging met verder een zo kleine mogelijke fyto-toxiciteit. De aanwezigheid van puur product kan in dit verband nadelig zijn voor de fyto-remediatie.

Heel wat van de hierboven beschreven aspecten kunnen we onderzoeken aan de hand van een haalbaarheidsstudie. Het is dan ook van belang om de resultaten van het haalbaarheidsonderzoek mee te nemen in het concept.

In de meetstrategie maken we een onderscheid tussen enerzijds de monitoring die we specifiek in functie van de fyto-remediatie uitvoeren en anderzijds de monitoring van de bodem- en grondwaterkwaliteit die door de erkend bodemsaneringsdeskundige wordt uitgevoerd. Deze laatste is eerder een momentopname waarbij het effect van een aanplant en/of inoculatie pas in de latere fase zichtbaar wordt in de resultaten. De specifieke monitoring in functie van de fyto-remediatie laat echter toe om in een vroeg stadium het bewijs te leveren van bijvoorbeeld de afbraak van organische verontreinigende stoffen. Hiermee krijgen we zicht op de verschillende processen en kunnen we indien nodig ook gaan bijsturen om deze processen te optimaliseren. Geschikte technieken hiervoor zijn onder andere:

- onderzoek naar micro-organismen (vb. via qPCR);
- onderzoek naar afbraakproducten en metabolieten (vb. via GC/MS);
- Isotoop-analysen (vb. via BACTRAP).

3.2.1.4 Financiële aspecten

Het is kenmerkend voor fyto-remediatie dat hiervoor meerdere jaren tijd nodig zijn.

De staalnames tijdens de uitvoering dienen in aanvang vooral gericht te zijn op het monitoren van de verschillende processen in functie van het goede verloop en eventuele bijsturing van de sanering. Verbetering van de bodem- en grondwaterkwaliteit zal dan ook vaak na zekere tijd of tegen het einde van de sanering merkbaar zijn.

De frequentie van de staalnames en de aard van de analyses dienen voor elke situatie te worden geoptimaliseerd om de kosten voor monitoring haalbaar te houden.

3.2.1.5 Duurzaamheid

Uit de resultaten van de CO₂ calculator blijkt dat het toepassen van een sanering door middel van fyto-remediatie in de vorm van een hydraulische barrière met populieren op het betreffende terrein over een oppervlakte van 200 m x 8 m na 30 jaar zorgt voor een netto CO₂ vastlegging.

Naast de vastlegging van CO₂ zijn ook volgende criteria voor duurzaamheid relevant:

- Duurzaamheid
 - Verbruik materialen en energie
 - CO₂ -sequestratie
 - Bio-energie
- Opslag van broeikasgassen
 - Biodiversiteit
 - Bodemherstel
 - Bodemstructuur, bodemvruchtbaarheid en erosie
 - Bodemleven en microbiële diversiteit
 - Bodemkwaliteit
 - Wilde dieren en planten

- Leefomgevingskwaliteit
 - Stedelijke groene infrastructuur
 - Reduceren geluidshinder
 - Luchtkwaliteit
 - (lokale) klimaatregulatie
 - Aantrekkelijke natuurrijke landschappen

Als we het hebben over Nature Based Saneringstechnieken dan wordt veelal verondersteld dat dit tevens de meest duurzame technieken zijn. Dat hoeft echter niet altijd het geval te zijn, aangezien een techniek daarvoor moet scoren op meerdere duurzaamheidsindicatoren binnen de dimensies 'People', 'Planet' en 'Prosperity'. Twee zwaarwegende duurzaamheidsindicatoren zijn kosten (een indicator voor 'Prosperity') en carbon footprint (een indicator voor 'Planet'). Bovendien zijn beide indicatoren kwantificeerbaar en kunnen daardoor objectief worden beoordeeld. In bijlage 4.37 tem 4.41 van het eindrapport (Restverontreiniging in de bodem saneren met de hulp van de natuur – Resultaten Resanat) zijn de carbon footprint en de kosten van een full-scale toepassing van pilootproef 1 op de Carcoke site doorgerekend.

Ontwerpgrondslagen fytoremediatie

Pilootzone 1 bevindt zich op de noordelijke terreinrand en behelst een fytoremediatievariant die dient om de aanwezige en instromende verontreiniging af te vangen en af te breken waardoor geen verdere verspreiding van verontreiniging mogelijk is. De totaal aangeplante oppervlakte bedraagt $100\text{ m} \times 4\text{ m} = 400\text{ m}^2$. Maar bij een full scale toepassing zou, als bio2clean de ruimte en de mogelijkheden (geen nutsleidingen, etc.) had gekregen, over een zone van 1.600 m^2 ($200\text{ m} \times 8\text{ m}$) fytoremediatie zijn toegepast. De door bio2clean vastgelegde data met betrekking tot CO_2 - relevante onderdelen voor de 400 m^2 grote piloot zijn daartoe opgeschaald tot een full-scale toepassing van 1.600 m^2 . Er wordt uitgegaan van de aanplant van in totaal circa 700 stuks plantmateriaal in de vorm van populier (poten), duindoorn en wilgenstekken. Er hoeft voorafgaand aan de aanplant niet of nauwelijks vegetatie te worden verwijderd. Er is gebruik gemaakt van een graafmachine voor de aanplant. Er wordt 240 m aan drainagebuis geplaatst. Materialen en aanplant zijn aangevoerd per bestelwagen/transporter en personen per personenwagen (verkenning, aanleg, monitoring en onderhoud). De (beheers)maatregel wordt 30 jaar in stand gehouden. In de tussentijd wordt geen nieuwe vegetatie aangeplant, maar er wordt wel in de eerste 2 jaar onderhoud gepleegd rond de nieuwe aanplant (vrijstellen planten door middel van maaien). Daarna vindt er eens per 5 jaar onderhoud plaats in de vorm van snoeien/zagen. Het groenafval wordt op locatie gehouden in de vorm van bv een takkenwal. Wat betreft de monitoring (staalname) zal deze in de eerste 3 jaren halfjaarlijks gebeuren en voor de rest van de saneringsduur jaarlijks. In bijlage 4.38 zijn de ontwerpgrondslagen voor de carbon footprint in tabelvorm opgenomen.

Berekening carbon footprint

De carbonfootprint, althans de uitstoot, is bepaald met behulp van de CO₂-calculator voor bodemsaneringen van TAUW (versie 1.4.2). Aanvullend op de eerdergenoemde ontwerpgrondslagen onder hoofdstuk 2 is voor de CO₂-footprint rekening gehouden met:

- Het gebruik van fossiele brandstof voor voertuigen (transport en handling on- en off site).
- Het gebruik van fossiele brandstof voor gebruik van apparatuur, zoals graafmachine en kettingzaag.
- Productie van gebruikte materialen (drainagebuis). Voor de vastlegging van CO₂ is gebruik gemaakt van de 'CO₂-rekentool beplantingen Rijkswaterstaat' – versie 2.0 (januari 2020, Probos / Face the future).

Uitgangspunten hierbij zijn:

- Oorspronkelijk grasland (baselinevastlegging) wordt omgevormd tot bos (projectvastlegging). De netto vastlegging = projectvastlegging – baselinevastlegging.
- In het model is gerekend met populier en met douglas als substituuut voor wilg; de wilg zit niet in het model, maar heeft vergelijkbare koolstofopslag als douglas .
- Het model laat niet toe dat er ook nog duindoorn wordt meegenomen; dat heeft te maken met (1) een maximum eis van het aantal planten per oppervlakte-eenheid in het model (de aanplant in Zeebrugge zit hier nog boven) en (2) er geen keuzemogelijkheid in het model is voor een heester onder een boom. Hierdoor wordt mogelijk CO₂-vastlegging misgelopen. Dit wordt enigszins gecompenseerd door in het model nu niet te rekenen met het 5-jaarlijkse verlies van snoeiafval van populier en wilg waardoor opgeslagen CO₂ (op termijn) weer verloren zou gaan.

In bijlage 4.39 is de modelinvoer en -uitvoer van de CO₂-calculator voor bodemsaneringen van TAUW (versie 1.4.2) opgenomen van de fyto-remediatie variant. De CO₂-uitstoot wordt geraamd op 10,2 ton CO₂ over 30 jaar.

De vastlegging als gevolg van de aanwas van biomassa en hout wordt geraamd op 56,3 ton CO₂ over 30 jaar (=352 ton CO₂/ha voor 1.600 m²). Daarbij dient te worden opgemerkt dat pas na een periode van circa 5 jaar sprake is van een netto vastlegging, omdat als gevolg van de aanplant het oorspronkelijke grasland op deze strook verdwijnt, welke tevens een CO₂-vastlegging teweegbracht en de nieuw aangelegde vegetatie initieel nog nauwelijks aanwas van biomassa en hout kent. In bijlage 4.40 is de modelinvoer en -uitvoer opgenomen van de 'CO₂-rekentool beplantingen Rijkswaterstaat'. Netto wordt de CO₂-footprint van de fyto-remediatievariant geraamd op ongeveer -46 ton CO₂ na 30 jaar, oftewel een netto vastlegging. Hierbij dient dus opgemerkt te worden dat de netto vastlegging in werkelijkheid mogelijk nog wat hoger ligt als gevolg van de aanwezigheid van duindoorns.

Bij alternatieve saneringsvarianten zonder fyto-remediatie zal geen sprake zijn van een netto vastlegging van CO₂. Een alternatief voor de noordelijke rand van het Carcoke terrein zou hier een beperkte grondwateronttrekking met zuivering kunnen zijn, zoals uitgewerkt in het kader van werkpakket 3 voor de Lieve. Ter vergelijking was, voor een lengte van 100 meter i.p.v. 200 meter maar met een veel grotere toestroomsnelheid van grondwater, sprake van een netto uitstoot van 430 ton CO₂ voor een periode van 30 jaar.

Berekening saneringskosten

De kostenraming is opgedeeld in een aanlegfase, de monitoring van de bodemkwaliteit (grond en/of grondwater) en het onderhoud van de vegetatie. De kosten voor de aanlegfase zijn gebaseerd op gegevens verstrekt door bio2clean (geëxtrapoleerd van 400 m² naar 1.600 m²). Voor de metingen van monitoring en onderhoud van vegetatie is een uurtarief van EUR 100 aangehouden. Voor de monitoring is uitgegaan van een jaarlijkse ronde met 60 stalen in de eerste twee jaar en 30 stalen in de daaropvolgende 28 jaar die geanalyseerd worden op BTEX, C10- C40 en PAK. Na het initiële onderhoud gedurende de eerste 2 jaar wordt ervanuit gegaan dat onderhoud van vegetatie eens per 5 jaar dient plaats te vinden vanaf het jaar 2025, waarbij 2 personen ieder een dag arbeid verrichten (=2 mensdagen per 5 jaar). Er wordt geen groenafval afgevoerd; het groenafval wordt op de locatie verwerkt.

Tot slot is uitgegaan van:

- Een saneringsduur van 30 jaar.
- 8% Algemene kosten; 7% winst en risico.
- Rentepercentage 0%.

In bijlage 4.37 is een overzicht van de kostenraming opgenomen. De kosten van fytoremediatie toegepast over een oppervlak van 1.600 m² en gedurende 30 jaar wordt geraamd op ongeveer EUR 375.000 (excl. btw). Omgerekend naar jaarlijkse kosten is dit ca. EUR 12.500. Dit is een laag bedrag voor een beheersing vergeleken met conventionele beheerstechnieken zoals P&T.

Op zowel het aspect kosten als CO₂-footprint scoort de toegepaste fytoremediatie variant uitermate goed. Ook op nu niet nader bekeken duurzaamheidsaspecten zoals biodiversiteit, invloed op luchtkwaliteit, klimaatadaptatie, verbruik van energie (in welke vorm dan ook) en afvalproductie scoort deze variant goed. Hiermee is voldoende aannemelijk gemaakt dat de hier beschouwde nature based saneringstechniek een duurzame optie is.

3.2.2 Aanbevelingen voor codes van goede praktijk

In de code van goede praktijk voor fytoremediatie zijn volgende aanvullingen een meerwaarde:

Met betrekking tot de verontreinigende stoffen:

Ook zwaardere oliefracties en naftaleen kunnen aan de hand van fytoremediatie worden verwijderd. Hiervoor kan worden verwezen naar de resultaten van het RESANAT project.

Intussen kan het overzicht ook verder worden aangevuld met PFAS en bijhorende referenties.

Met betrekking tot de haalbaarheid:

Het is belangrijk om de resultaten van het haalbaarheidsonderzoek mee te nemen in het concept en de planning hierop af te stemmen. Belangrijk om hierin mee te nemen zijn in de eerste plaats de omgevingscondities zoals bodemtype, pH, organische stofgehalte, nutriëntgehalte, aanwezigheid van ondoordringbare lagen, diepte en stromingssnelheid van het grondwater,

Een belangrijke factor is verder het selecteren van de juiste planten. De planten dienen geschikt te zijn voor de betreffende groeiplaatsomstandigheden en dienen naargelang de aard van de verontreinigende stoffen een impact te hebben op de opname, afbraak of vervluchtiging van de verontreiniging met verder een zo klein mogelijke fytotoxiciteit. De aanwezigheid van puur product kan in dit verband nadelig zijn voor de fyto-remediatie.

De uitwerking van het haalbaarheidsonderzoek is al vrij goed omschreven in de code van goede praktijk, maar kan nog worden aangevuld met betrekking tot de aanwezigheid van puinlagen en de mogelijke gevolgen voor de aanleg en de ontwikkeling van de planten.

Een aantal aspecten die in de code van goede praktijk zijn beschreven bij het haalbaarheidsonderzoek waaronder het zoeken naar de meest geschikte micro-organismen voor het uitvoeren van de inoculatie kunnen indien gewenst in een latere fase worden uitgevoerd, ook na het afwerken van het concept. We adviseren om deze aspecten eerder te benoemen als optimalisatie-onderzoek. Het antwoord op deze vragen leidt niet tot een beslissing voor het al dan niet uitvoeren van fyto-remediatie maar tot een hoger saneringsrendement.

Met betrekking tot de inrichting:

Het is aangewezen om in de code van goede praktijk er de aandacht op te vestigen dat het inbrengen van soorten, ondanks de geschikte standplaatseigenschappen, in het geval van een reeds aanwezige dominante vegetatie een gepaste voorbereiding kan vergen. Dit kan bijvoorbeeld bestaan uit het plaggen van de bodem en/of het verwijderen van wortelresten.

Voor het aanleggen van phytopen is het aangewezen richtlijnen op te nemen in de code van goede praktijk. Zo blijkt uit de resultaten van het RESANAT project dat kleinere penen een voordeel opleveren naar saneringsrendement evenals het gebruik van verluchtingsbuizen. Om de kieming en het vestigen van ingezaaide grassen te bevorderen is het aangewezen om een 5 cm dikke toplaag aan te brengen bestaande uit composthoudende grond. In het RESANAT project werd hiervoor volgende samenstelling gebruikt: organisch bodemverbeterend middel samengesteld uit zandleem, groencompost en schorscompost.

Met betrekking tot de monitoring:

In situaties met een hoge verontreinigingsgraad en/of waarbij er een nalevering van verontreiniging plaatsvindt, zal het niet mogelijk zijn om op korte tijd een verbetering van de bodem- en grondwaterkwaliteit vast te stellen. Het is duidelijk dat het in deze gevallen van groot belang is om de efficiëntie en de effectiviteit van de fyto-remediatie als proces te kunnen vaststellen, indien mogelijk via een zogenaamde multi line of evidence, dus met verschillende technieken.

Volgende technieken kunnen richtinggevend worden opgenomen in de code van goede praktijk voor fytoremediatie:

- **qPCR:** Aan de hand van qPCR analyses is het mogelijk om de aanwezigheid van specifieke afbraakgenen te onderzoeken. Dit geeft een beeld van het aanwezige fytomediatiepotentieel.
- **GC/MS-analysen:** geven een kijk op de aanwezigheid van afbraakproducten. De zogenaamde diagnostic ratio's geven aan in hoeverre er sprake is van biodegradatie. Dit is mogelijk door verhoudingen van specifieke afbraakstoffen en de wijziging van deze verhoudingen in de tijd te vergelijken met de verwachte evoluties in het geval van biodegradatie.
- **GC/MS-analysen:** geven ook een zicht op de aanwezigheid van specifieke metabolieten, verbindingen die ontstaan als gevolg van het metabolisme van de aanwezige micro-organismen.
- **BACTRAP:** De BACTRAP bevat een gelabelde doelverbinding die op dragermateriaal in de buis is aangebracht. Vervolgens wordt de BACTRAP geïnstalleerd in de peilbuis, en worden ze gekoloniseerd door micro-organismen. Als alles goed gaat, worden de gelabelde stoffen tijdens de biologische afbraak geassimileerd. Deze test kan meer absoluut bewijs leveren van biologische afbraak (multi-line-of-evidence) door de aanwezigheid van de gelabelde atomen te analyseren in biomoleculen (aminozuren, de bouwstenen van de eiwitten van het organisme).
- **Phytoscreening aan de hand van treecores:** Phytoscreening laat toe om de aanwezigheid van specifieke micro-organismen, afbraakstoffen en metabolieten vast te stellen binnen in de plant.

Andere technieken kunnen evenwel worden gehanteerd als ze evenwaardig zijn en bijdragen aan de multi-line-of-evidence aanpak. Het is namelijk cruciaal om zicht te krijgen op de verschillende processen en het effect van de fytoremediatie op de aanwezige verontreiniging. Op die manier is het mogelijk om indien nodig de sanering ook bij te sturen.

3.3 WP5: 'S GRAVENMOER: GESTIMULEERDE BIOLOGISCHE AFBRAAK

3.3.1 Lessons learned

3.3.1.1 Organisatorisch

- Onderscheid maken tussen (voor het onderzoeksdoel) noodzakelijke wetenschappelijke kennis en praktische kennis. Daartoe dienen twee sporen opgezet te worden: goed controleerbare labstudies (wetenschap) en op uitvoering gericht veldwerk (rekening houdend met de variatie daar).
- Vanwege tijdsdruk en budget zijn beide sporen gemengd in de tijd, waardoor noodzakelijke info soms ontbrak, en resultaten lastiger te interpreteren waren.
- Tijd die nodig was voor het opzetten en uitvoeren pilots is onderschat en daarnaast heeft de corona-epidemie vanaf begin 2020 ook voor vertraging gezorgd.
- De communicatie tussen kennisinstututen (fundamenteel geïnteresseerd) en praktijk (gericht op praktisch resultaat) vergt meer aandacht, deze praten soms langs elkaar heen. Afbraak aangetoond (in het lab) is iets héél anders dan 'afbraak is in de praktijk bruikbaar'.

3.3.1.2 Technisch

- Nieuwe technieken m.b.t. karakteriseren van een verontreinigingssituatie en grondwaterstroming zijn zéér waardevol in de praktijk (bij CSM ontwikkeling en dimensionering full-scale)
- Het reducerend vermogen van grond en grondwater dient vooraf bepaald te worden.
- De aanwezigheid van puur product moet meegenomen worden bij de opzet van de pilot, door bijvoorbeeld andere analyses te gebruiken voor het aantonen van een verandering in de verontreiniging. De invloed van de aanwezigheid van puur product werd onderschat waardoor een aantal (theoretische) vragen niet in het veld kon worden beantwoord.
- Er is dus een risico voor overschatting van de effectiviteit de veldproeven (en een onderschatting van de daarvoor benodigde tijd). Wetenschappelijk onderzoek in het veld is moeilijk, kostbaar en tijdrovend.
- De technische uitvoerbaarheid / opzet van de pilots moet directer gekoppeld worden aan de wenselijkheid van het full scale concept en daarop worden gebaseerd. Vuilvrachtverwijdering en voorkomen verspreiding lopen nu als doel te vaak door elkaar.
- Achteraf beschouwd is het puur product te heterogeen aanwezig om in de gekozen pilot opzet effectief te onderzoeken. Vertaald naar full scale is het erg lastig om de gehele site aan te pakken waardoor het optimaliseren van het systeem middels een actieve in-situ zone (scherm) effectiever is. Dit is een waardevol eindresultaat van het onderzoek.

3.3.1.3 Belangrijke elementen in de rapportage (meetstrategie/hypothese)

- Er moet meer tijd (en vooral budget) worden gereserveerd voor de noodzakelijke lab onderzoeken.
- Het veldonderzoek blijkt zeer waardevol. De opzet van de pilots is onvoldoende aangepast nadat heterogeen puur product werd aangetoond.
- Belangrijk resultaat uit het vooronderzoek was dat er geen aaneengesloten puur product (drijfslagen of zaklagen) is aangetoond en dat het volume puur product veel minder was dan oorspronkelijk gedacht.
- Door de vaststelling dat er een relatief schone tussenlaag voorkomt, kon daarop in de opzet van de pilots worden ingespeeld.
- In het project dienen meer evaluatie- en terugkoppelmomenten opgenomen te worden.
- In ieder onderzoeksproject ligt 'whishfull thinking' op de loer. Door tijdgebrek is hier onvoldoende bij stil gestaan. Er was onvoldoende tijd om effectief bij te sturen.

3.3.1.4 Financiële aspecten

Welke financiële aspecten zijn relevant voor deze toepassing?

- Veldonderzoek is kostbaar.
- Partners moeten allen voldoende kunnen bijdragen, anders moet de kennis van buiten worden gehaald, waardoor de kosten extra oplopen.

3.3.1.5 Duurzaamheid

De belangrijkste meerwaarde is besparen op energie (CO₂) en veel minder hinder veroorzaken naar de omgeving (zuivering). Zowel procesmatig (potentie) als milieutechnisch heeft zuurstof op basis van het onderzoek de voorkeur: injectie van nitraat of sulfaat introduceert een stof in de bodem en heeft op deze locatie waarschijnlijk onvoldoende effect op de verontreiniging om de sanering eindig te maken.

3.3.2 Aanbevelingen voor de codes van goede praktijk

Uit werkpakket 5 resulteren de volgende aanbevelingen voor de codes van goede praktijk:

- Voorkom de uitvoering van meerdere pilots tegelijkertijd.
- Neem voldoende afstand en tijd om resultaten te interpreteren.
- Geef aan hoe de resultaten geïnterpreteerd kunnen worden en zorg dat dit op een zodanige wijze kan dat betrouwbare conclusies genomen kunnen worden.

4 INTEGRATIE AANBEVELINGEN IN CODES VAN GOEDE PRAKTIJK

4.1 HET BESLISSINGSONDERSTEUNEND SYSTEEM VOOR WATERBODEMSANERINGSTECHNIEKEN

Het beslissingsondersteunend systeem voor waterbodemsaneringstechnieken (BOSS WB) maakte deel uit van het INTERREG-project 'Sullied Sediments' (2017-2021): [Beslissingsondersteunend systeem waterbodem | EMIS \(vito.be\)](#).

Het doel van het BOSS WB is kennisoverdracht van saneringstechnieken voor waterbodems naar Europese bodemsaneringsdeskundigen, beleidsmakers, bedrijven, waterloopbeheerders en private personen. Het BOSS WB ondersteunt bij het maken van beslissingen over het beheer, de verwijdering en de ruiming van verontreinigd sediment. Zo kan men zo kostenefficiënt en effectief mogelijk saneren en de impact van verontreinigende stoffen op het milieu zoveel mogelijk beperken.

Het BOSS WB geeft een overzicht van de haalbare saneringstechnieken voor waterbodems binnen specifieke randvoorwaarden. Als bepaalde saneringstechnieken niet haalbaar zijn met deze randvoorwaarden, geeft het BOSS WB een samenvatting van de beperkende factoren waarmee u rekening moet houden.

De beschrijvingen van de technieken zijn in de vorm van technische fiches opgenomen.

Als resultaat van RESANAT voegen we een technische fiche 'Reactieve matten' toe aan het BOSS WB. De case 'De Lieve in Gent' wordt beschreven als case studie bij deze techniek.

Ook de technische fiche 'Fytoremediatie' vullen we aan met de aanbevelingen uit het RESANAT-project. De case van het Zijdelings Vaartje in Zeebrugge voegen we toe aan het BOSS WB.

De actualisatie van het BOSS WB is voorzien voor 2024.

4.2 DE CODE VAN GOEDE PRAKTIJK FYTOREMEDIATIE

De code van goede praktijk – Fytoremediatie is sinds januari 2019 beschikbaar op de website van de OVAM: [Code van goede praktijk \(vlaanderen.be\)](#).

Op dit ogenblik zijn de OVAM en Bio2clean ook partners in het LIFE-project NARMENA [LIFE NARMENA \(vlaanderen.be\)](#). De lessons learned en aanbevelingen die resulteren uit RESANAT, zullen samen met die van LIFE NARMENA worden verwerkt in een addendum op de code van goede praktijk – Fytoremediatie. De actualisatie van de code van goede praktijk – Fytoremediatie is voorzien voor 2025.

4.3 DE CO₂-CALCULATOR

Aan de bestaande CO₂-calculator ([Code van goede praktijk \(vlaanderen.be\)](#) – Multicriteria-analyse-CO₂ rekenmodel versie-1-3-1-VL.0) worden de modules ‘fytoremediatie’ en ‘reactieve matten’ toegevoegd.

4.4 DE CODE VAN GOEDE PRAKTIJK – ONDERZOEK WATERBODEM EN OEVERS

De huidige versie van de code van goede praktijk – Onderzoek waterbodem en oevers (versie 2022) is beschikbaar op de website van de OVAM: [Onderzoek van waterbodem en oevers. Code van goede praktijk.pdf](#)

We plannen deze code van goede praktijk te actualiseren en uit te breiden met onder andere een deel ‘afperkende fase’ in 2024. In deze versie nemen we een beschrijving op van IFlux en de technieken voor High Resolution Site Characterisation:

- De EnISSA-MIP-methode.
- EC-Electrical Conductivity: bodemgelaagdheid op basis van geleidbaarheidsmetingen.
- Hydraulic Profiling Tool (HPT): bodemgelaagdheid op basis van doorlaatbaarheidsmetingen.
- Optical Image Profiler.
- iFLUX passieve samplers : meten onsite de grondwater en massa flux – zowel horizontale als verticale fluxen.
- iFLUX digitale sensor : meten semi continu de grondwaterstromingssnelheid en richting.

Zo verwerven deze technieken meer bekendheid bij de bodemsaneringsdeskundigen en hun opdrachtgevers en stimuleren we de inzet van deze technieken.