

3 WERKPAKKET 3

Samenvatting

In de wijk Wondelgem in Gent, op een afstand van circa 500 meter van het havengebied, is in het verleden een teer- en carbon-black fabriek aanwezig geweest. Als gevolg van de industriële processen en calamiteiten is de bodem verontreinigd geraakt met verschillende koolwaterstoffen. Er is een grote restverontreiniging achtergebleven, waarbij het verontreinigde grondwater in het kanaal de Lieve stroomt. Daardoor voldoet het oppervlaktewater niet aan de kwaliteitseisen en is er sprake van een ecologisch risico. Het doel van werkpakket 3 is, om met een duurzame en op de natuur gebaseerde maatregel de oppervlaktewaterkwaliteit structureel te verbeteren. Deze maatregel heeft vorm gekregen in een reactieve mat, gevuld met adsorberende materialen van natuurlijke oorsprong, de *Natural Catch^{TAUW}*. Deze reactieve mat heeft drie nature-based pijlers:

1. De natuurlijke drainage capaciteit van het kanaal als drijvende kracht;
2. Het gebruik van natuurlijke materialen als adsorbent en passieve adsorptie;
3. Een biologisch actieve zone op het grensvlak van mat en oppervlaktewater voor aerobe afbraak.

Na een voorstudie, het ontwerp en de aanleg op de bodem van de Lieve is de reactieve mat op basis van groene adsorbens gedurende 2 jaar gemonitord in het kader van RESANAT. Hieruit volgt dat een reactieve mat in de vorm van een *Natural Catch^{TAUW}* de kwaliteit van het oppervlaktewater aanzienlijk kan verbeteren. Bovendien blijkt het de meest duurzame oplossing vergeleken met de alternatieven zoals ontgraving en (beperkte) grondwateronttrekking. Tot slot is uit de studie gebleken dat er aan een aantal kritische factoren moet worden voldaan om een reactieve mat langdurig succesvol in te zetten.

3.1 INLEIDING

3.1.1 Veralgemeende probleemstelling & oplossing

Werkpakket 3, de ontwikkeling en toepassing van de reactieve mat, legt zich toe op de situatie waarbij er sprake is van een negatieve beïnvloeding van drainerende oppervlaktewaterkwaliteit door langdurige instroom van verontreinigd grondwater. Hierbij kan de situatie zelfs verder verslechtern door het verwijderen van bagger voor het verbeteren van de waterafvoer in het kader van klimaatadaptieve maatregelen. Consequente hiervan is het mogelijk optreden van humane en ecologische risico's en het niet voldoen aan de Kaderrichtlijn Water.

Voorbeelden van locaties waarbij dit zich kan voordoen zijn:

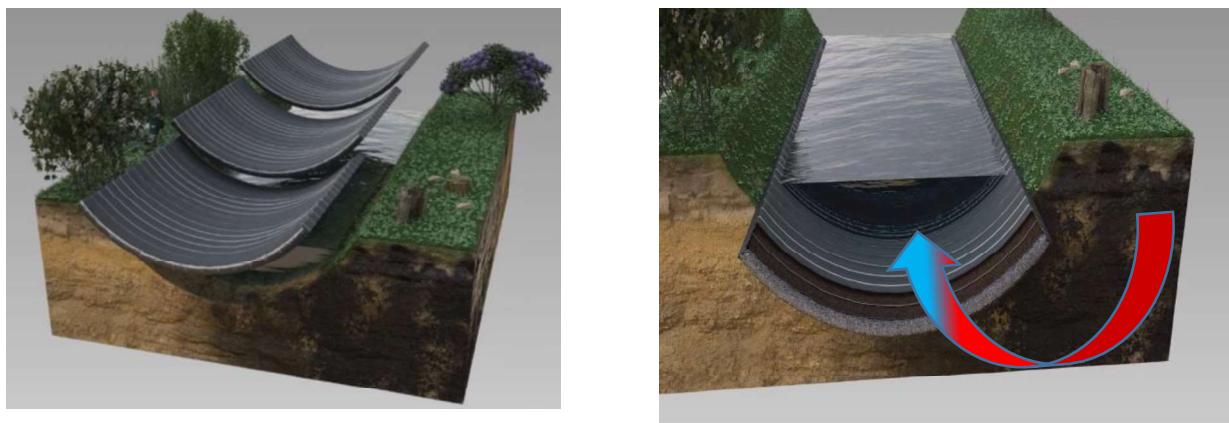
- Restverontreiniging op industrielocaties en brownfields;
- Chemische stortplaatsen;
- Landbouwarealen (pesticiden, fosfaat).

In het proefopzet werd uitgegaan van de piste om een sterke verbetering van de waterkwaliteit te kunnen realiseren door een waterdoorlatende geotextielconstructie gevuld met adsorptiemateriaal op de waterbodem aan te brengen; de reactieve mat (voor een impressie wordt verwezen naar Figuur 17). De reactieve mat kent daarbij drie nature-based principes:

- De natuurlijke instroom van verontreinigd grondwater : Er is geen pomp nodig;
- De adsorptie van verontreiniging aan een natuurlijk (groen) materiaal;
- De biologische afbraak op het aerobe/anaerobe grensvlak op de mat (micro-habitat).

De voordelen van deze aanpak zijn de relatief lage operationele kosten (kosteneffectiviteit) en de geringe milieu-voetafdruk (een passief, langdurig werkzaam systeem). Hiermee wordt de inzet vermeden van de klassieke actieve saneringstechnieken met intensiever gebruik van energie en grondstoffen.

De techniek wordt getest met een pilootproject op een locatie in Gent, Vlaanderen.



Figuur 17. Impressie van reactieve mat en werking

3.1.2 Algemeen kader werkpakket 3

Deze techniek past binnen een aantal kaders: wereldomvattend, Europees en nationaal.

Allereerst past het concept binnen de Sustainable Development Goals van de United Nations, in het bijzonder:

- SDG 3 - Good Health and Well-Being: het voorkomen van humane risico's;
- SDG 6 - Clean Water and Sanitation: verbetering van waterkwaliteit door reductie van verontreiniging;
- SDG 12 - Responsible Production and Consumption: 1) minimalisatie van gebruik van fossiele brandstoffen, materialen (incl. productie) en chemicaliën en van afvalproductie; 2) (her)gebruik van natuurlijke bronnen;
- SDG 13 - Climate action: de reactieve mat maakt de herontwikkeling van beken, sloten en kanalen mogelijk waarmee de directe omgeving beter ontwaterd wordt;
- SDG 14 - Life below water: bescherming van aquatisch leven door eliminatie en/of beheersing van onacceptabele ecologische risico's.

Verder bestaat tegenwoordig de internationale standaard ISO 18504 voor Duurzame Sanering, waarbij de definitie van duurzame sanering is:

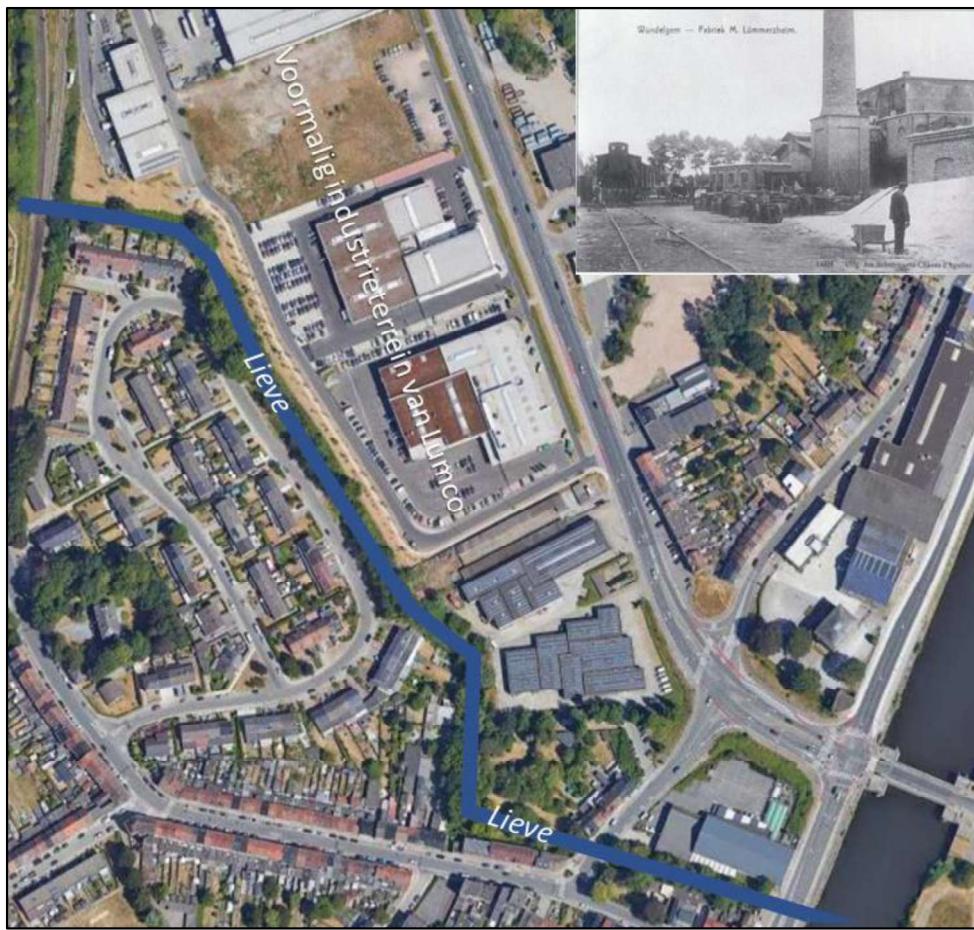
"Elimination and/or control of unacceptable risks in a safe and timely manner whilst optimising the environmental, social and economic value of the work." Voor de reactieve mat geldt dat de milieuwaarde ('Planet') en de economische waarde ('Prosperity') van het werk zijn geoptimaliseerd ten opzichte van conventionele saneringstechnieken (aantoonbaar als onderdeel van WP6).

Binnen de EU geldt de Kaderrichtlijn Water die als doel heeft om de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater in Europa te waarborgen. Voor de reactieve mat geldt dat de oppervlaktewaterkwaliteit sterk wordt verbeterd waardoor de overschrijding van normen wordt geëlimineerd of geminimaliseerd. Daarbij wordt getoetst aan milieukwaliteitsnorm 'maximaal aanvaardbaar' (MAC-MKN) en milieukwaliteitsnorm 'jaargemiddelde' (JG-MKN) die zijn vastgesteld in Vlarem II - Algemene milieukwaliteitsnormen voor meren en rivieren (Bijl. 2.3.1 art. 3) en in het rvs-zoeksysteem van het RIVM.

De toepassing van deze techniek past binnen de EU-regelgeving en het nationale en regionale milieubeleid van respectievelijk Nederland en Vlaanderen. De vraag is wel of deze techniek in elk EU-land inzetbaar is. De techniek betreft immers een 'end- of pipe' maatregel en is risico-gebaseerd. Niet alle EU-landen kennen een bodembedleid dat risico-gebaseerd is voor historische verontreinigingen.

3.1.3 Onderzoekslocatie

De onderzoekslocatie is gelegen in Gent, in de wijk Wondelgem, op een afstand van circa 500 meter van het havengebied. Als gevolg van de industriële destillatie van teer en de productie van carbon-black en asfalt in het verleden door Lumco, inclusief een calamiteit met één van de opslagtanks, is de bodem op een terrein direct ten oosten van kanaal de Lieve verontreinigd geraakt met alifatische en mono- en polyaromatische koolwaterstoffen, met name benzeen, C6-C10 (lichte fractie van minerale olie) en meerdere PAK-componenten. Deze stoffen maakten als grondstof deel uit van het productieproces.



Figuur 18. Ligging van de onderzoekslocatie: de Lieve en de voormalige Lumco-site

Ondanks een sanering door ontgraving van een deel van de grondverontreiniging, die is uitgevoerd mede met het oog op de herontwikkeling van het voormalige industrieren, is er sprake van restverontreiniging in de bodem met puur productspots en verontreinigd grondwater. Door direct contact met puur product én door migratie van de ondiepe grondwaterverontreiniging naar het kanaal, raakte zowel de waterbodem (het sediment) als het oppervlaktewater verontreinigd. Het oppervlaktewater is beïnvloed over een lengte van bijna 600 meter. Bewoners werd gevraagd om zowel contact met het water als de oevers van de Lieve ter hoogte van een traject van 200 meter te vermijden. Uit onderzoek bleek bovendien dat er sprake was van een ecologisch risico.

Na verwijdering van het zwaar verontreinigde sediment uit de Lieve in 2019 in het kader van waterbeheer (klimaatadaptatie), is de afvoer- en drainagecapaciteit van het kanaal toegenomen. Het resultaat was een verdere toename van de concentraties verontreinigende stoffen in het kanaal door toename van de instroom van verontreinigd grondwater, waarbij voor PAK tot 300 maal de milieukwaliteitsnorm voor oppervlaktewater werd overschreden.

Aangezien deze situatie grotendeels voldoet aan de probleemstelling zoals geschatst in paragraaf 3.1.1, lijkt deze locatie geschikt voor het ontwerp en de inzet van een reactieve mat. Het maatschappelijk- en milieuprobleem is evident en de situatie in zowel ruimtelijke, hydrologische als organisatorische zin leent zich uitermate goed voor het testen van deze techniek. De enige ‘maar’ is de aanwezigheid van resterend puur product in de bedding en de oevers aangezien de reactieve mat zich primair richt op verontreinigingen in oplossing, met het oog op het adsorptiemechanisme, de adsorptiecapaciteit en de gewenste levensduur van de reactieve mat.

Die technische levensduur bepaalt uiteindelijk de duurzaamheid (incl. kosteneffectiviteit). Toch is er besloten om voor deze locatie te kiezen en dat heeft mede te maken met de mogelijkheid op deze plek om op korte termijn het werkingsprincipe van een reactieve mat aan te kunnen tonen. RESANAT heeft immers een beperkte looptijd.

3.2 OPZET

3.2.1 Conceptueel model van de pilot

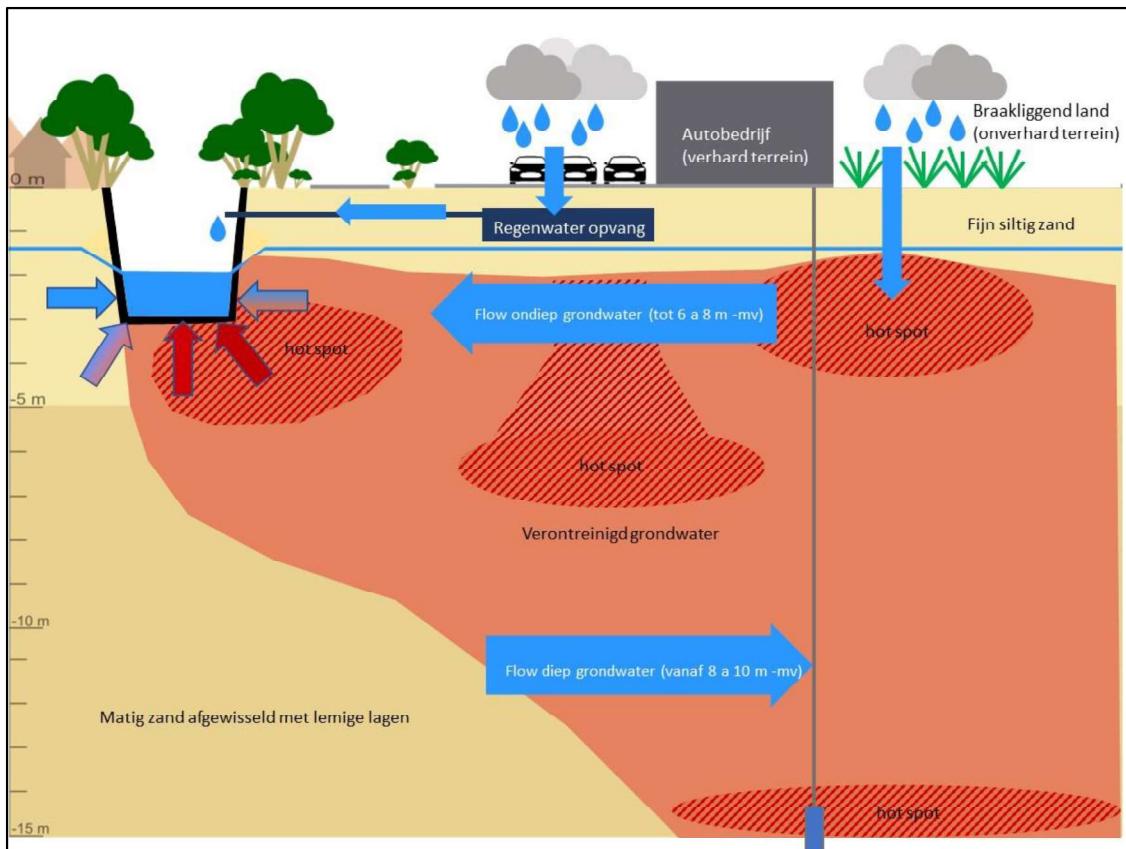
3.2.1.1 Terreinkarakteristieken

Op basis van meerdere locatiebezoeken en het veldonderzoek (zie paragraaf 3.2.1.2) kan het terrein als volgt worden beschreven. Zie hiervoor ook de door TTE opgestelde schematisatie in Figuur 19.

De bodem ten oosten van de Lieve bestaat uit een fijn siltig zand tot een diepte van ongeveer 5 à 6 m -mv, met daaronder matig zand afgewisseld met lemige lagen. De grondwaterstand is aanwezig op een diepte van 1,5 tot 2,5 m-mv, afhankelijk van seizoensgebonden fluctuaties.

In de loop der jaren raakte de Lieve verstopt door de vorming van een dikke verontreinigde sliblaag. Deze laag is in 2019 verwijderd in het kader van sanering en waterbeheer (klimaatadaptatie). Het verschil van de stijghoogte tussen het ondiepe grondwater en het huidige oppervlaktewater van de Lieve, na ruiming, bedraagt doorgaans 0,2 tot 0,3 m en wijst op een stromingsrichting van het grondwater naar het oppervlaktewater. Hieruit kan worden afgeleid dat de ondiepe grondwaterverontreiniging vanaf het voormalige industrieterrein (bronzone) naar de Lieve (receptor) stroomt. De diepte tot waar de Lieve grondwater draineert, wordt verondersteld ongeveer 6 m-mv te zijn. Het diepere grondwater stroomt in tegengestelde richting (en wordt via een separaat saneringsspoor aangepakt).

Op de verharde terreinen van de naastgelegen autobedrijven (lease/verkoop) wordt het hemelwater opgevangen in een ondiep systeem en direct geloosd op de Lieve, zonder in contact te komen met de bodem en de grondwaterverontreiniging. Bij hevige neerslag kan dit leiden tot een snelle verdunning van de verontreiniging in de Lieve.



Figuur 19. Schematische voorstelling van situatie bodemverontreiniging en de Lieve

3.2.1.2 Specifieke verontreinigingsituatie

Voor het vastleggen van de initiële verontreinigingsituatie heeft het consortium een veldstudie verricht naar de locatiespecifieke omstandigheden op de locatie van de Lieve, nabij het voormalige industrieterrein. Allereerst werden langs de oostelijke oevers van de Lieve over een lengte van ongeveer 150 meter metingen uitgevoerd door Witteveen+Bos met EnISSA-OIP en -MIP tot een diepte van 8 m-mv, waarbij niet alleen de verontreinigingsituatie, maar ook de bodemopbouw werd bepaald. Op basis van deze resultaten werden vaste peilbuizen geïnstalleerd door TAUW en werden monsters van grondwater en oppervlaktewater genomen en geanalyseerd, zowel vóór als na verwijdering van het sediment. Tenslotte werd door iFLUX met samplers en sensoren de waterflux en verontreinigingsflux bepaald van de instroom van verontreinigd grondwater in het oppervlaktewater.

Uit de EnISSA-OIP(UV) metingen bleek dat er zeer waarschijnlijk puur product aanwezig is in de bodem op de oostelijke oever in het traject OIP5 – OIP8 (zie foto onder Tabel 1). Aan de stroomopwaartse noordzijde bleken OIP-0 en aan de zuidzijde OIP-10 afperkend voor de bodemverontreiniging.

De peilbuizen PB20, PB50, PB90 en PB100 zijn in oktober 2019 door TAUW geplaatst ter hoogte van respectievelijk OIP-2, OIP-5, OIP-9 en OIP-10. In tabel 3.1 zijn de grondwaterconcentraties opgenomen zoals gemeten in maart 2020 (na ruiming en voorafgaand aan de aanleg van de reactieve mat) voor enkele relevante verontreinigingen in de oostoever van de Lieve.

Hieruit volgt dat ter hoogte van PB100 inderdaad geen grondwaterverontreiniging meer aanwezig is en dat de hoogste concentraties voorkomen ter hoogte van PB50. Het gaat daar onder andere om 38.000 µg/l benzeen, 60.000 µg/l C6-C10 en 280 µg/l acenafteen. De grondwaterconcentraties ter hoogte van PB50 zijn sterk toegenomen ten opzichte van de situatie voorafgaand aan de ruiming van het slib uit de Lieve als gevolg van de verhoogde drainerende werking.

Vóór en na baggeren is de horizontale grondwater flux én massaflux bepaald door iFLUX, in november 2019 en maart 2020. Hiervoor zijn in peilbuizen PB20, PB50, PB90 en PB100 telkens op 2 dieptes metingen uitgevoerd met iFLUX samplers.

Hieruit volgt dat de horizontale stroming van het grondwater voorafgaand aan de ruiming gemiddeld 5,75 cm/d is (range <1-13 m/d), en na de ruiming 10,5 cm/d (range 9-12 m/d). Hiermee is op een directe wijze aangetoond dat de Lieve beter draineert na ruiming en dat de waterflux sinds de ruiming ook homogener is verdeeld over de volledige lengte van het onderzoekstraject.

Ook de horizontale massaflux in het grondwater is toegenomen. Zo is deze ter plaatse van PB50 voor benzeen met een factor 15 toegenomen en voor acenafteen met een factor 8. Opvallend is ook dat er in tegenstelling tot voor het baggeren, na baggeren een relevante massa flux aan minerale olie (C6-C40) is gemeten. Horizontaal gezien wordt er beduidend meer verontreiniging verplaatst richting de Lieve in het grondwaterpakket op 3-5 m -mv ten opzichte van de situatie voorafgaand aan de ruiming.

De initiële oppervlaktewaterconcentraties in de Lieve zijn (na ruiming en voorafgaand aan aanleg reactieve mat) in februari, maart en juni 2020 vastgesteld. De analyseresultaten van maart 2020 zijn gepresenteerd in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Hieruit volgt dat de grootste toename van concentraties van stroomopwaarts naar stroomafwaarts in de Lieve worden gemeten ter hoogte van meetpunt 203 voor BTEX, naftaleen en C6-C10. Voor PAK lijkt dat al bij meetpunt 202 het geval en blijft er over het traject tot 207 sprake van een geleidelijke toename.

Maart 2020	PB 20 (3,2-5,2 m -mv)	PB 50 (3,15-5,15 m -mv)	PB 90 (3,2-5,2 m -mv)	PB 100 (2,4-4,4 m -mv)
Benzeen	15	38.000	100	< 0,2
Tolueen	15	11.000	1,2	< 0,5
Ethylbenzeen	5,5	1.100	8	< 0,5
Xylenen	9,9	4.600	3,9	< 0,5
Naftaleen	240 / 270	6.100 / 7.200	13 / 16	0,14 / 0,2
Acenafteen	1,1	280	41	0,1
C6-C10	99	60.000	130	< 10



Tabel 1: Grondwaterconcentraties in oostelijke oever van de Lieve na ruiming in maart 2020 (in µg/l)

	201	202	203	204	205	206	207	208
Benzeen	<0,2	<0,2	180	140	100	83	75	3,5
Tolueen	<0,5	<0,5	56	30	20	16	16	8,2
Ethylbenzeen	<0,5	1	6,1	6,9	7	5,9	5,4	3,2
Xylenen	<0,5	1,7	27	23	21	17	16	9,3
Nftaleen	0,2	12	46	57	60	54	53	26
PAK (16 EPA)	0,66	25	57	77	86	80	93	79
Acenafteen	0,12	3,9	3,2	6,3	7,5	9,4	10	15
C6-C10	<10	<10	280	210	160	130	120	61

Tabel 2. Oppervlaktewaterconcentraties in de Lieve na ruiming in maart 2020 (in µg/l)



Als we vervolgens de in de periode februari – juni 2020 maximaal gemeten concentraties toetsen aan de kwaliteitsnormen uit de Europese Kaderrichtlijn Water voor oppervlaktewater (MKN-waarden), dan is duidelijk dat er sprake is van overschrijdingen voor meerdere stoffen, waarbij de PAK-verbindingen fenantreen, pyreen en acenafteen overschrijden met een factor hoger dan 100 (zie Tabel 3). Hieruit volgt de noodzaak tot maatregelen.

Stof	Concentratie max. (µg/l)	Kwaliteitsnorm (µg/l)	Overschrijdingsfactor
Anthraceen (3-ring)	4,1	0,1*	41
Fenantreen (3-ring)	25	0,1**	250
Fluorantheen (4-ring)	8,5	0,12*	71
Pyreen (4-ring)	4,4	0,04 **	110
Benzo[a]anthraceen (4-ring)	0,52	0,3 **	1,7
Benzo[k]fluorantheen (5-ring)	0,063	0,017 *	4
Benzo[g,h,i]peryleen (6-ring)	0,044	0,0082 *	5
Benzo[b]fluorantheen (5-ring)	0,14	0,017 *	8
Acenafteen (3-ring)	18	0,06 **	300
Fluoreen (3-ring)	14	2 **	7
C6 - C10 (vluchtlige m. olie)	280	200 ***	1,4
Benzeen	180	50 *	3,6
Xylenen (som)	27	40 *	0,7
Nftaleen (2-ring)	91	130 *	0,7

* MAC-MKN; ** JG-MKN; *** Besluit KMO 1994

Tabel 3. Toetsing maximale oppervlaktewaterconcentraties 1e helft 2020 aan kwaliteitsnormen (MKN-waarden)

Tot slot is de gemeten influx, door gebruik te maken van verticale fluxsamplers in de waterbodem, opgenomen in Tabel 4. Dit heeft geleid tot een verhelderend inzicht in de verontreinigingsvrachten die het kanaal dagelijks ontvangt (tot maximaal 100 mg/m² waterbodem per dag) en de verdeling van de instromende vrachten over het kanaaltraject.

Uit het vooronderzoek blijkt dat over een kanaalvak van circa 110 meter en een oppervlakte van 660 m² maatregelen moeten worden genomen om de oppervlaktewaterkwaliteit te beschermen. Uit zintuiglijke waarnemingen tijdens de veldwerkzaamheden na ruiming van de Lieve blijkt overigens dat plaatselijk in de waterbodem nog resterend vrij product aanwezig is: er zijn dunne oliefilmpjes aan het wateroppervlak waargenomen.

	Segment 1	Segment 2	Segment 3
Benzeen	0,00	11,8	0,00
Xylenen (som)	0,17	20,2	0,04
Naftaleen	2,36	28,4	0,35
Fenantreen	7,93	17,8	5,17
Pyreen	2,21	4,59	4,83
Acenafteen	4,98	7,24	2,24
C6-C10	0,00	3,02	0,00

Tabel 4. Gemeten influx van verontreiniging in oppervlaktewater na ruiming (in mg/m² per dag)



Figuur 20: Aanduiding segmenten De Lieve

3.2.1.3 Externe factoren

Communicatieproces

Met betrekking tot toestemming voor de inzet van de reactieve mat en het groenonderhoud van de oever (voor de bereikbaarheid van de reactieve mat) hebben wij te maken met de Stad Gent en Farys als eigenaar en beheerder van de waterloop.

De bewoners op de westoever van de Lieve ter hoogte van het onderzoekstraject werden periodiek geïnformeerd over de werkzaamheden en de voortgang via bewonersbrieven.

Locatieontwikkelingen

Sinds het tweede kwartaal van 2021 is er een nieuw 3^e autobedrijf (lease/verkoop) gevestigd op het tot dan toe braakliggende deel van het Lumco-terrein ten noorden van het onderzoekstraject.

Mogelijk heeft de nieuwe verharding invloed op de geohydrologie door een verlaging van de waterflux en daarmee de verontreinigingsflux. Dit is een aandachtspunt.

3.2.1.4 (Technisch) ontwerp en inrichting van het systeem

Literatuuronderzoek naar groene adsorptiematerialen

Op basis van een literatuuronderzoek heeft TAUW gekeken naar de geschiktheid van natuurlijke en/of secundaire materialen om te gebruiken in de reactieve mat als adsorbent voor de instromende verontreiniging. Hierbij is gelet op de volgende materiaaleisen:

- Het moet **redelijk inert** zijn;
- Het moet een **behoorlijke adsorptiecapaciteit** hebben voor de betreffende verontreiniging;
- Het **soortelijk gewicht** (g/m³) moet in balans zijn **met de adsorptiecapaciteit**, zodanig dat de dikte van de reactieve mat beperkt kan blijven;
- De **doorlatendheid** moet **hoger zijn dan dat van de natuurlijke waterbodem**;
- Het moet **goedkoper** zijn dan hoogwaardige (commerciële) adsorptiematerialen;
- Het materiaal moet **minder milieubelastend** zijn dan hoogwaardige (commerciële) adsorptiematerialen (carbon footprint, hernieuwbaarheid, lokale verkrijgbaarheid).

Op basis van deze eisen zijn we tot een eerste selectie gekomen van materialen om te testen in het laboratorium:

- Geplette hazelnootdoppen;
- Biogranulaat uit thermische slibdroger (restproduct RWZI);
- Poederkoolslib (restproduct drinkwaterwinning);
- Biochar (gepyrolyseerd resthout);
- Dennenschors (fijne fractie);
- Gezeefd witveen/zodenturf.

Laboratoriumonderzoek groene adsorptiematerialen

In het testlaboratorium van TAUW is in eerste instantie onderzoek gedaan naar de adsorptiecapaciteit van de eerder genoemde materialen. Deze is bepaald aan de hand van schudproeven. Er zijn meerdere batches ingezet bestaande uit 1 liter flessen met steeds een vaste hoeveelheid verontreinigd grondwater afkomstig van de locatie in Gent en verschillende hoeveelheden adsorptiemateriaal (variabele L/S verhouding). De batches werden, in horizontale positie, 72 uur geschud op een schudmachine. De schudflessen hebben hierna enkele uren rechtop gestaan om het adsorbens te laten bezinken. Vervolgens is de bovenliggende vloeistof rustig over een metalen zeef afgeschonken om de drijvende delen tegen te houden.

Om de bewerking voor alle monsters gelijk te houden, is dit proces ook gevolgd voor de blanco's. De afgeschonken vloeistof, het eluaat, is verzonden naar het AL-West laboratorium voor analyse op BTEX, PAK en C6-C10.

Hieruit volgde:

- Hazelnootdoppen adsorberen de verontreinigende stoffen in beperkte en sterk wisselende mate.
- Biogranulaat blijkt verontreiniging in de vorm van C6-C10 toe te voegen en een behoorlijke stank af te geven. Bovendien was de adsorptiecapaciteit voor BTEX te beperkt.
- Poederkoolslib bleek maximaal te adsorberen. Aan de hand van een aanvullende doorlatendheidstest bleek echter een k-waarde van 0,015 m/d. Dit is te laag om toegepast te kunnen worden in de Lieve. De doorlatendheid van de waterbodem ligt immers tussen 0,5 en 5 m/d.
- Biochar is sterk adsorberend voor alle verontreinigende stoffen tot een hoge L/S verhouding. Bij L/S verhoudingen tot circa 230 worden alle stoffen voor 95 tot 100% geadsorbeerd. Bij een L/S verhouding van circa 570 worden de meeste stoffen voor 85 tot 97% geadsorbeerd en benzeen en C6-C10 voor 68 tot 73%.
- Dennenschors adsorbeert de verontreinigende stoffen in wisselende mate. Benzeen, xylenen en C6-C10 worden bijna alle L/S verhoudingen voor minder dan 50% geadsorbeerd. Alleen voor naftaleen en acenafteen (83-88%) worden goede resultaten behaald.
- Zodenturf (een veensoort) adsorbeert de verontreinigende stoffen gemiddeld ruim 6% beter dan dennenschors. Hoewel benzeen en C6-C10 voor minder dan 50% worden geadsorbeerd, is de score voor ethylbenzeen, naftaleen en acenafteen 86-95%. De resultaten zijn minder goed en wisselender dan voor biochar.



Figuur 21. De drie best geteste adsorptie materialen

Berekeningen voor ontwerp

Aan de hand van de resultaten van de adsorptieproeven in het laboratorium en van de verticale fluxmetingen zijn berekeningen uitgevoerd naar de verwachte levensduur van de reactieve mat bij een dikte van 30 cm. Een maximale dikte van 30 cm van de mat is een eis om de watervoerendheid van de Lieve niet te verstören. De levensduur van de mat, enkel en alleen op basis van adsorptie, en dus zonder rekening te houden met biologische afbraak, wordt daarbij mede bepaald door de eisen (normen) die gelden voor de meest kritische verontreiniging in het oppervlaktewater.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de fluxen die representatief zijn voor de 3 onderscheiden segmenten (zie Figuur 20).

Voor segment 1 zijn PAK bepalend. Met biochar wordt het hoogste rendement gehaald van 97% gedurende 9 jaar voor fenantreen en 90% gedurende 16,5 jaar voor acenafteen.

Voor segment 2 zijn benzeen, C6-C10 en PAK bepalend. Met biochar wordt het hoogste rendement gehaald van 75% voor benzeen gedurende 16,5 jaar, 73% voor C5-C10 gedurende 100 jaar, 96,5% voor fenantreen gedurende 17 jaar en 90% gedurende 11 jaar voor acenafteen.

Segment 3 kenmerkt zich door weinig tot geen instroom via het grondwater van BTEX en C6-C10. Hier wordt dus alleen gefocust op PAK. Daarvoor volstaat zodenturf als laagwaardiger en goedkoper alternatief voor biochar. Het rendement hiervan is 85% gedurende 12,5 jaar voor acenafteen; de levensduur voor fenantreen en pyreen was niet te berekenen gezien de hoge adsorptie bij alle L/S verhoudingen van 98-100% (verwachting > 15 jaar).

Ontwerp

Tenslotte is aan het ontwerp van de reactieve matconstructie gewerkt in nauw overleg tussen de producent van het benodigde geotextielweefsel, Envisan (Jan de Nul) als aannemer en TAUW als milieukundig adviseur, ondersteund door een student van de TU Twente. De ontwerpprocedure was complex vanwege de vele producteisen.

Aspecten die een rol spelen zijn het gewicht van de mat (zowel droog als nat), het hefvermogen van het materieel, de neiging van het adsorptiemateriaal om (initieel) te gaan opdrijven, soort en hoeveelheid ballast om (initiële) opwaartse druk te weerstaan, de wijze van vullen van de geotextielconstructie, het afdichten van de constructie na vullen, de recycleerbaarheid van de matten, de duurzaamheid van het geotextiel, de wijze van verankering, het waarborgen van een homogene verdeling van het adsorbent en het voorkomen van voorkeursstroming van grondwater via de naden. Na een eerste prototype is uiteindelijk besloten om met 4 verschillende afmetingen matelementen te werken, variërend van 3 tot 5 meter breed en 6 tot 7 lang, rekening houdend met wisselende breedte van de Lieve, bochten en ruimtelijke hinder door bomen. Naast de eenvoud van vullen, tillen en installeren, heeft het werken met elementen het voordeel dat ze gemakkelijk kunnen worden vervangen, zodra ze met verontreinigingen zijn geladen, of verwijderd kunnen worden wanneer ze niet meer nodig zijn. Elk element bestaat uit een dubbele laag stof (boven- en onderlaag), ingedeeld in meerdere compartimenten, vergelijkbaar met een met dons gevulde winterjas. De meeste compartimenten worden gevuld met adsorptiemateriaal, en enkele worden gevuld met ballastmateriaal om de opwaartse druk tegen te gaan. De overgang tussen de individuele matelementen is voorzien van ondoordringbare foliestroken om kortsleuteling van verontreinigd grondwater tussen de elementen te voorkomen.

Bodemsaneringsproject

In april 2020 is door een onafhankelijke bodemsaneringsdeskundige in opdracht van de OVAM het bodemsaneringsproject geleverd voor de randvoorwaarden en uitgangspunten, de onderbouwing van de keuze van de saneringsvariant met reactieve matten, de uitwerking van de aanleg en vergunningsplichtige activiteiten ('*Tweede gefaseerd bodemsaneringsproject De Lieve te Gent, Waterloop en linkeroever De Lieve stroomafwaarts spoorweg Gent, Deel pilootproef plaatsing reactieve matten*'). Op 30 april 2020 is dit saneringsproject goedgekeurd door de OVAM als vergunningverlenende overheid.

3.2.2 Opvolging en procesevaluatie

3.2.2.1 Specifieke saneringsdoelstellingen

De formele doelstelling is voldoen aan de milieukwaliteitsnormen voor oppervlaktewater (Europese KaderRichtlijn Water) of minimum de kwaliteit van het instromende oppervlaktewater niet negatief te beïnvloeden. De in het bodemsaneringsproject opgenomen te bereiken resultaten na uitvoering van de bodemsaneringswerken zijn in een overzicht in navolgende **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** weergegeven (tabel uit het bodemsaneringsproject van april 2020). De in deze tabel genoemde initiële maximale waarden betreffen overigens de concentraties zoals gemeten voorafgaand aan de ruiming van de het slib uit de Lieve. Deze zijn niet representatief voor de nulsituatie na ruiming en voorafgaand aan aanleg reactieve mat. Deze liggen fors hoger. Hiervoor wordt verwezen naar paragraaf 3.2.2.2 (inclusief het op basis daarvan te verwachten eindresultaat).

Referentie sanering: Pilootproef plaatsing reactieve matten						
Medium	Parameter	Top (m-mv)	Basis (m-mv)	Eenheid	Initiële max. waarde	Te verwachten eindresultaat waarde*
Oppervlakte- water	naftaleen			µg/l	9,1	2
	Benzo(a)pyreen				0,1	0,00017
	fenantreen				4,3	0,1
	fluorantreen				2,1	0,0063
	benzo(a)antraceen				0,36	0,3
	benzo(b)fluorantreen				0,19	0,00017
	benzo(k)fluorantreen				0,08	0,00017
	Benzo(ghi)peryleen				0,05	0,00017
	Indeno(1,2,3-cd)pyreen				0,06	0,00017
	acenafteen				1,4	0,06
	pyreen				1,1	0,04
	benzeen				12	10

Tabel 5: Te bereiken resultaten van de bodemsaneringswerken (saneringsdoelstelling)

* Onder de te verwachten eindresultaatwaarde wordt hier verstaan de basis milieukwaliteitsnorm voor oppervlaktewater conform bijlage 2.3.1 van Vlarem II (milieukwaliteitsnorm gemiddelde voor rivieren en meren, JG-MKN)

1) De waarden genoemd onder de kolom ‘Initiële max. waarde’ is gebaseerd op analyses van het oppervlaktewater voorafgaand aan de ruiming van het slib uit de Lieve. Deze zijn niet representatief voor de nulsituatie na ruiming en voorafgaand aan aanleg reactieve mat (zie paragraaf 3.2.2.2).

Hierbij dient er tevens rekening gehouden te worden dat de Lieve stroomopwaarts tevens licht verhoogde concentraties kan vertonen ten opzichte van de milieukwaliteitsnorm. De kwaliteit van het instromend oppervlaktewater mag niet negatief beïnvloed worden. Als doelstelling wordt in dergelijke gevallen de gemiddelde instromende concentratie genomen + 10% ($X + 10\%$).

3.2.2.2 Hypothese & meetstrategie

3.2.2.2.1 Hypothese

Zoals opgenomen onder paragraaf 3.2.1.4 wordt op basis van de labostudie een bepaald zuiveringsrendement verwacht van de reactieve mat. Voor de gidsparameters is dat:

- Acenafteen: 90%
- Fenantreen: 97%
- Benzeen: 75%
- C₆-C₁₀: 73%.

De maximale oppervlaktewaterconcentraties gemeten in één van de meetpunten 203, 205, 206 of 207 tijdens de nulsituatie na ruiming en voorafgaand aan de aanleg van de mat (een gemiddelde van de nulmetingen in februari, maart en juni 2020) zijn opgenomen in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** In de tabel is tevens de milieukwaliteitsnorm opgenomen. Hieruit volgt dat een aantal PAK, ondanks het verwachte hoge zuiveringsrendement, waarschijnlijk niet zullen gaan voldoen aan de milieukwaliteitsnorm (benoemd als ‘te bereiken resultaat’ in het saneringsplan, conform tabel 3.5). Van BTEX wordt verwacht dat voldaan zal worden aan de milieukwaliteitsnorm MAC-MKN, maar de JG-MKN kan blijvend overschreden worden door benzeen. Voor C6-C10 zal de afgeleide milieukwaliteitsnorm behaald worden.

Parameter	Concentratie nulsituatie ($\mu\text{g/l}$, max)	Verwachte concentratie met mat ($\mu\text{g/l}$, max)	Milieukwaliteitsnorm ($\mu\text{g/l}$)
Acenafteen	11,2 (n=3)	1,12	0,06 (JG-MKN)
Fenantreen	7,3 (n=3)	0,22	0,1 (JG-MKN)
Benzeen	165 (n=3)	41	10 (JG-MKN) 50 (MAC-MKN)
C6-C10	267 (n=3)	72	200 (KMO, 1994)

Tabel 6: Te verwachten resultaten van de bodemsaneringswerken

3.2.2.2.2 Meetstrategie

Oppervlaktewaterkwaliteit

De nulsituatie van de oppervlaktewaterkwaliteit na ruiming van de Lieve en voorafgaand aan de aanleg van de reactieve mat is vastgelegd op basis van 3 metingen gedurende de eerste helft van 2020. Na de aanleg van de reactieve mat worden periodiek (3 a 4 keer per jaar en afhankelijk van tussentijdse resultaten) staalnames uitgevoerd van het oppervlaktewater. Stalen worden genomen ter plaatse van 4 meetpunten boven de matten (203, 205, 206 en 207), een meetpunt aan de stroomopwaartse zijde van de matconstructie (201) en een meetpunt aan de (verre) stroomafwaartse zijde van de matconstructie (208). De stalen van het oppervlaktewater worden geanalyseerd op:

- PAK
- C5-C10
- BTEX
- Fenolindex (indicator voor aerobe afbraak aromaten).

In het veld wordt het oppervlaktewater bemonsterd op:

- Temperatuur (T), geleidbaarheid (EC) en zuurgraad (pH)
- Redoxpotentiaal (Eh) en zuurstof (O₂).

Grondwaterkwaliteit

De nulsituatie van de grondwaterkwaliteit is op dezelfde momenten vastgelegd als voor het oppervlaktewater. Na de aanleg van de reactieve mat worden circa 2 keer per jaar staalnames uitgevoerd van het grondwater (de grondwaterkwaliteit wordt verwacht redelijk constant te zijn).

Stalen worden genomen uit 4 peilbuizen in de oever van de Lieve (PB20, PB50, PB90 en PB100). De grondwaterstalen worden geanalyseerd op:

- PAK
- C5-C10
- BTEX
- Fenolindex.

Bovendien wordt het grondwater in het veld bemeten op:

- Temperatuur (T), geleidbaarheid (EC) en zuurgraad (pH)
- Redoxpotentiaal (Eh) en zuurstof (O_2).

Micro-organismen

Om de activiteit van specifieke micro-organismen op het aerobe/anaerobe grensvlak op de mat te achterhalen, worden op 3 momenten tijdens de pilootproef oppervlaktewaterstalen genomen tegen het matoppervlak aan. Deze waterstalen worden geanalyseerd, via DNA-extracten, op de totale Eubacteriën en sulfaatreducerende bacteriën en worden via QuantArray®-Petro, een geavanceerde qPCR-methode, tevens 20 functionele genen gemeten die relevant zijn bij de biodegradatie van verschillende petroleum-gerelateerde componenten.

Flux-metingen

Zowel voorafgaand als direct na de ruiming van de Lieve zijn horizontale water- en massafluxmetingen uitgevoerd door iFLUX in de peilbuizen PB 20, 50, 90 en 100 om de stromingsrichting en snelheid van het grondwater en verontreiniging richting de Lieve op 3-5 m-mv aan te tonen (zie paragraaf 3.2.1.2).

Bovendien zijn na de ruiming, en voorafgaand aan de aanleg van de matconstructie, verticale water- en massafluxmetingen uitgevoerd doorheen de waterbodem, op basis waarvan een beeld ontstaat van de werkelijke instroom van verontreiniging, op basis waarvan de matdimensies en verwachte levensduur kunnen worden berekend en een nulsituatie voor de massaflux is vastgelegd.

Tijdens de pilootproef worden op het moment van toename van oppervlaktewaterconcentraties verticale fluxmetingen uitgevoerd op de matconstructie. De plaats van de fluxmetingen is gekozen op basis van de locatie van de concentratietename in het oppervlaktewater en de uitgevoerde metingen met de digitale iFLUX flow sensor. Op basis van de massa fluxmetingen kan worden bepaald of en in welke mate er sprake is van doorslag door de betreffende mat en of er sprake is van verzadiging van de mat. Bij verzadiging dient de mat te worden vervangen.

Logboek

Voor de beoordeling van de meet- en analyseresultaten zijn tevens de volgende parameters gemeten, opgevraagd en genoteerd in een logboek:

- Weertype tijdens staalname;
- Hoeveelheid neerslag in de week voorafgaand aan staalname (weerarchief Gent - Meteoblue);
- Waterstand van zowel grondwater als oppervlaktewater in m TAW;
- Stromingsrichting en -snelheid van het oppervlaktewater (eenvoudig bepaald door een half gevuld flesje uit te zetten en afgelegde afstand en tijd op te nemen);
- Zintuiglijke waarneming van eventuele aanwezigheid oliefilmpjes op oppervlaktewater;

Deze parameters zijn van belang bij de interpretatie van meet- en analyseresultaten.

Periodieke inspectie van matconstructie en omgeving, en onderhoud

Door de partners Envisan en iFLUX, door de partijen die de milieukundige begeleiding en veldwerkzaamheden uitvoeren in opdracht van OVAM en door Farys / Stad Gent wordt periodiek de situatie ter hoogte van de matconstructie visueel beoordeeld. Het gaat daarbij om:

- Aanwezigheid van afgebroken boomtakken en illegale stort in de Lieve en belemmerende of schadelijke vegetatie op de oevers van de Lieve;
- Vernieling, opdrijving of verschuiving van het doek;
- Aanwezigheid van slib op het doek;
- Aanwezigheid drijflaag van olieachtige producten op oppervlaktewater.

Voor het onderhoud van het groen op de oevers (minimaal jaarlijks, bij voorkeur tweearlijks voor de bereikbaarheid), afgebroken boomtakken en illegale stort is Farys verantwoordelijk.

Voor het onderhoud aan en herstel van de matconstructie is Envisan verantwoordelijk.

3.2.2.3 Procesevaluatie

Implementatie reactieve mat in de Lieve

Uit de adsorptietesten en de gemeten influx werd duidelijk dat voor de segmenten 1 en 2 (zie de Figuur 20) biochar nodig is en dat voor segment 3, met een beperktere influx, zodenturf kan worden ingezet. De keuze voor zodenturf in plaats van biochar in segment 3 is gedaan om de werking van meerdere groene adsorptiematerialen in de praktijk te kunnen testen en met elkaar te kunnen vergelijken. Daarnaast zijn de kosten voor zodenturf lager dan biochar zodat ook de kostenefficiëntie van meerdere materialen kan worden vergeleken.

Om het adsorptiemateriaal op de gewenste plek te houden op de waterbodem van de Lieve, is een speciale geotextielconstructie ontworpen. Deze constructie moet voldoen aan een aantal eisen: veilig, vervangbaar, eenvoudig te vullen, afzinkbaar, goed te bevestigen, betaalbaar en betrouwbaar. Bovendien moet de constructie aan de vorm en maten van de Lieve voldoen. Om aan de eisen te kunnen voldoen is er, na intensief overleg over meerdere uitvoeringsvormen, voor gekozen om met losse matelementen te werken die in serie geplaatst, de totale constructie vormen.

De matelementen bestaan uit een dubbelgelaagd doek: een sterk geweven buitendeel voor de stevigheid en een fijn (non-woven) binnendeel dat de fijne adsorberende deeltjes binnenhoudt. Deze constructie is op maat gemaakt door een ervaren Nederlandse producent van geotextiel en is UV-bestendig. Elk matelement bestaat uit meerdere compartimenten (zie 1^e afbeelding van Figuur 2222) om een homogene verdeling van het adsorptiemateriaal te garanderen.

Aan weerszijden is één compartiment vloeistofdicht afgewerkt om deze te kunnen vullen met ballastmateriaal, zodat de mat niet gaat opdrijven. Aan één zijde van een matelement is een ondoorlatende folieflap aangebracht die over het volgende matelement wordt heengetrokken om kortsluitstroming van grondwater tussen twee matelementen door te voorkomen. Tot slot zijn de matten voorzien van hijslussen.

In september 2020 zijn de lege matelementen naar de locatie vervoerd. Deze zijn door aannemer Jan de Nul/Envisan ter plaatse gevuld met het adsorptiemateriaal (biochar of zodenturf) en ballastmateriaal (fijn grind). Met een zogenaamde naai-els zijn de compartimenten vervolgens dichtgenaaid en zijn de matten in het kanaal gehesen en aan de oevers bevestigd (zie 2^e en 3^e afbeelding van Figuur 22). De matten gevuld met biochar zijn gebruikt over een kanaallengte van 65 meter (segment 1 en 2, noordelijke deel, mat 1-16) en de matten gevuld met zodenturf zijn gebruikt over een lengte van 45 meter (segment 3, zuidelijke deel, mat 17-27). De totale lengte van de constructie is daarmee circa 110 meter. De matten liggen voornamelijk op de kanaalbodem met een klein vouwgedeelte op de oevers. De matten zijn met lussen en pinnen verankerd in de oever.

In Figuur 23 is het totale traject opgenomen en zijn de 27 individuele matelementen te onderscheiden (rood gearceerd).



Figuur 22. Vullen en aanbrengen van de reactieve matten in de Lieve



Figuur 23. Traject en ligging van de matelementen in de Lieve

Uit het ontwerp-gerelateerd vooronderzoek, het ontwerpproces en de aanleg is het volgende naar voren gekomen:

- De fluxmetingen met de verticale fluxsamplers in combinatie met de adsorptiecapaciteitstesten in het laboratorium geven relevante input voor het uiteindelijk ontwerp (matdikte en levensduur);
- Nauw overleg tussen milieuadviseur, aannemer en producent is essentieel voor een haalbaar ontwerp op maat van een innovatieve constructie;
- Ontwerp en constructie van een reactieve mat kan bovendien niet zonder kennis van de specifieke locatiekenmerken (hellingshoek, afmetingen kanaal over gehele traject, waterdiepte, vegetatie/bomen, bereikbaarheid, oeverafwerking, etc.);
- Het vullen van de compartimenten in de matten onder zwaartekracht met behulp van een schans met platform (een 'ramp') verliep goed, maar was arbeidsintensiever en kostte meer tijd dan vooraf gedacht;
- Biochar kan makkelijk verstuiven. Vullen tijdens een periode met wind is daarom lastig. Bevochtigen kan helpen tegen verstuiving maar bemoeilijkt het opvullen van de compartimenten;
- De opwaartse kracht van het adsorbent zorgt voor drijfvermogen. Om dit te compenseren wordt ballastmateriaal aangebracht. In het geval van enkele matelementen bleek meer ballastmateriaal nodig dan op voorhand berekend om opdrijving te voorkomen. Dit is opgevangen door aanvullend één of twee van de compartimenten per mat te voorzien van een ondoorlatende buis met ballast. De adsorberende inhoud per mat varieert daarmee van 76 tot 87%.

3.3 RESULTATEN

3.3.1 Monitoringresultaten en interpretatie

3.3.1.1 Inleiding

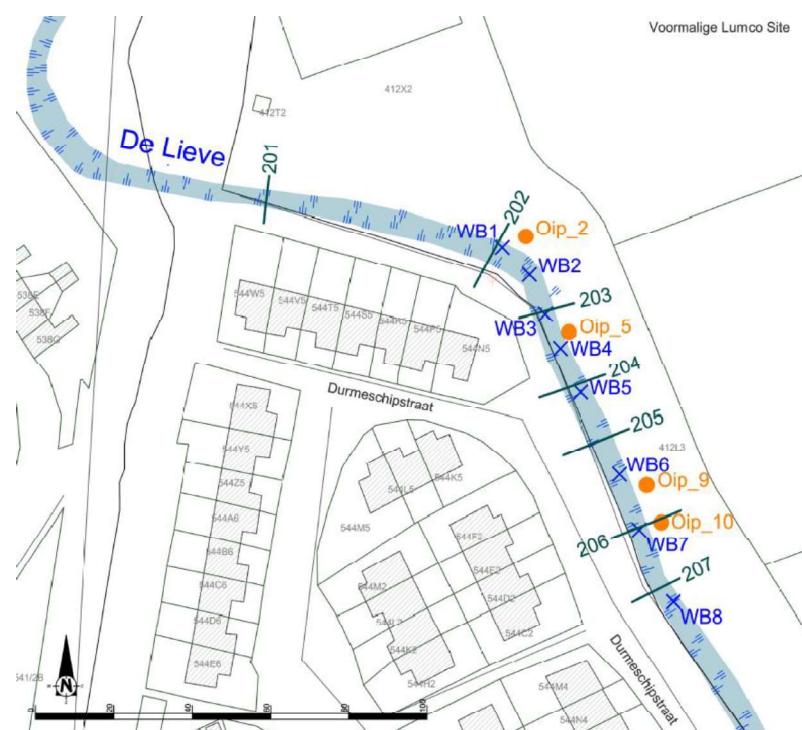
Aangesloten is bij de meetstrategie zoals uiteengezet in paragraaf 3.2.2.2.2. Na het vastleggen van de nulsituatie (februari – juni 2020) en de aanleg van de reactieve matconstructie (september – oktober 2020) zijn er 8 meetronden uitgevoerd met betrekking tot het oppervlaktewater, 4 meetronden met betrekking tot het grondwater, 3 meetronden met betrekking tot micro-organismen en 2 flux-meetronden op de matelementen.

Voor de ligging van de peilbuizen en oppervlaktewater meetpunten wordt verwezen naar Figuur 24.

De periodiek uitgevoerde veldmetingen, staalnames en chemische analyses zijn gerapporteerd in diverse rapporten van:

- RSK (oppervlaktewater en grondwater): bijlage 3.1;
- Avecom (qPCR-analyses): bijlage 3.2;
- iFLUX (fluxmetingen): bijlage 3.3.

Periodiek zijn ook voortgangsrapportages met tussentijdse evaluaties opgesteld door TAUW (niet bijgevoegd in dit rapport). De kwantitatieve resultaten van alle metingen en chemische analyses met betrekking tot grondwater en oppervlaktewater zijn in tabelvorm opgenomen in bijlage 3.4, evenals het logboek (situatiebeschrijving ten tijde van de meetronden).



Figuur 24. Ligging peilbuizen (OIP2/PB20; OIP5/PB50; OIP9/PB90; OIP10/PB100) en meetpunten oppervlaktewater (201-207; meetpunt 208 ligt 460 meter stroomafwaarts van 207)

In de volgende paragraaf 3.3.1.2 wordt eerst ingegaan op het algemene beeld: wat was het effect van de reactieve mat op de oppervlaktewaterkwaliteit? In de daaropvolgende paragraaf 3.3.1.3 is een grafische weergave opgenomen van het verloop van kritische parameters in het oppervlaktewater ten opzichte van tijd en ruimte en wordt nader ingezoomd op de oorzaken waarvan, door een verband te leggen met de grondwaterkwaliteit, het grondwatertype, stijghoogteverschillen, micro-organismen en afbraakparameters, locatiespecifieke omstandigheden en de fysieke toestand van de reactieve matconstructie.

3.3.1.2 Effect op oppervlaktewaterkwaliteit

In het algemeen is de kwaliteit van het oppervlaktewater aanzienlijk verbeterd na de aanleg van de reactieve matconstructie met het groene adsorbens (Natural Catch^{TAUW}).

Er is gedurende langere tijd (5 van de 8 metingen) een rendement bereikt van 80 tot 99% voor PAK (ondergrens bepaald door acenafteen), vluchtige minerale olie (C5-C10) en BTEX. Uitzondering daarop is benzeen met een rendement van 70 – 80%. Rendement in % is hierbij uitgedrukt als $100 * (1 - C_t/C_0)$, waarbij :

- C_t = de concentratie in het oppervlaktewater op tijdstip t, en
- C_0 = de concentratie in de nulsituatie (dus zonder matconstructie).

Voor PAK werd op basis van de laboproeven (zie paragraaf 3.2.1.4) een rendement van 85-97% verwacht (ondergrens bepaald door acenafteen). Voor benzeen en C5-C10 was dat circa 75%. Benzeen werd ook verwacht het minst sterk te adsorberen vanwege de laagste verdelingscoëfficiënt organisch stof – water (k_{om} of k_{oc}). De verwachte rendementen komen daarmee relatief goed overeen met de gemeten rendementen in de Lieve.

Verder kan worden gesteld dat de biochar matelementen in het algemeen een hoger rendement laten zien voor BTEX en C5-C10 dan veen (= zodenturf). Voor PAK is het rendement van biochar en veen vergelijkbaar.

In het 2^e jaar na de aanleg van de reactieve matconstructie is er duidelijk sprake van twee tussentijdse perioden (in totaal 3 metingen) met een duidelijke afname van het zuiveringsrendement ten opzichte van het rendement zoals hiervoor geschatst. Deze concentratietoenames in het oppervlaktewater worden nader besproken en verklaard in de volgende paragrafen.

3.3.1.3 Grafische verwerking en interpretatie

3.3.1.3.1 Oppervlaktewater

Algemeen

In Tabel 7 zijn de algemene omstandigheden bij de Lieve opgenomen tijdens de meetronden. Hieruit volgt onder andere dat de stromingsrichting van het oppervlaktewater altijd richting de haven (ringvaart) is, met een snelheid van 23-100 m/h. In de week voorafgaand aan de bemonstering is cumulatief nooit meer neerslag gevallen dan 12 mm, waardoor gesteld kan worden dat verdunning als gevolg van neerslag of als gevolg van hemelwater uit de overstort doorgaans beperkt is. Verder valt op dat af en toe oliefilmpjes op het wateroppervlak worden waargenomen (hier wordt verderop in de tekst nader op ingegaan).

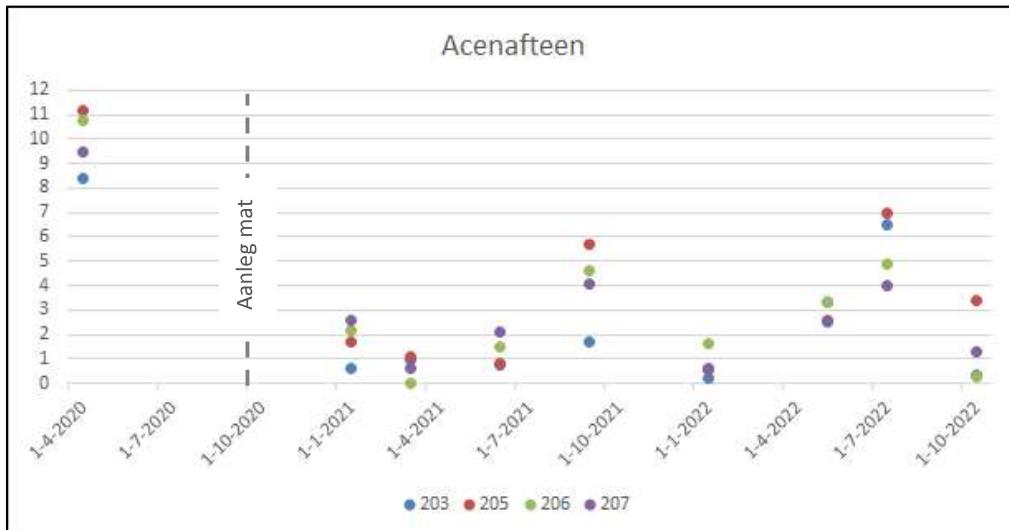
Datum	Stromingsrichting	Weer tijdens bemonstering	Neerslag voorafgaande week (mm)*	Overig
3-2-2020	-	Bewolkt*	11,5 *	-
30-3-2020	-	Onbewolkt*	0 *	-
4-6-2020	-	Bewolkt en lichte regen*	0 *	-
5/11-1-2021	Richting haven; lichte stroming	Droog en bewolkt	12 *	Oliefilmmpjes tussen mp 206 en 207
26-3-2021	-	Halfbewolkt en een bui*	2 *	-
2-6-2021	Geen stroming	Droog en onbewolkt (zonnig)	7 *	-
27-9-2021	Richting haven; lichte stroming ca 100 m/h	Bewolkt en deels regen	1,5 *	Geen oliefilm waargenomen
6-1-2022	Richting haven; ca 100 m/h	Zonnig, droog en windstil	3,5 *	Kleine olievlekken thv 205 en 208
17-5-2022	Richting haven; ca 23 m/h	Zonnig en droog	1	-
12-7-2022	-	Zonnig en droog	0	-
26-10-2022	Richting haven; ca 43 m/h	Halfbewolkt en droog	5,5 *	opbollende matten, olievlekken thv 203/205

* gebaseerd op
[Weerarchief Gent - meteoblue](#)

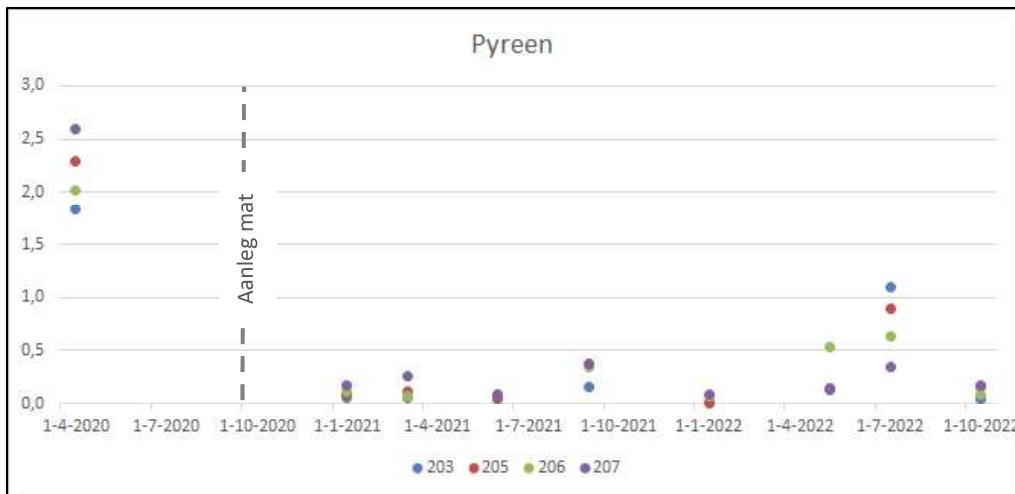
Tabel 7. Logboek m.b.t. situatie bij de Lieve tijdens meetronden

Verontreiniging

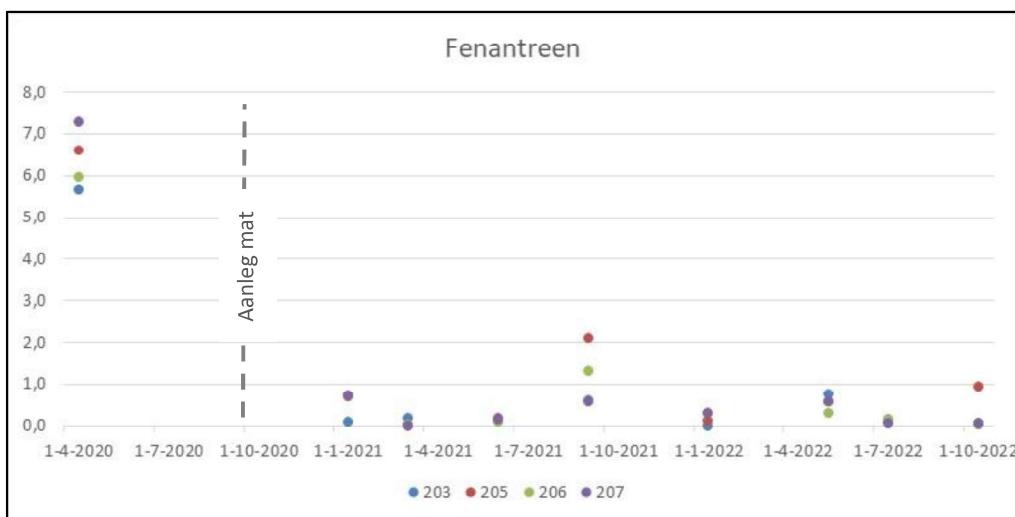
In Figuur 25 tot en met Figuur 32 is de concentratie ($\mu\text{g/l}$) van de maatgevende en kritische contaminanten in het oppervlaktewater boven de matconstructie weergegeven in functie van de tijd (onder kritische contaminanten worden verstaan de stoffen die in hoge concentraties in het grondwater voorkomen ten opzichte van de milieukwaliteitsnormen van het oppervlaktewater en/of hun hoge mobiliteit. De meetpunten 203 en 205 bevinden zich boven de matten gevuld met biochar. De meetpunten 206 en 207 bevinden zich boven de matten gevuld met veen. Geheel links in de figuren is steeds de nulsituatie afgebeeld: de gemiddelde concentratie van 3 metingen in de periode februari-juni 2020. Dit is de referentiesituatie zonder reactieve mat.



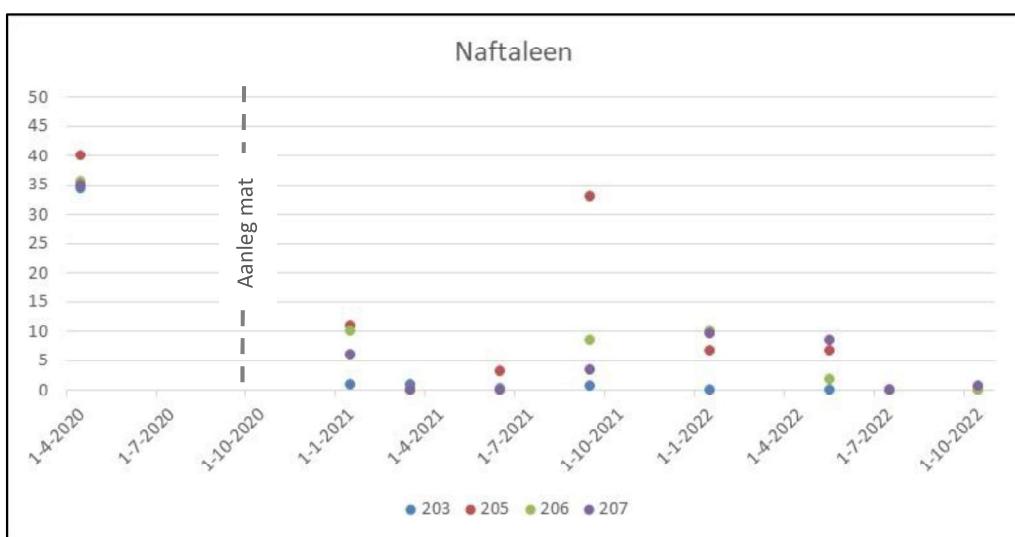
Figuur 25. Acenafteen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater per meetpunt in de tijd



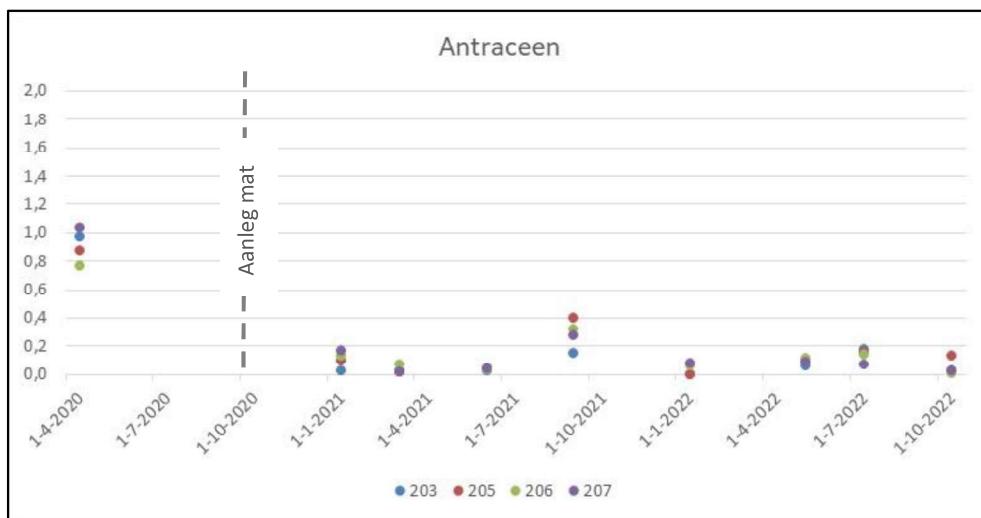
Figuur 26. Pyreen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater per meetpunt in de tijd



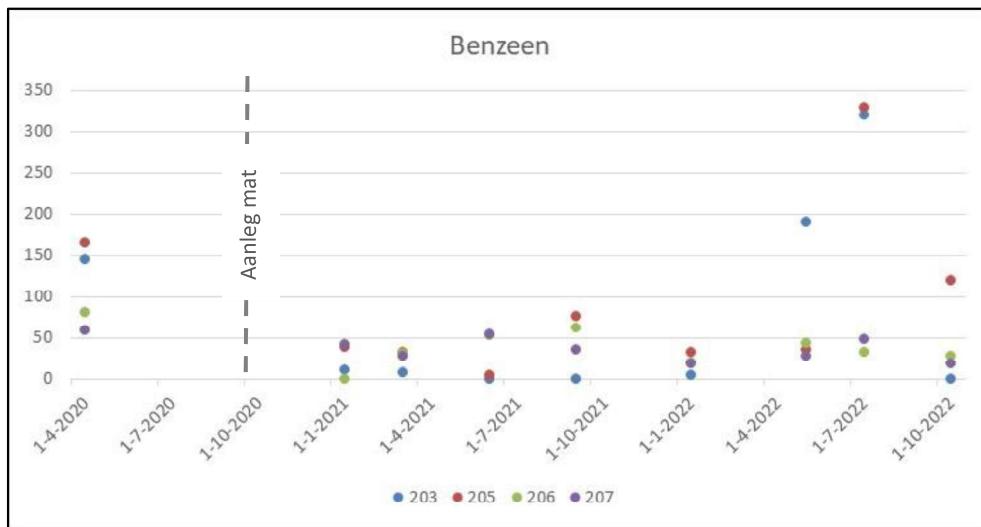
Figuur 27. Fenantreen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater per meetpunt in de tijd



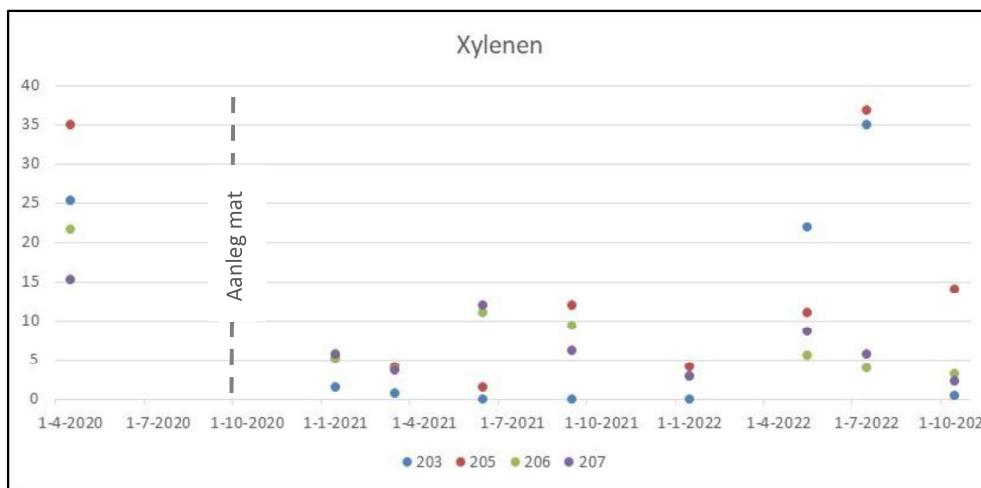
Figuur 28. Naftaleen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater per meetpunt in de tijd



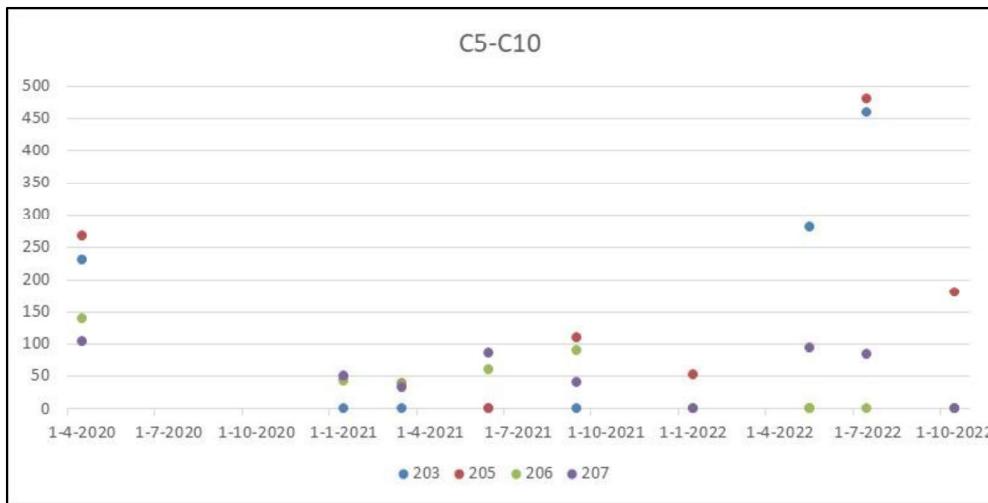
Figuur 29. Antraceen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater per meetpunt in de tijd



Figuur 30. Benzeen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater per meetpunt in de tijd



Figuur 31. Xylenen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater per meetpunt in de tijd



Figuur 32. C5-C10 ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater per meetpunt in de tijd

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is het gemiddelde zuiveringsrendement van de 4 meetpunten (203, 205, 206 en 207) opgenomen per stof per meetronde.

	5-1-21	26-3-21	2-6-21	27-9-21	6-1-22	17-5-22	12-7-22	26-10-22
Acenafteen	82%	93%	87%	61%	93%	70%	43%	87%
Pyreen	95%	94%	97%	86%	97%	89%	64%	95%
Fenantreen	92%	99%	98%	82%	97%	91%	98%	96%
Naftaleen	81%	99%	98%	70%	82%	88%	100%	99%
Antraceen	88%	96%	96%	68%	96%	90%	84%	95%
Benzeen	75%	73%	59%	54%	80%	37%	-36%	66%
Xylenen	80%	86%	66%	70%	89%	50%	25%	82%
C5-C10	75%	81%	67%	63%	90%	37%	-17%	78%

Tabel 8. Gemiddeld zuiveringsrendement ($n=4$) per stof per meetronde

Toelichting

Oranje: daling tot onder 50% rendement

Rood: daling tot een negatief rendement, concentratie > nulsituatie

Uit Figuur 25 tot en met Figuur 32 en Tabel 7 blijkt dat op twee momenten in de tijd een rendementsdaling is te zien. Het gaat om 27 september 2021 en om opeenvolgend 17 mei en 12 juli 2022. Op 27 september 2021 is sprake van een rendement van 54-70% voor benzeen, xylenen en C5-C10 en voor PAK van 61-86%. Het rendementsverlies in de tweede periode (mei-juli 2022) is ernstiger: voor benzeen, xylenen en C5-C10 blijft een rendement over van -25% tot -36% (concentraties deels hoger dan de nulsituatie) en voor acenafteen en pyreen van 43 en 64%.

Oorzaak van de rendementsdaling (concentratiestijging in oppervlaktewater) voor alle stoffen in september 2021, die zich mogelijk al in juni 2021 voorzichtig aankondigde voor de niet-PAK stoffen, bleek een kortsluitstroming van verontreiniging via de naad tussen 2 matelementen, ter hoogte van de wateruitlaat en de aansluiting van de constructie op het beton van de wateruitlaat. Op basis van visuele inspectie is geconstateerd dat de waterdichte flap over de naad van twee matelementen en de aansluiting op de uitlaat was verschoven, waarschijnlijk als gevolg van de stroming van overvloedig hemelwater uit de wateruitlaat. In december 2021 is het geotextiel eerst weer goed gelegd, is extra waterdichte folie aangebracht en vervolgens is in januari 2022 permanente ballast geplaatst op de aansluitingen zodat verschuiving werd voorkomen.

Uit fluxmetingen in november 2021 bleken de matten niet verzadigd te zijn en bleek doorslag van verontreiniging door het adsorptiemateriaal heen niet aan de orde (zie ‘**Fluxmetingen**’ verderop in deze paragraaf). Als gevolg van de aanwezigheid van puur product in de waterbodem direct onder de matconstructie en het ontsnappen daarvan richting oppervlaktewater blijkt dat kortsluitstroming grote gevolgen heeft (zie ook Figuur 33).



Figuur 33. Ligging kortsluitstroming eind 2021 en constatering puur product

Dat de lokale aanpassing aan de matconstructie het gewenste effect heeft, blijkt vervolgens uit de meting op 6 januari 2022, waarbij weer een verwacht rendement wordt geconstateerd.

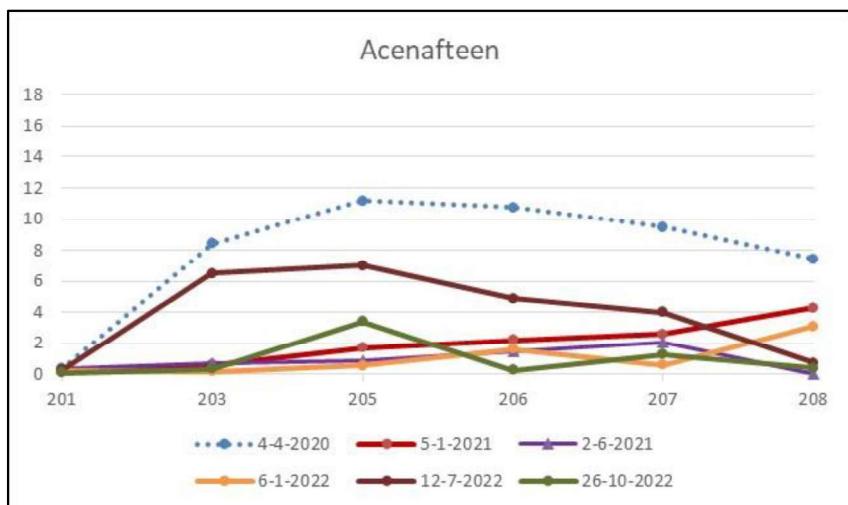
Het rendementsverlies tijdens de tweede periode blijkt complexer om te verklaren.

Er is een inspectie uitgevoerd in de Lieve door Envisan en hoewel de mat nog goed aansluit op de wateruitlaat blijkt dat tijdens het betreden van de mat puur product en gasbellen vrijkomen en dat er nog steeds beweging zit in de matelementen (met name de matten 8 en 9 nabij de overstort).

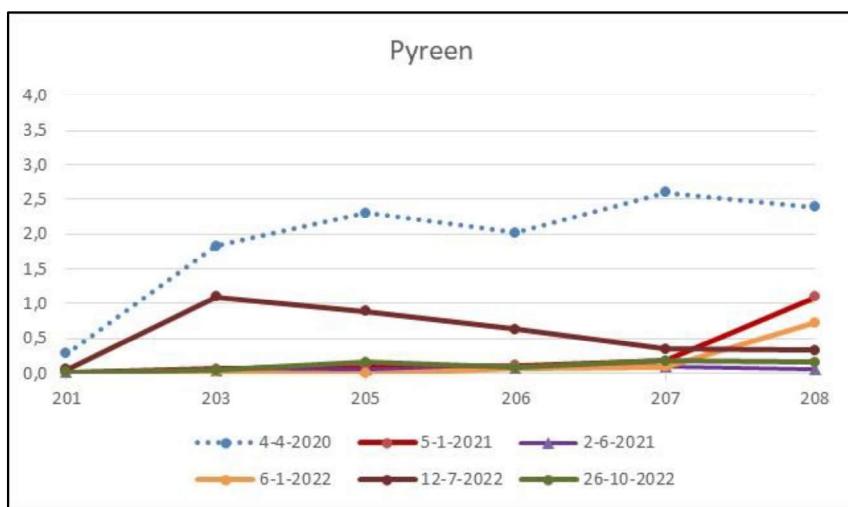
Overigens wordt het gas (methaangas, koolstofdioxide en waterstofsulfide) gevormd door biologische activiteit in de waterbodem onder de matconstructie en door opwaartse druk tijdelijk ingevangen in het geotextiel. Geconstateerd is dat het vrijkomen van puur product hier over de volledige breedte plaatsvindt bij betreding, dus niet alleen bij de oevers.

Tegelijkertijd kan dit niet de enige verklaring zijn, aangezien deze keer van enkele stoffen zelfs concentraties worden gemeten in het oppervlaktewater die hoger liggen dan tijdens de nulsituatie zonder reactieve mat en we bovendien veranderingen zien in de samenstelling van zowel oppervlaktewater als grondwater (zie kopje ‘Watertype’ en paragraaf 3.3.1.3.2 ‘Grondwater’). Dit heeft met het extremerne neerslagtekort te maken in deze periode, met als gevolg een tijdelijk hogere verticaal opwaartse flux (kwel) van sterker verontreinigd dieper grondwater en puur product, en een verminderde toestroom van ondiep grondwater (afkomstig van de diepte van de monitoringsfilters tot 5 m-mv). Hier wordt verderop in de tekst nader op ingegaan.

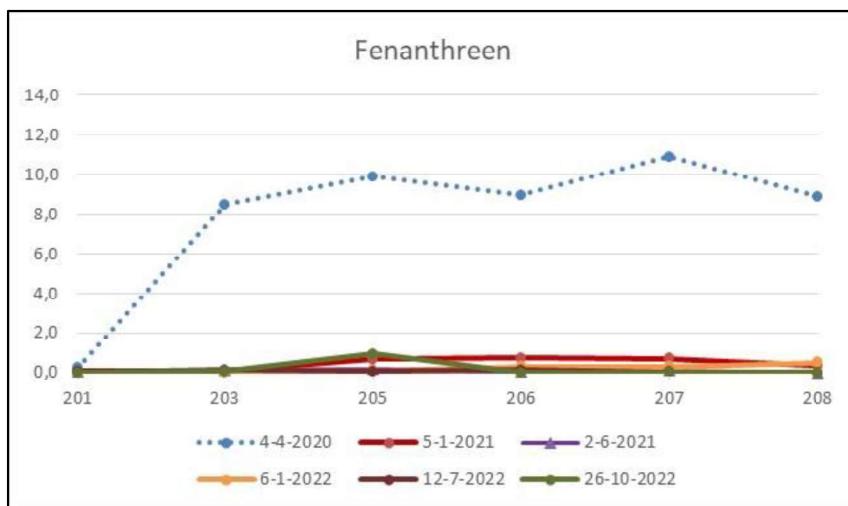
In de Figuur 34 tot en met Figuur 41 is het ruimtelijke concentratieverloop ($\mu\text{g/l}$) opgenomen over het gehele gemonitorde traject van de Lieve, oftewel bovenstrooms van de matconstructie (meetpunt 201), ter plaatse van (meetpunten 203, 205, 206 en 207) en stroomafwaarts van de matconstructie. Hierbij is voor de leesbaarheid in de grafiek de afstand tussen de meetpunten gelijk gekozen, gezien de grote afstand van de overige meetpunten tot meetpunt 208. Het gehele meettraject heeft een lengte van circa 610 meter, waarbij de meetpunten 201, 203, 205, 206 en 207 de eerste 150 meter bestrijken. De gemiddelde referentie- of nulsituatie is gelegd op 4 april 2020 (de onderbroken blauwe lijn).



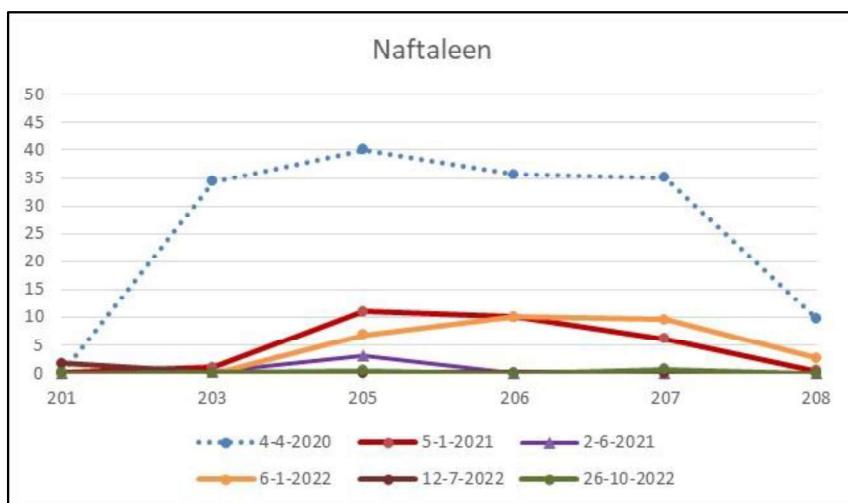
Figuur 34. Acenafteen ($\mu\text{g}/\text{l}$) in oppervlaktewater over het gehele meettraject



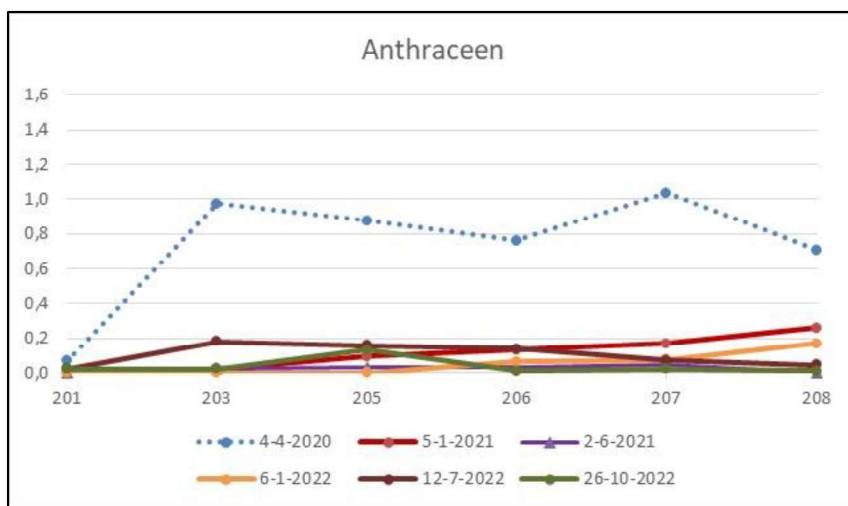
Figuur 35. Pyreen ($\mu\text{g}/\text{l}$) in oppervlaktewater over het gehele meettraject



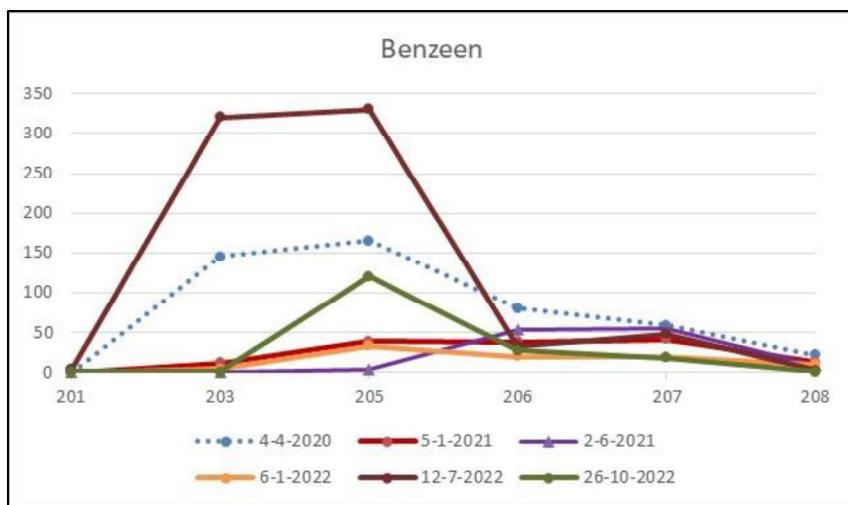
Figuur 36. Fenantreen ($\mu\text{g}/\text{l}$) in oppervlaktewater over het gehele meettraject



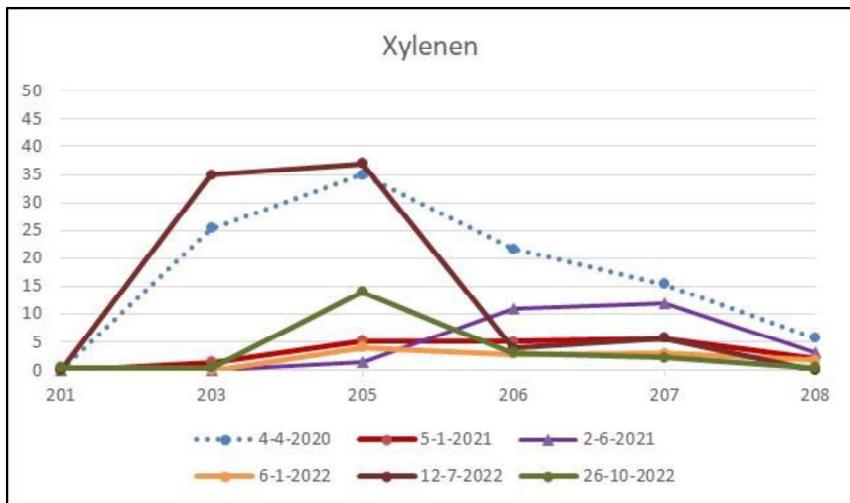
Figuur 37. Naftaleen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater over het gehele meettraject



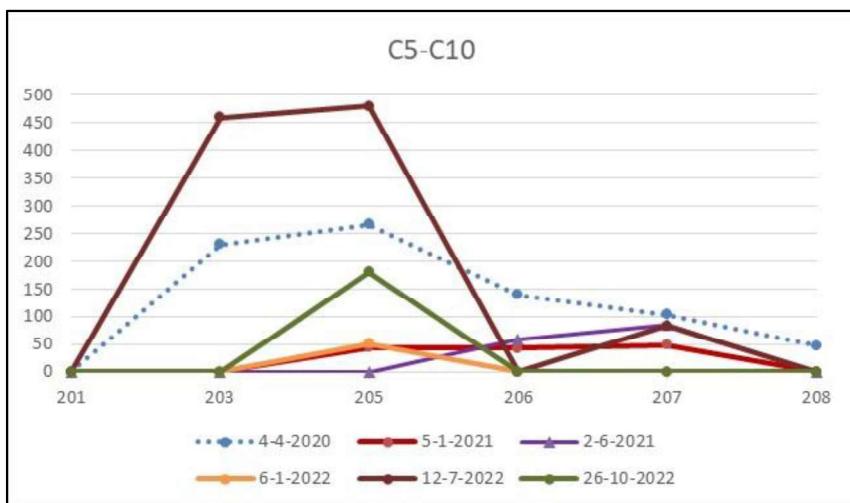
Figuur 38. Antraceen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater over het gehele meettraject



Figuur 39 . Benzene ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater over het gehele meettraject



Figuur 40 . Xylenen ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater over het gehele meettraject



Figuur 41. C5-C10 ($\mu\text{g/l}$) in oppervlaktewater over het gehele meettraject

Uit het concentratieverloop over het gehele meettraject blijkt het volgende:

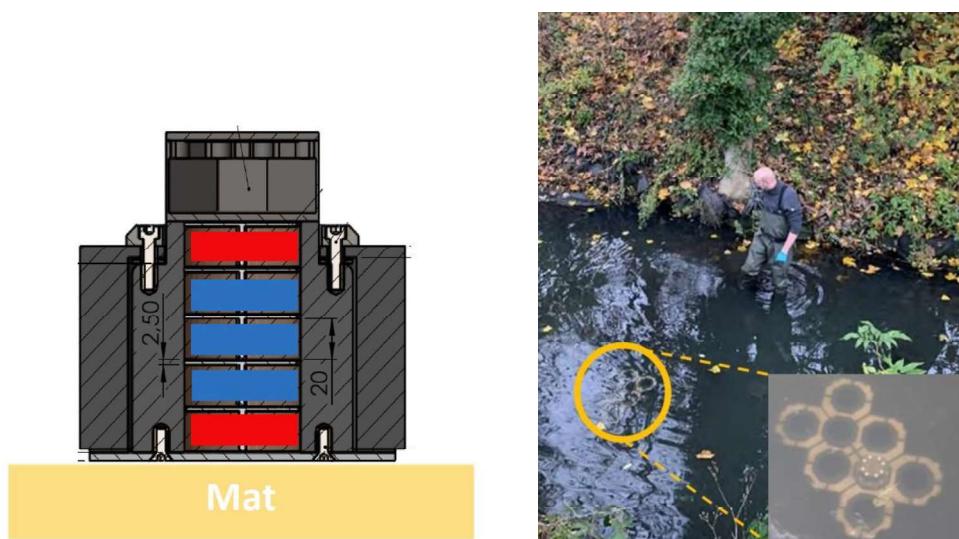
- Ter hoogte van meetpunt 201, stroomopwaarts van de reactieve matconstructie, worden alleen PAK in licht verhoogde concentraties aangetroffen gedurende de gehele meetperiode. Dat betekent dat een beperkt of verwaarloosbaar deel van de verontreiniging, voorafgaand aan de beïnvloeding door het voormalige Lumco-terrein, aanwezig is in het oppervlaktewater van de Lieve.
- De grafieken laten in 1 oogopslag zien dat er verbetering is van de waterkwaliteit ten opzichte van de situatie zonder mat, met uitzondering van de periode rond 12 juli 2022.
- Tevens valt op dat op 12 juli 2022 sprake is van een concentratie benzeen, xylenen en C5-C10 ter plaatse van de meetpunten 203 en 205 (biochar matten) die hoger ligt dan tijdens de nulsituatie.
- De oppervlaktewaterkwaliteit in het stroomafwaartse meetpunt 208, vlak voordat de Lieve in het havenwater (de ringvaart) terecht komt, is continu beter in de situatie mét de reactieve mat dan in de situatie zónder reactieve mat. Desondanks overschrijden fluoranteen ($0,47 \mu\text{g/l}$), pyreen ($0,16 \mu\text{g/l}$) en acenafteen ($0,38 \mu\text{g/l}$) hier in oktober 2022 nog de MKN-norm (respectievelijk $0,12$; $0,04$ en $0,06 \mu\text{g/l}$) met een factor 4 tot 6.

Fluxmetingen

Door iFlux zijn na de ruiming van de Lieve op 3 momenten verticale fluxmetingen door de waterbodem en door de matconstructie uitgevoerd:

- Initiële meting in februari 2020 zonder matconstructie (nulmeting);
- In november 2021 en juli 2022: 2 ‘mat-flux’ samplers t.h.v. meetpunten 203 en 205.

Met betrekking tot de constructie en de ligging van de mat-flux sampler wordt verwezen naar Figuur 42. Met behulp van een verzwaarde constructie zijn de samplers op de biochar-matten geplaatst. Een week na plaatsing zijn deze weer opgehaald en zijn de sorptiematerialen uit de fluxsamplers geanalyseerd op tracers en verontreinigingen en zijn de fluxrichting en -grootte bepaald.



Figuur 42. Mat-flux sampler (rood: sorptie massaflux; blauw: sorptie en tracers waterflux) en situering in de Lieve

Voor de betreffende rapporten van iFLUX wordt verwezen naar bijlage 3.3.

Uit de waterflux metingen blijkt steeds een opwaartse flux, ofwel een instroom van grondwater via de waterbodem naar het oppervlaktewater:

- Nulmeting (zonder mat): maximaal **0,73 cm/d**
- November 2021: **0,7-1,0 cm/d**
- Juli 2022: **1,56 cm/d** (alleen meetpunt 203; 205 is boven het wateroppervlak gekomen)

In Tabel 9 is de massaflux opgenomen van stoffen die zijn aangetoond in gehalten boven de rapportagegrens.

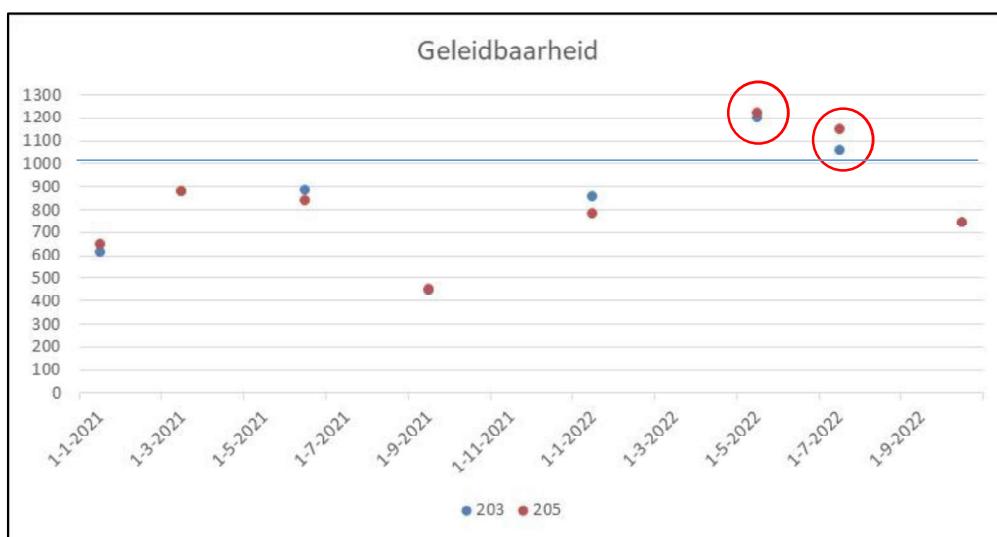
	Benzeen (mg/m²/d)	Naftaleen (mg/m²/d)	Acenafteen (mg/m²/d)
Nulmeting 2020	11,8	28,4	7,24
November 2021	0,25	<0,06	<0,06
Juli 2022	0,63	0,20	0,13

Tabel 9. Resultaten verticale massaflux voor stoffen boven de rapportagegrens

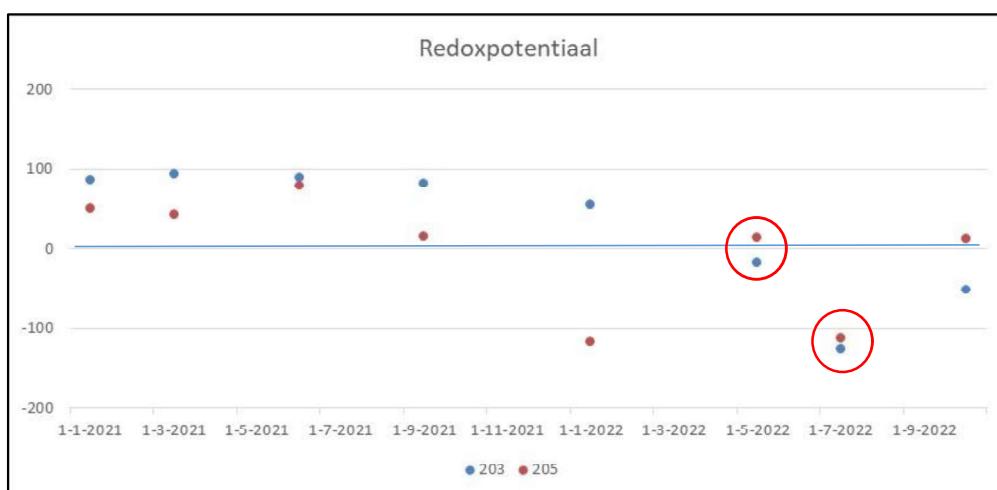
Uit de resultaten in tabel 9 kan afgeleid worden dat de initiële massaflux zoals die is bepaald tijdens de nulmeting voorafgaand aan de matconstructie, niet wordt benaderd in november 2021 en juli 2022 in de situatie met de matconstructie. Met andere woorden: de reactieve matelementen zijn nog niet verzedigd. Wel neemt in juli 2022 de massaflux wat toe ten opzichte van november 2021 voor respectievelijk benzeen, naftaleen en acenafteen. Weliswaar gaat het hier om slechts 2 metingen in de tijd na aanleg van de reactieve mat, maar wel ter plaatse van de hoogste instroom van verontreiniging. Hiermee wordt de hypothese ondersteund dat de fluctuaties in oppervlaktewaterconcentraties worden veroorzaakt door lokale kortsluitstromingen (zie paragraaf ‘verontreiniging’); immers, uit de gemeten fluxen doorheen de mat blijkt dat er geen sprake is van verzediging van de matelementen en de daarmee gepaard gaande doorslag tot hoge concentraties in het oppervlaktewater.

Watertype

Van het oppervlaktewater is tijdens staalname onder andere de geleidbaarheid en redoxpotentiaal gemeten. De resultaten zijn opgenomen in Figuur 43 en Figuur 44.



Figuur 43. Geleidbaarheid ($\mu\text{S}/\text{cm}$) in het oppervlaktewater boven de biochar matten (meetpunt 203 en 205)



Figuur 44. Redoxpotentiaal (mV) in het oppervlaktewater boven de biochar matten (meetpunt 203 en 205)

Hieruit volgt dat de geleidbaarheid van het oppervlaktewater hoger en de redoxpotentiaal lager wordt (ijzer- tot sulfaatreducerend) tijdens de periode mei-juli 2022 waarin de concentratie aan verontreinigingen in het oppervlaktewater sterk toenemen. Tegelijkertijd wordt het ondiepe grondwater juist minder anaeroob, met als hoogtepunt 17 mei 2022. Dit is weergegeven in Tabel 10.

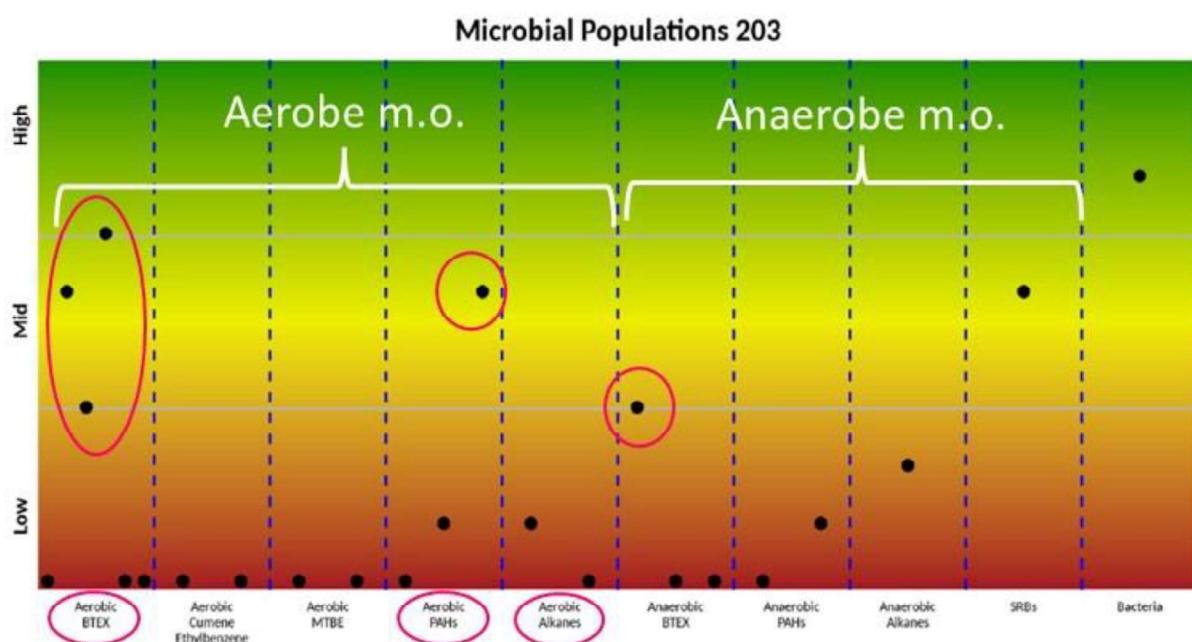
	11-1-2021	2-6-2021	6-1-2022	17-5-2022	26-10-2022
Redox (mV)	-188	-104	-57	-11	-125

Tabel 10. Gemiddelde redoxpotentiaal grondwater (pb 20, 50, 90 en 100)

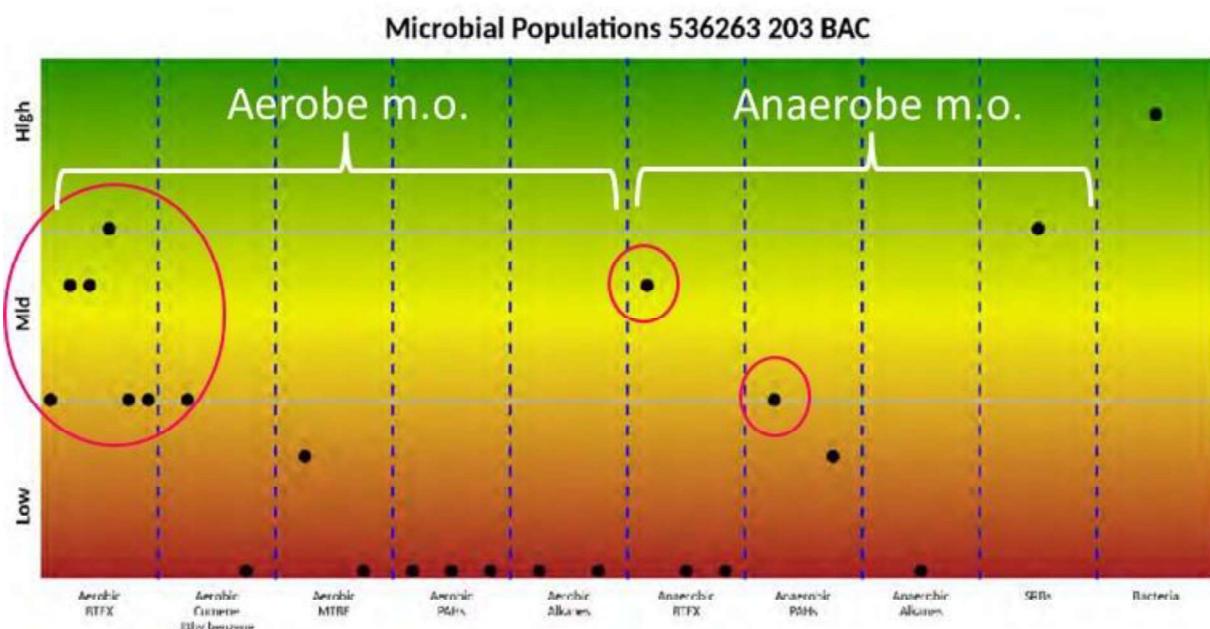
Hieruit volgt dat er in die periode sprake is van instroom in de Lieve van een ander type (grond)water. Het gaat daarbij waarschijnlijk om grondwater dat verticaal opkwelt uit de sterk verontreinigde bodem onder de Lieve in plaats van (ondieper) grondwater dat wordt aangevoerd vanuit de richting van de oever (die we monitoren). Uit het verhang tussen het grondwater in de oever en het oppervlaktewaterniveau in de Lieve blijkt dat de Lieve tijdelijk niet of nauwelijks gevoed wordt door dit grondwater (zie paragraaf 3.3.1.3.2). Instromen vanuit meer verticale richting met hogere concentraties of zelfs puur product verklaart de eerdergenoemde waarneming dat voor enkele stoffen een oppervlaktewaterconcentratie is geconstateerd in de periode mei-juli 2022 die hoger ligt dan tijdens de nulsituatie zonder mat (vanzelfsprekend in combinatie met kortsluitstroming).

Biologische afbraak

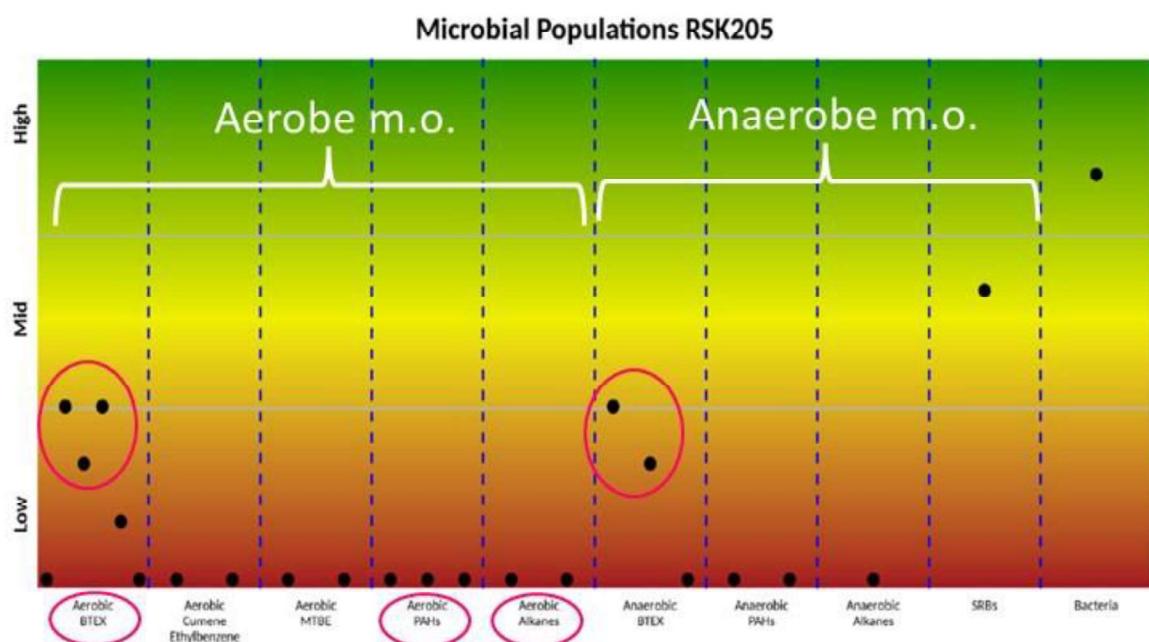
Watermonsters die genomen zijn vanaf het matoppervlak ter hoogte van meetpunt 203 en 205 zijn geanalyseerd op een aantal functionele genen die coderen voor specifieke enzymen voor de afbraak van BTEX, PAK en alifaten. Dit is uitgevoerd voor de meetronden in januari 2021, januari 2022 en mei 2022. De resultaten van januari 2021 en mei 2022 zijn opgenomen in de Figuur 45.1 en 45.2 (meetpunt 203) en Figuur 47.1 en 46.2 (meetpunt 205).



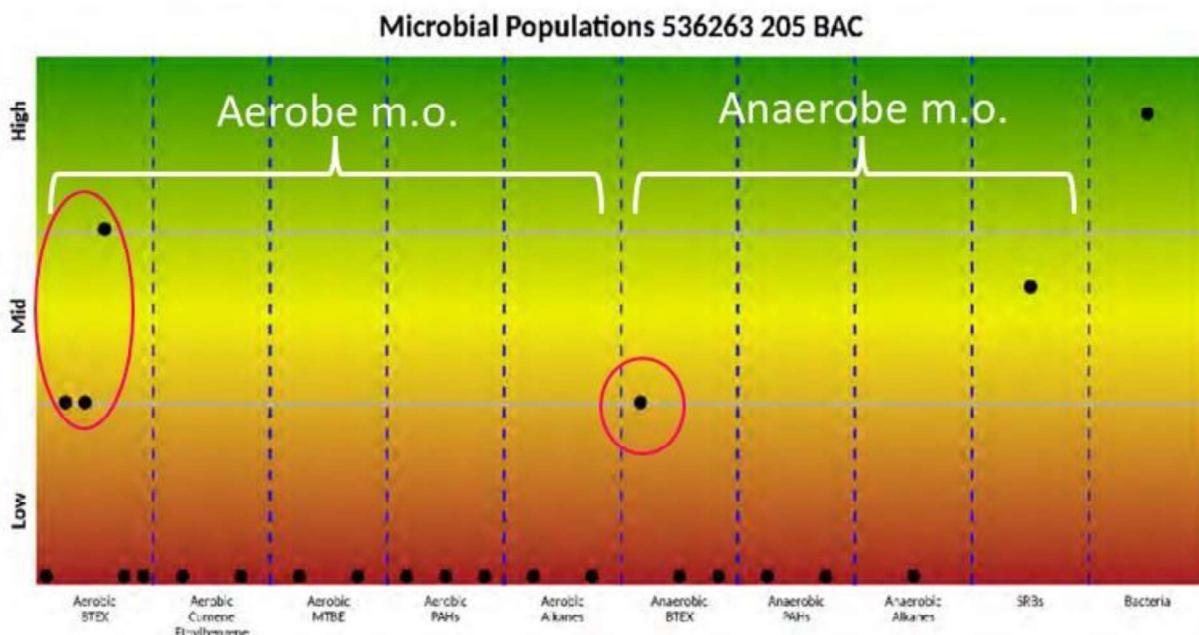
Figuur 45.1 Resultaten 5 januari 2021 meetpunt 203 DNA-analyse / qPCR



Figuur 46.2 Resultaten 17 mei 2022 meetpunt 203 DNA-analyse / qPCR



Figuur 47.1 Resultaten 5 januari 2021 meetpunt 205 DNA-analyse / qPCR



Figuur 48.2 Resultaten 17 mei 2022 meetpunt 205 DNA-analyse / qPCR

In de figuren staat op de y-as de mate waarin specifieke micro-organismen voorkomen:

- Laag: $<1 \times 10^3$ cellen/ml;
- Middel: $1 \times 10^3 - 1 \times 10^5$ cellen/ml;
- Hoog: $>1 \times 10^6$ cellen/ml.

Op de x-as zijn de specifieke micro-organismen weergegeven, gegroepeerd naar specifieke afbraak, respectievelijk:

- Aerobe BTEX, ethylbenzeen, MtBE, PAK en alkanen afbrekers;
- Anaerobe BTEX, PAK en alkanen afbrekers;
- Sulfaatreducerende bacteriën;
- Totale aantal bacteriën.

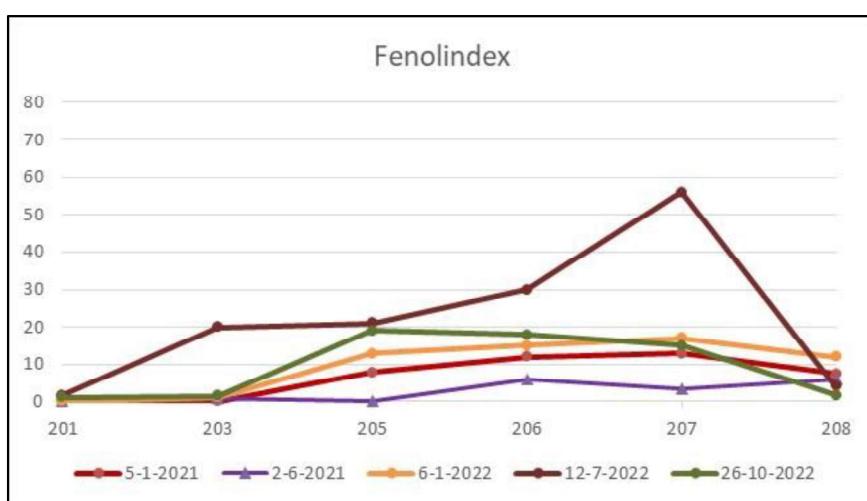
Uit de resultaten blijkt het volgende:

- In zowel meetpunt 203 als 205 zijn aerobe BTEX-abbrekers aangetroffen in een doorgaans middelmatig aantal.
- Aerobe PAK-abbrekers zijn alleen in januari 2021 aangetoond in een middelmatig aantal in meetpunt 203. Dit zou verklaard kunnen worden doordat er in zeer beperkte mate PAK worden doorgelaten door de mat.
- Aerobe alkaanabbrekers worden alleen in januari 2021 aangetoond in een laag aantal in meetpunt 203.
- Er zijn in beide meetpunten anaerobe BTEX-abbrekers aanwezig in een laag tot middelmatig aantal.
- Alleen in meetpunt 203 worden in mei 2022 anaerobe PAK-abbrekers aangetroffen. Dit kan te maken hebben met toename van PAK in het oppervlaktewater in mei 2022.
- Er zijn sulfaatreducerende bacteriën aanwezig in middelmatige aantallen.
- Het totaal aantal bacteriën is ongeveer met een factor 18 toegenomen: in 203 van $3,5 \times 10^6$ naar $5,8 \times 10^7$ en in 205 van $8,3 \times 10^5$ naar $1,6 \times 10^7$ cellen/ml.

Geconcludeerd kan worden gesteld dat in het algemeen zowel de aerobe en anaerobe BTEX-abbrekers actief zijn op en nabij het matopervvlak. Hieruit wordt duidelijk dat zowel aerobe als anaerobe omstandigheden voorkomen op het scheidingsvlak grondwater/oppervlaktewater en dat afbraak van BTEX plaatsvindt. De aantallen aangetroffen PAK abbrekers en alkaan abbrekers zijn nihil of laag.

Hierbij dient nog wel het volgende opgemerkt te worden. Uit het totale aantal bacteriën blijkt dat er een behoorlijke toename is van activiteit in mei 2022. Dit kan in verband worden gebracht met toename van concentraties verontreiniging in het oppervlaktewater. Welke bacteriën het precies zijn is onduidelijk, aangezien het labo niet alle abbrekers kan specificeren (niet alle genen/enzymen zijn bekend). Met andere woorden: er kan sprake zijn van een hogere afbraakactiviteit/-capaciteit in mei 2022 dan nu uit de DNA-resultaten blijkt.

Een andere indicator voor de microbiële afbraak van BTEX is de fenolindex. Het verloop hiervan is opgenomen in Figuur 49, waaruit blijkt dat tijdens de hoge concentraties in het oppervlaktewater op 12 juli 2022 de fenolindex inderdaad ook een stuk hoger ligt.

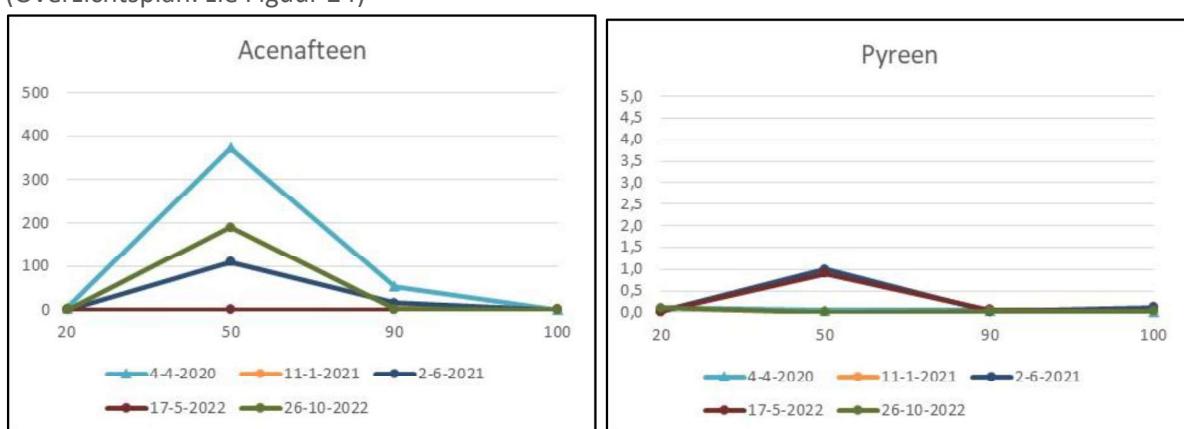


Figuur 49. Fenolindex ($\mu\text{g/l}$) over het meettraject op verschillende tijdstippen

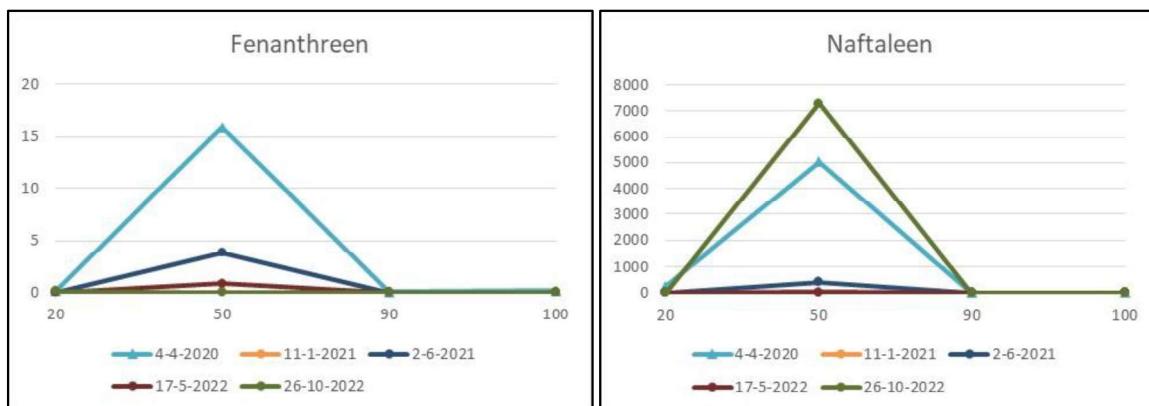
3.3.1.3.2 Grondwater

Verontreiniging

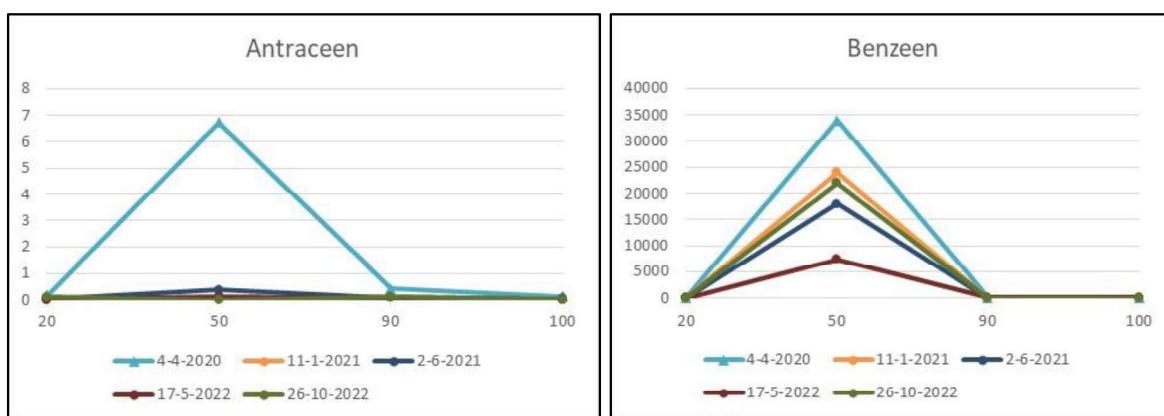
In Figuur 50 tot en met 51 is de concentratie ($\mu\text{g/l}$) van de maatgevende en kritische contaminanten in het grondwater in de peilbuizen 20, 50, 90 en 100 opgenomen op verschillende tijdstippen. (Overzichtsplan: zie Figuur 24)



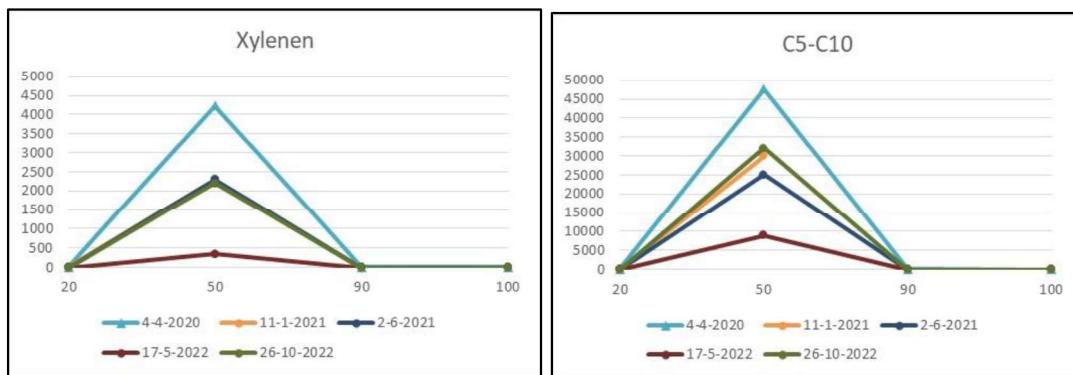
Figuur 50. Acenafteen en pyreen ($\mu\text{g/l}$) in grondwater ter hoogte van pb 20, 50, 90 en 100



Figuur 51. Fenanthreen en naftaleen ($\mu\text{g/l}$) in grondwater ter plaatse van pb 20, 50, 90 en 100



Figuur 52. Antraceen en benzeen ($\mu\text{g/l}$) in grondwater ter plaatse van pb 20, 50, 90 en 100



Figuur 53. Antraceen en benzeen ($\mu\text{g/l}$) in grondwater ter plaatse van pb 20, 50, 90 en 100

Frappant is dat in de nulsituatie (4-4-2020), voorafgaand aan de aanleg van de reactieve mat, voor de meeste stoffen de hoogste concentraties zijn aangetroffen in het grondwater. Eveneens opvallend is dat in mei 2022 veruit de laagste concentraties zijn aangetroffen in het grondwater in de peilbuizen. Dat terwijl in mei 2022 de hoogste concentraties in het oppervlaktewater zijn geconstateerd. Dit komt overeen met de veronderstelling dat het oppervlaktewater op dat moment, als gevolg van de droogte, voornamelijk wordt gevoed door het diepe grondwater recht onder de Lieve (kwel) en niet door het grondwater vanuit de richting van de oever waarin de peilbuizen zijn gesitueerd (zie paragraaf 3.3.1.3.1, 'Verontreiniging').

Na het lage grondwaterconcentratieniveau in mei 2022 hersteld deze zich naar een gemiddeld tot hoog niveau, waarbij moet worden opgemerkt dat alleen het grondwater in peilbuis 50 een sterke verontreiniging bevat (bv 200 µg/l acenafteen, 7.000 µg/l naftaleen, 20.000 µg/l benzeen en 30.000 µg/l C5-C10 in oktober 2022) en het grondwater in de overige peilbuizen niet of nauwelijks verontreiniging bevatten.

Stijghoogteverschil

Relevant is ook het stijghoogteverschil tussen het grondwater in de peilbuizen in de oever (3-5 m - mv) en het oppervlaktewater van de Lieve, om na te kunnen gaan of er grondwaterstroming richting de Lieve plaatsvindt. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 11.

Datum	Waterstand Lieve tov	Grondwaterniveau	Verhang (m)
	m TAW	OIP 5 (m TAW)	Grondwater - Lieve
3-2-2020	-	4,521	-
30-3-2020	-	4,531	-
4-6-2020	-	4,331	-
5/11-1-2021	4,66	4,961	0,301
26-3-2021	4,68	5,011	0,331
2-6-2021	4,70	4,961	0,261
27-9-2021	4,63	4,831	0,201
6-1-2022	4,72	4,681	-0,04
17-5-2022	4,81	4,791	-0,02
12-7-2022	4,70	5,031	0,331
26-10-2022	4,63	4,781	0,151

Tabel 11. Waterstanden grondwater en oppervlaktewater en stijghoogteverschil (verhang)

Uit de tabel kan worden opgemaakt dat gedurende 6 van de 8 metingen er een verhang was van het grondwater op de oever richting de Lieve, variërend van 15 tot 33 cm. Op 2 momenten is er geen tot een licht negatief verhang (geen stroming van dit grondwater richting de Lieve), variërend van -2 tot -4 cm op respectievelijk 6 januari 2022 en 17 mei 2022. Verwacht zou worden dat dit tevens het geval is op 12 juli 2022, maar blijkbaar is het grondwaterniveau op dat moment (net?) hersteld.

3.3.1.4 Samenvatting

Aangetoond is dat een reactieve matconstructie met groene adsorbens (Natural Catch^{TAUW}) goed kan functioneren en de verwachte zuiveringsrendementen kan behalen. Voor PAK liggen deze rendementen doorgaans hoger dan voor benzeen, xylenen en C5-C10. Dat ligt ook in de lijn der verwachting op basis van de verdelingscoëfficiënten van betreffende stoffen. Na een operationele periode van 2 jaar lijkt biochar nog niet verzadigd en/of door te slaan in hoge concentraties op basis van de uitgevoerde fluxmetingen.



Figuur 54. Impressie van traject de Lieve met reactieve matconstructie in januari 2022

Wel is geconstateerd dat het rendement van de huidige constructie afhankelijk is van de combinatie van:

- De onderlinge aansluiting van matelementen;
- Gasvorming in de waterbodem en (tijdelijke) ophoping hiervan in de matconstructie;
- De aanwezigheid van puur product in de waterbodem direct onder de matconstructie;
- Sterke stroming van oppervlaktewater of hemelwater uit een overstort op de mat.

Als gevolg hiervan kan kortsluitstroming van grondwater met hoge concentraties of zelfs puur product optreden, met als gevolg een snelle daling van het zuiveringsrendement en terugval van de oppervlaktewaterkwaliteit.

3.3.2 Evaluatieresultaten

3.3.2.1 Evaluatie m.b.t. bereiken saneringsdoelstelling

- Aangetoond is dat het gebruik van een reactieve mat gevuld met groene adsorptiematerialen (Natural Catch^{TAUW}) zoals biochar en veen (zodenturf) de kwaliteit van een oppervlaktewater, dat verontreinigd grondwater met PAK, BTEX en minerale olie ontvangt, aanzienlijk kan verbeteren. Hierbij is bij optimale werking een rendement van 80-99% behaald, met uitzondering van benzeen met een rendement van 73-80%.
- Voor een 8-tal stoffen die in de nulsituatie de milieukwaliteitsnorm voor oppervlaktewater (MKN-waarde) overschreden wordt bij de optimale werking van de reactieve mat de concentratie gereduceerd tot onder de MKN-waarde: minerale olie (C5-C10), anthraceen, fenanthreen, benzo(a)anthraceen, benzo(k)fluorantheen, benzo(ghi)peryleen, benzo(b)fluorantheen en fluoreen. Maar zelfs bij het hoge rendement van de reactieve mat bij optimale werking wordt niet voor alle stoffen deze MKN-waarde behaald. De 4 stoffen waarvoor dit geldt zijn acenafteen, pyreen en fluorantheen (PAK) en benzeen. Voor de betreffende PAK heeft dit te maken met de relatief lage MKN-waarden (respectievelijk 0,06; 0,04 en 0,12 µg/l) ten opzichte van de relatief hoge initiële concentraties in het oppervlaktewater (respectievelijk 10; 2,2 en 3,4 µg/l) en daarmee de hoge influx. Voor benzeen heeft dit voor een belangrijk deel te maken met de mobiliteit van de stof (adsorbeert het minste) in combinatie met de relatief hoge influx; de MKN-waarde is in dit geval 10 µg/l ten opzichte van een initiële concentratie in het oppervlaktewater van 112 µg/l (een rendement van ca 91% zou nodig zijn).

3.3.2.2 Criteria voor succes

De volgende factoren met betrekking tot matconstructie en omgeving kunnen het succesvol inzetten van een permeabele reactieve mat zoals toegepast in Gent negatief beïnvloeden:

- **Gasvorming in de waterbodem onder de matconstructie.** Door biologische activiteit in de waterbodem ontstaat onder anaerobe omstandigheden methaangas en mogelijk ook koolstofdioxide en waterstofsulfide. Vervolgens wordt dit gas (tijdelijk) door opwaartse druk ingevangen door de reactieve mat:
 - Door insluiting van gas ('gasclogging') wordt de adsorptiecapaciteit beperkt. Een deel van de mat, en daarmee van de adsorptiecapaciteit, is daardoor onbereikbaar voor het verontreinigde grondwater en er is een hogere flux door de natte delen.
 - Via de vervolgens uit de mat ontsnappende gasbellen kan versneld verontreinigd grondwater meekomen, met als gevolg een beperktere contacttijd met het adsorbent en dus minder adsorptie. Dit zullen echter relatief kleine hoeveelheden zijn.Het wegnemen van extra slib reduceert deze gasproductie. Hier dient in de haalbaarheidsstudie en tijdens de voorbereidende ruiming van het oppervlaktewater rekening mee gehouden te worden.
- **Onderlinge aansluiting of verbinding van de matelementen.** Bij onvoldoende aansluiting of verbinding tussen matelementen kan kortsluitstroming plaatsvinden van verontreinigd grondwater via de naad richting het oppervlaktewater, zonder contact met adsorbent en dus zonder adsorptie. In het geval er puur product aanwezig is in de waterbodem, zoals lokaal het geval is in de Lieve, kan kortsluitstroming funest zijn voor de oppervlaktewaterkwaliteit. Een vloeistofdichte folieflap over de naad, zowel aan de onderkant (op de waterbodem) als aan de bovenkant, reduceert dit risico (N.B. In het ontwerp voor de Lieve was alleen een folieflap aan de bovenkant aanwezig). Door de folieflap aan de bovenkant te verzwaren met bijvoorbeeld een scheepsketting, wordt de kans op verschuiving door stroming van het oppervlaktewater voorkomen. Een alternatief voor verzwaring is het gebruik van klittenband.
- **Aanwezigheid van puur product in de waterbodem direct onder de mat.** Behalve de eerdergenoemde combinatie met kortsluitstroming, zal de technische levensduur van de reactieve mat bij de aanwezigheid van puur product beperkter zijn dan nu berekend (10 jaar op basis van opgelost product) als gevolg van een snellere verzadiging met verontreiniging. Het wegnemen van enkele extra decimeters waterbodem daar waar puur product voorkomt en het opvullen met eenzelfde hoeveelheid schoon zand beperkt dit risico. Hier dient in de haalbaarheidsstudie en bij de voorbereidende ruiming van het oppervlaktewater rekening mee gehouden te worden. Feitelijk is de reactieve mat bedoeld voor het afvangen van opgeloste verontreiniging en niet van puur product
 - **Verandering van de geohydrologie (stroombanen) als gevolg van ontwikkelingen in de omgeving of als gevolg van klimaatverandering.** Hierbij kan gedacht worden aan:
 - Het aanbrengen of wegnemen van verhardingen op maaiveld met als gevolg minder of meer infiltratie van neerslag;
 - Het aanbrengen of trekken van verticale damwanden met als gevolg verstoring van horizontaal grondwatertransport;
 - Het aanbrengen of beëindigen van een grondwateronttrekking;
 - Langdurige droogtes.

Indien deze veranderingen voorzienbaar zijn, dient hier rekening mee gehouden te worden in de haalbaarheidsstudie en tijdens het ontwerp. In het ergste geval dient afgezien te worden van de inzet van een reactieve mat op de voorziene plek.