



Deltares

Korte samenvatting resultaten pilots Best Parc en Vervolgaanpak middels modellering voor beëindigen onttrekking

Johan Valstar

1 juli 2026

Bestparc fase 2: Pilots vanaf 2023

1. Sulfaatpilot (Tauw met partners)
2. Nitraatpilot (Tauw met partners)
3. Constructed wetland (helofytenfilter) (Universiteit Utrecht met partners)



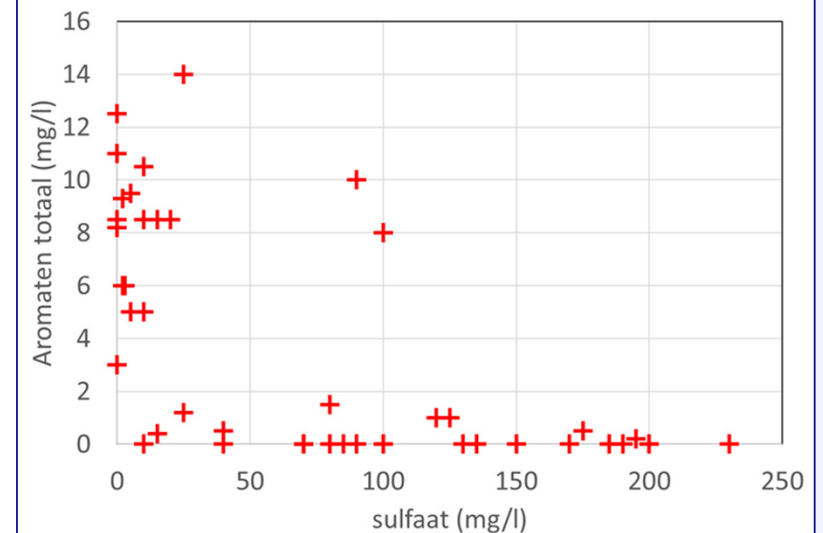
Sulfaatpilot: Waarom sulfaat?

1. Cruciale rol van sulfaat bij de natuurlijke afbraak van (teer)aromaten wordt steeds duidelijker. Vb:



2. Overduidelijk bewijs voor gebruik van sulfaat bij de afbraak van teer-aromaten in het Griftpark (Fase 1 BestParc)
3. In de vorm van gips (CaSO_4) is er een langwerkende bron van sulfaat beschikbaar

Overduidelijk bewijs voor gebruik van sulfaat bij de afbraak van teer-aromaten in het Griftpark



Maar: afbraak van aromaten met sulfaat is een langzaam proces

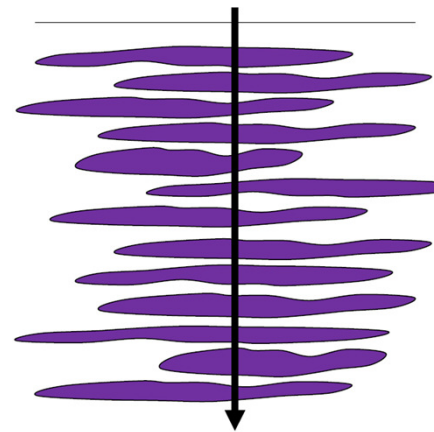
Ontwerp van de pilot

Gecontroleerde hoge-druk injectie

Injectie juist boven de kritieke druk: verspreiding van gipsdeeltje in slurry via microfractures

Gebruik van de kennis en expertise van Injectis (SPIN® injectie)

- Dieptetraject 20-30 m –mv
- 200 L/m, 300 g/l → 600 kg gips per injectie
- Injectieduur 1 week



Hoe is de pilot verlopen?

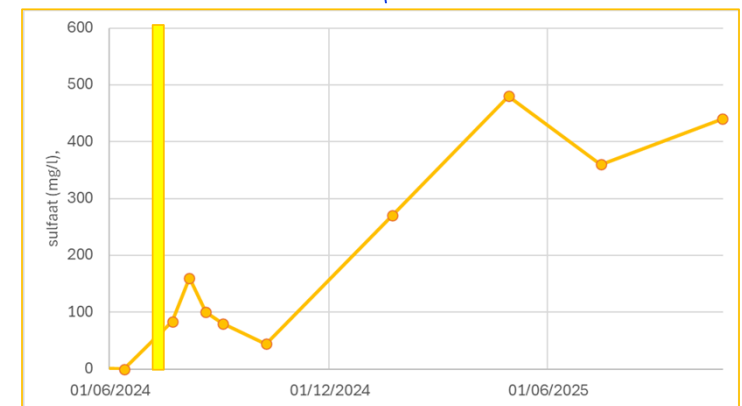
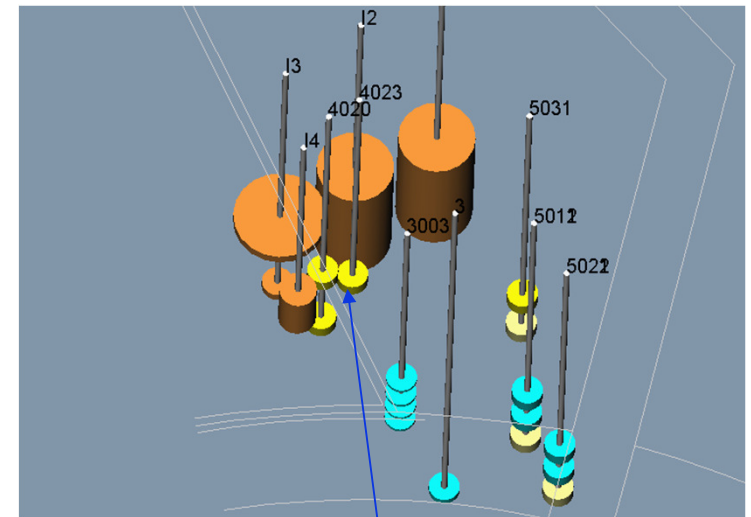
Uitvoering van de injecties en verspreiding van sulfaat:

- Eerst twee injecties volgens planning uitgevoerd
- 3^e en 4^e injectie vastgelopen, waarschijnlijk door reactie gips en verdikkingsmiddel

→ Monitoringszone slechts deels beïnvloed door sulfaat

Maar:

→ wel hoge sulfaatconcentraties gedurende 15 maanden



Zijn de doelstellingen behaald?

- Injectie van een gipsslurry is mogelijk, maar optimalisatie nodig
- Gedurende hele pilotduur nalevering van sulfaat
- Gestimuleerde afbraak aangetoond voor een deel van de teercomponenten

	Benzeen	Tolueen	Ethyl benzeen	Xyleen	Naftaleen	Indaan	Indeen	TMB
Concentratie verontreiniging	+/-	+/-	0	0	0	0	0	0
Isotopen	+	0	0	0	0	0	0	0
Metabolieten	0	0	0	0	0	*	*	*
DNA	+/-	0	0	0	+	*	*	*
Conclusie	+	+/-	0	0	+	0	0	0

Nitraatpilot: Waarom doen we deze pilot?

Met nitraat aromatenafbraak stimuleren als terugvalscenario

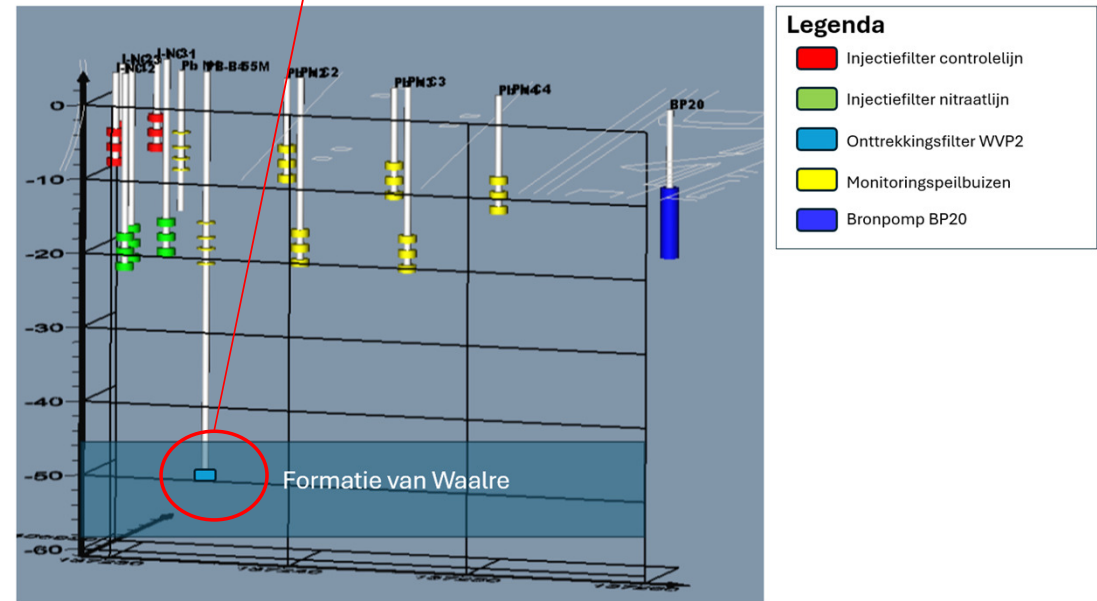
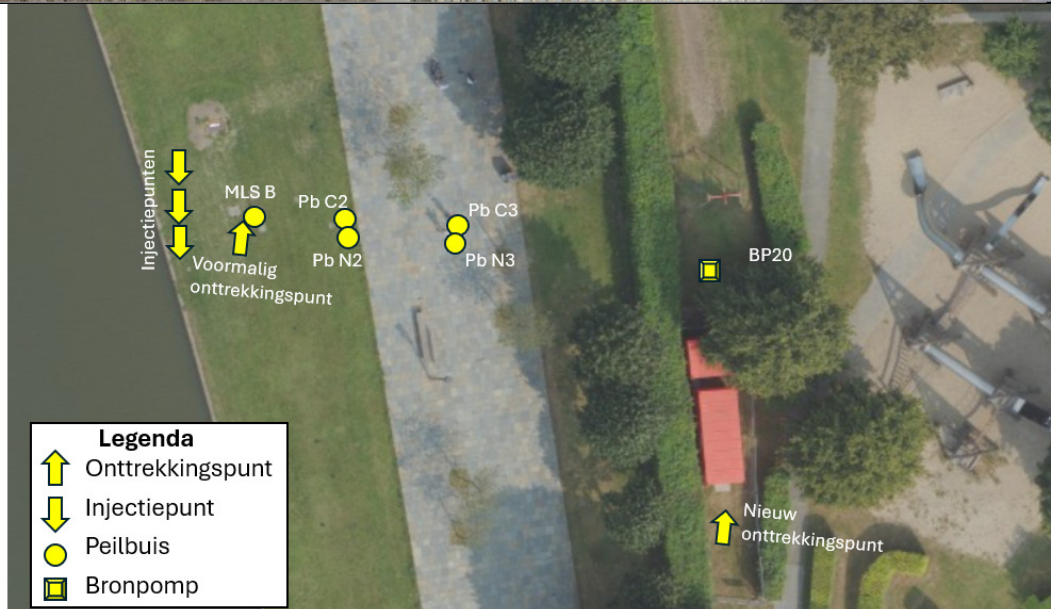
- Toetsen of nitraatinjectie in het Griftpark technisch uitvoerbaar is onder veldomstandigheden
- Vaststellen of het geïnjecteerde water en nitraat het beoogde deel van het proefveld bereiken
- Beoordelen of nitraat leidt tot veranderingen in de geochemie van het grondwater
- Onderzoeken of nitraat de natuurlijke afbraak van opgeloste teeraromaten stimuleert
- Evalueren of nitraatinjectie perspectief biedt als terugvalmaatregel bij afbouw van de huidige grondwaterbeheersing



Hoe hebben we het ingericht?

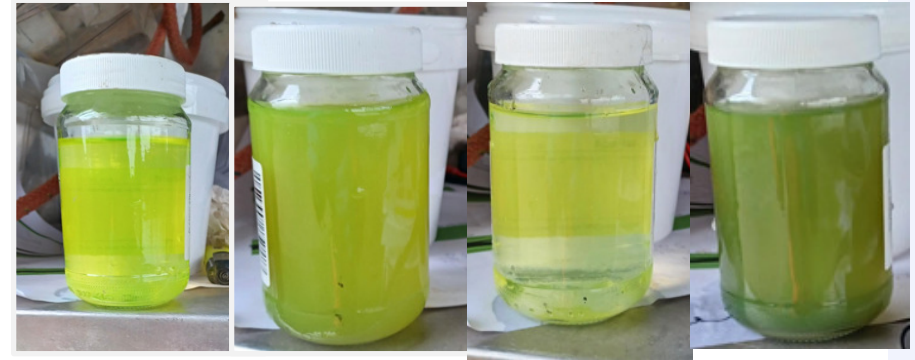


Sulfaat en nitraatrijk water uit WVP2 met de juiste “beestjes” aanwezig



Hoe is de pilot verlopen?

- Veldmetingen
- Tracers
- Analyse teeraromaten
- DNA
- Isotopen
- Intermediaren



Grondwater met fluoresceïne tracer



Wat was het resultaat van de pilot?

Hydraulisch effect

- ✓ Injectiewater bereikte het proefveld
- ✓ Fluoresceïne aangetoond in meerdere monitoringsfilters

Geochemisch effect

- ✓ Nitraat in de diepe lijn
- ✓ Tijdens verloop pilot bewijs voor nitraatverbruik

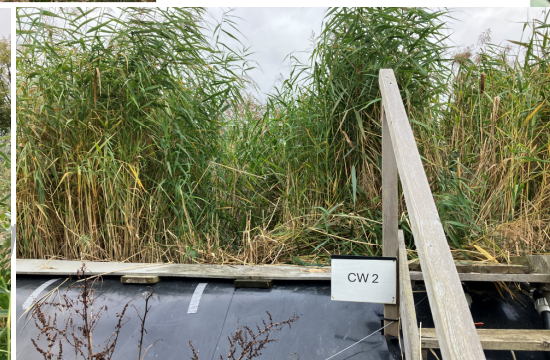
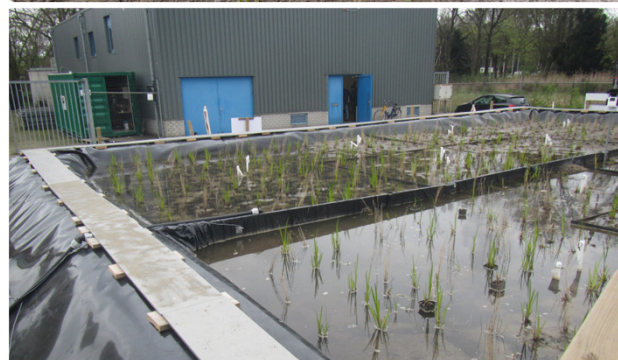
Effect op verontreiniging en afbraak

- ✓ Aanwijzingen voor gestimuleerde afbraak
- ✓ DNA en metabolieten ondersteunen biologische afbraak
- ✓ Controlelijn liet óók effect zien door sulfaatinbreng

Pilot levert proof of concept

Constructed wetlands: Waarom deze pilot?

- Constructed wetland pilot 3 = fallback scenario
- Indien nog grondwater moet worden onttrokken, kunnen we dat verontreinigd grondwater reinigen middels een Helofytenfilter+

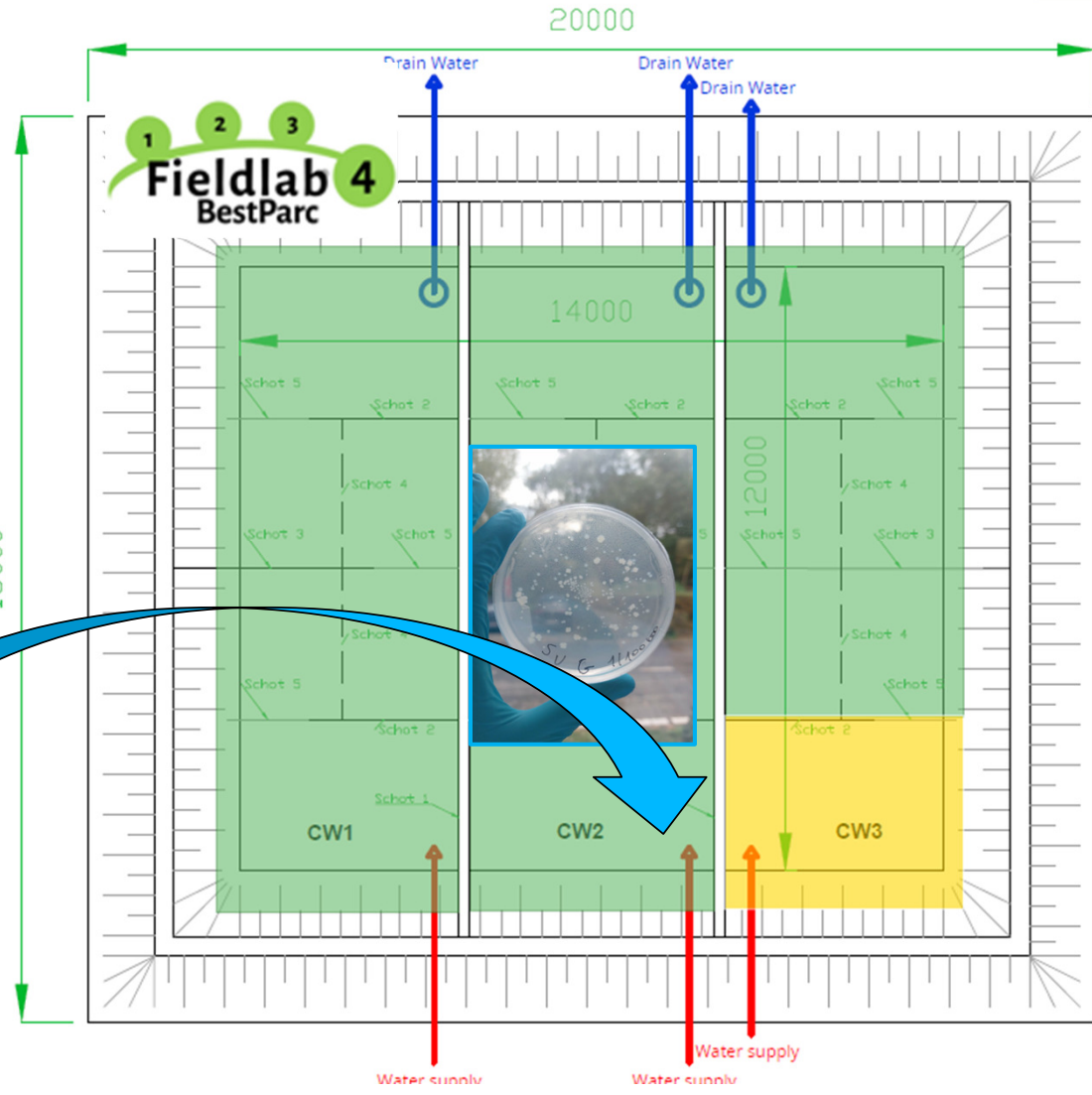
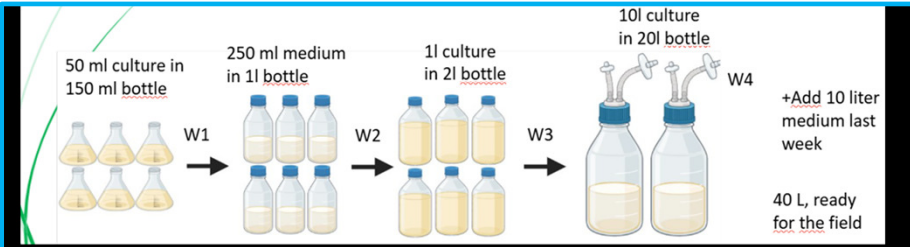


Inrichting wetland

Setup: 3 verschillende behandelingen

- CW1: controle / neg. referentie
- CW2: lucht toediening (microbellen)
- CW3: 3% actieve kool in matrix

CW2 bioaugmentatie



Hoe is de pilot verlopen?

Pilot = 18 maanden (door seizoensinvloeden)

Start Pilot	T=0.1	T=0	T=1	T=2	T=3	T=4	T=5	T=6	T=7	T=8
Sampling date	27/05/2024	12/08/2024	15/10/2024	17/12/2024	17/02/2025	15/04/2025	16/06/2025	13/08/2025	27/10/2025	16/12/2025
Operational information	Baseline measure									
Sample count	N=8	N=22	N=22	N=22	N=22	N=22	N=22	N=22	N=22	N=22

- Fosfaat
- Opgelost koolstof en totaal koolstof
- Chloride
- Nitriet / nitraat
- Sulfaat
- Opgelost ijzer
- Opgelost mangaan
- BTEX, fenolen, PAK, minerale olie
- pH
- Redox
- Temperatuur
- Zuurstof
- Neerslag
- Wind

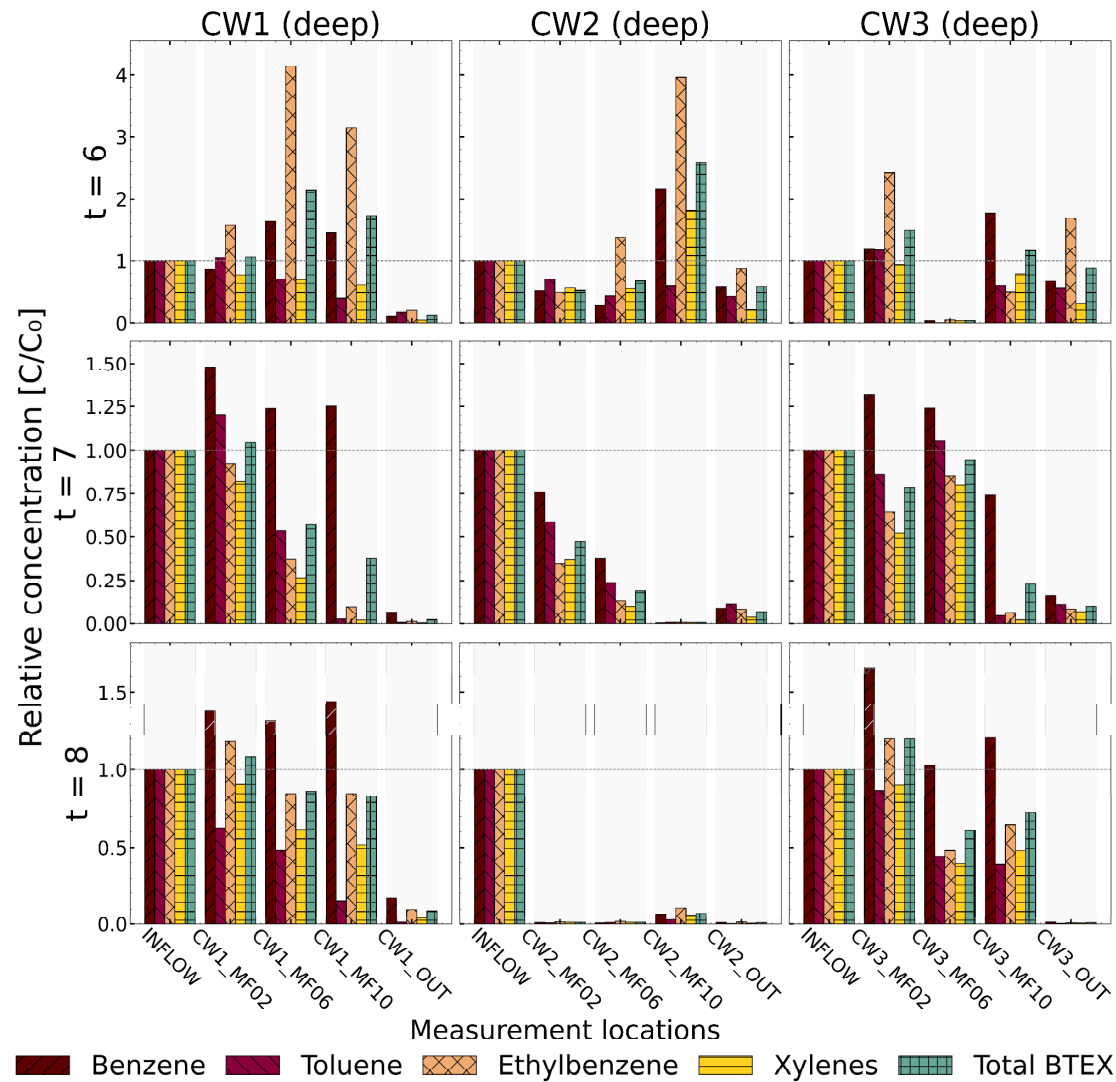


Universiteit
Utrecht



Wat was het resultaat van de pilot?

met O₂ werkt eigenlijk best goed



Wat betekent dit voor de toekomstige aanpak in het Griftpark? Eigen interpretatie

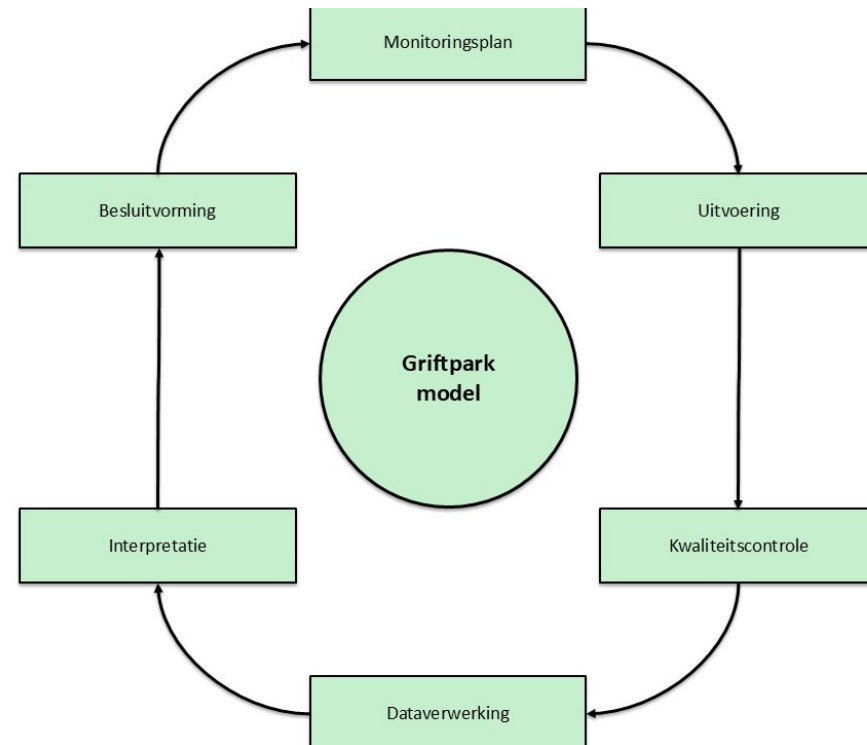
Alle drie technieken zijn technisch toepasbaar

Pilot	Voordeel	Nadeel
sulfaat	Lange nalevering Ook preventieve optie	Beperkte diameter (~1m) Veel injectiepunten
nitraat	Groot beïnvloedingsgebied Beperkte aantal bronnen	Vaker herhaling nodig Bacteriën nu niet in 1 ^e wvp aanwezig
Constructed wetlands	Hoge concentraties afbreekbaar Goed controleerbaar	Ruimtegebruik Continue beheer

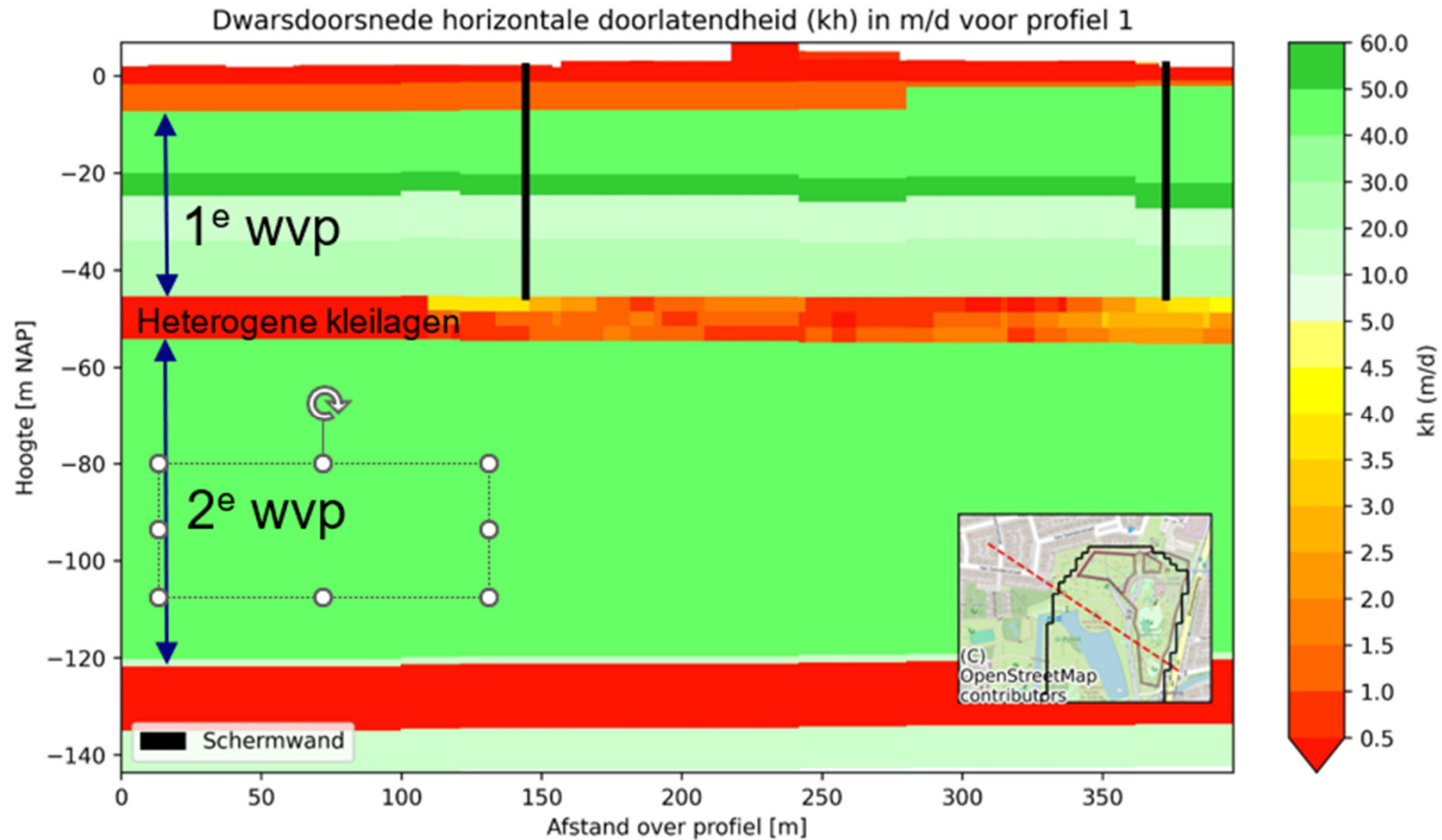
Vervolgaanpak middels modellering en beëindigen onttrekking

Wens gemeente: Stop de pompen!

Doel: modelleren en monitoren of dit kan met geen of minimale nazorg

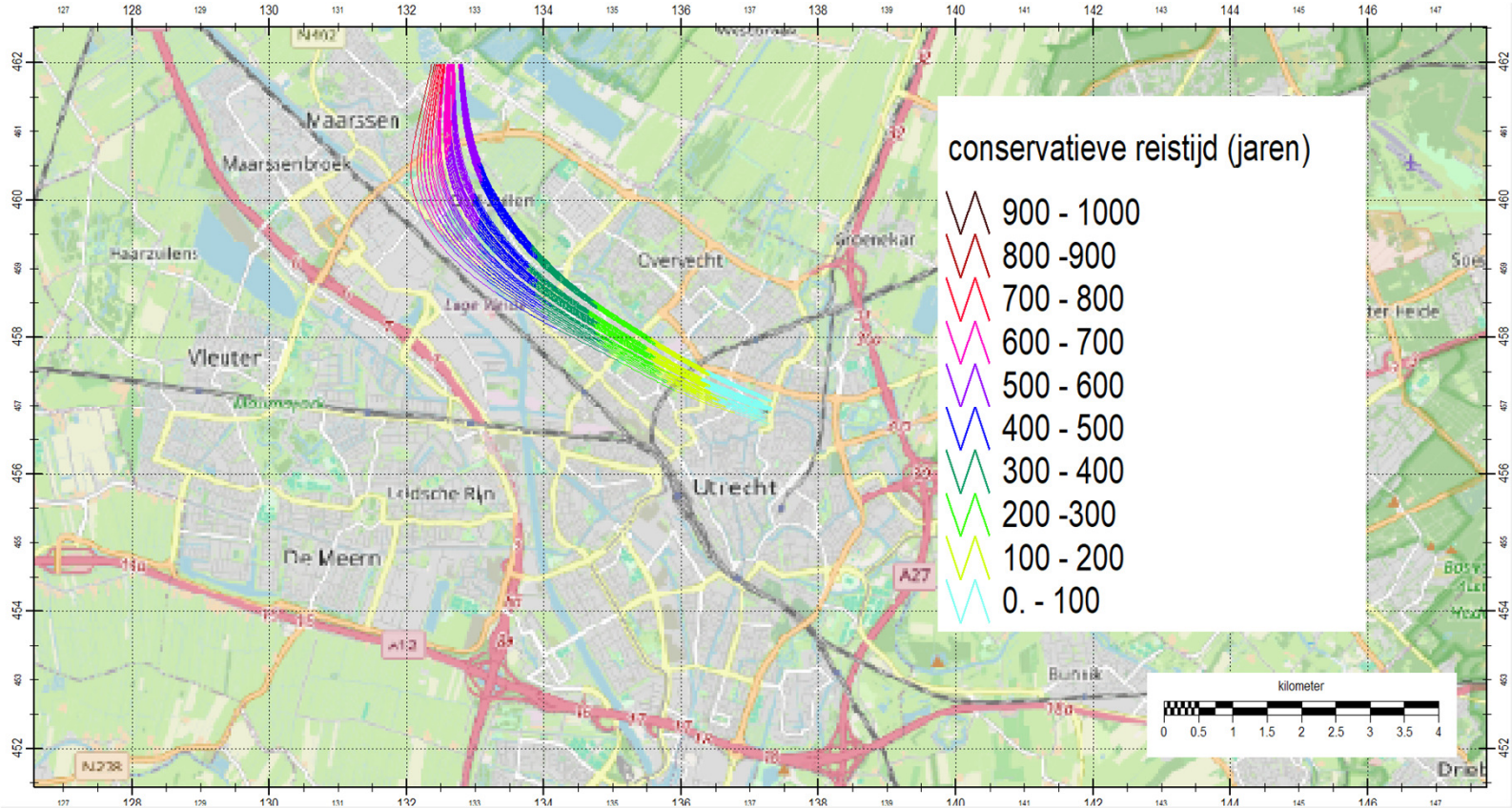


Geohydrologie: Bodemopbouw



Deltares

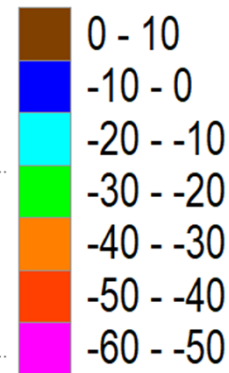
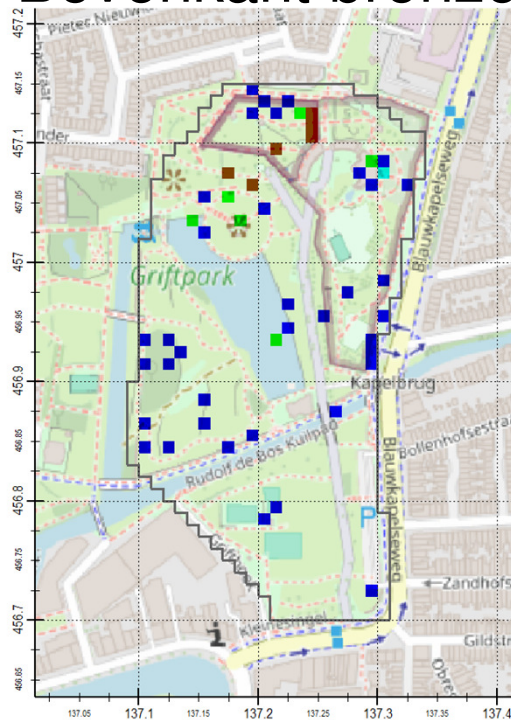
Geohydrologie: stroming in 2^e wvp



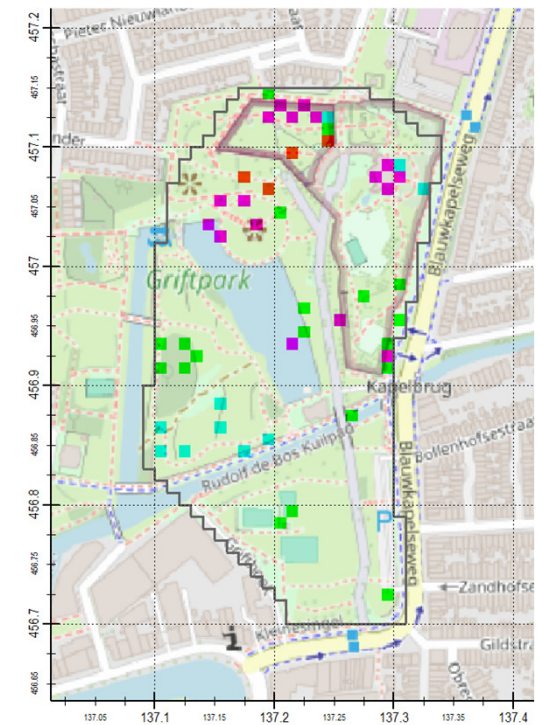
Verontreiniging: bronzone teer

Op basis van o.a. historisch onderzoek, peilbuizen, UVOST-sonderingen

Bovenkant bronzone

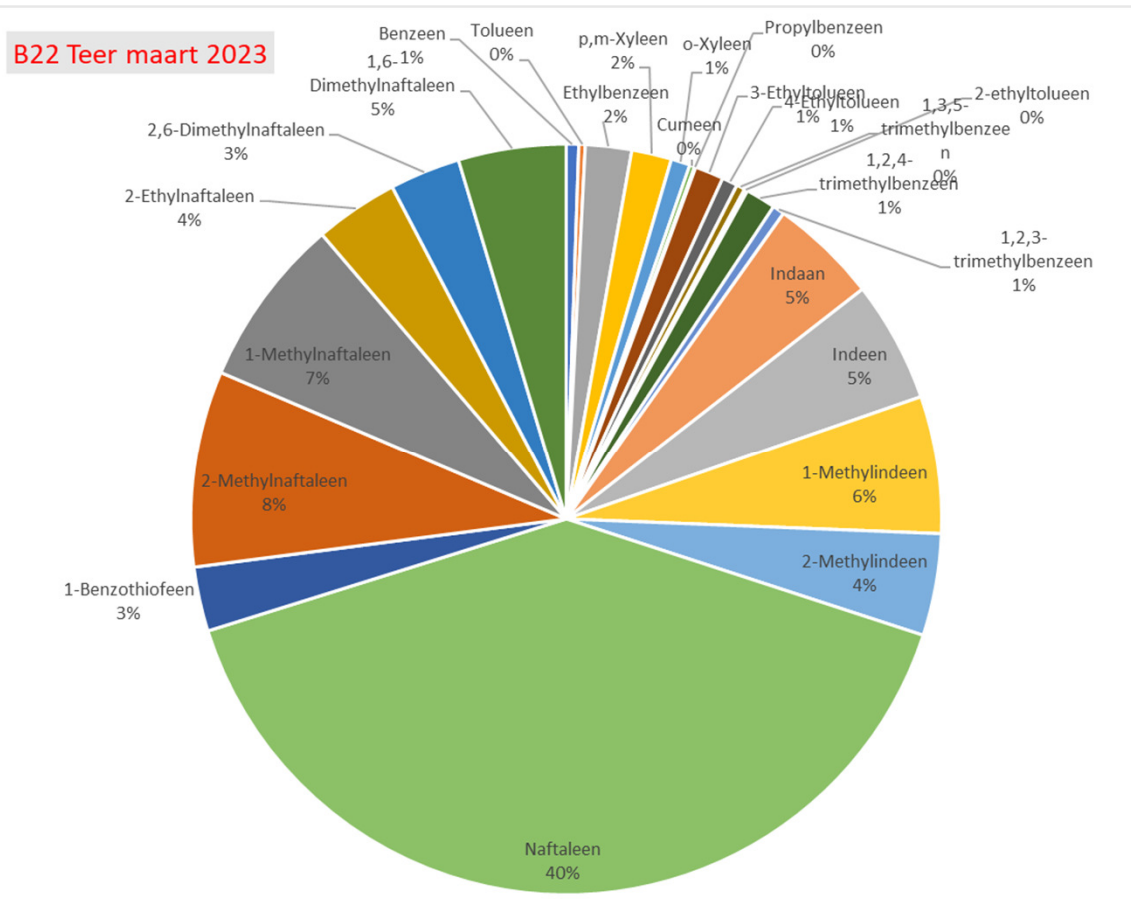


Onderkant bronzone



Verontreinigings situatie

- Samenstelling teer



Model

Keuze componenten:

> 2 % van totaal

opgeloste teercomponenten

+ trimethylbenzeen

→ 13 componenten

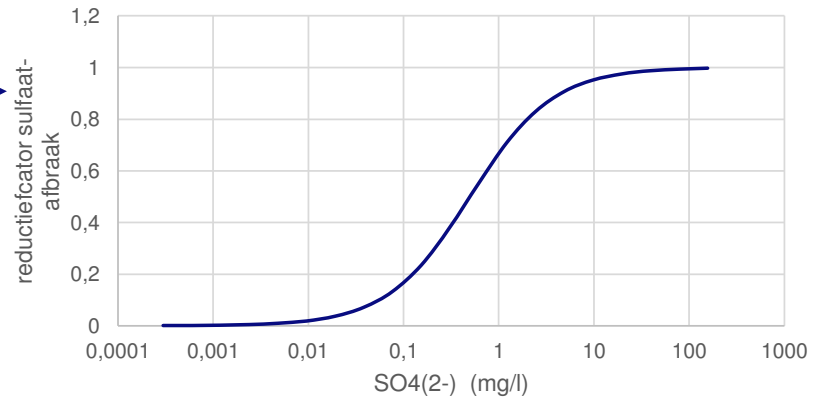
Reactief transportmodel in PHT3D

Afbraak met nitraat, ijzer, sulfaat en methanogenese met Michaelis-Menten kinetiek

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{dC_{i,NO_3^-}}{dt} + \frac{dC_{i,Fe^{3+}}}{dt} + \frac{dC_{i,SO_4^{2-}}}{dt} + \frac{dC_{i,CH_4}}{dt}$$

$$\frac{dC_{i,SO_4^{2-}}}{dt} = -k_{i,SO_4^{2-}} \cdot C_i \cdot \frac{C_{SO_4^{2-}}}{C_{SO_4^{2-}} + K_{SO_4^{2-}}} \cdot \frac{I_{NO_3^-}}{C_{NO_3^-} + I_{NO_3^-}} \cdot I_{pH}$$

effect sulfaatconcentratie op afbraaksnelheid



+ evenwichtschemie: bijvoorbeeld oplossen van calciëet, goethiet

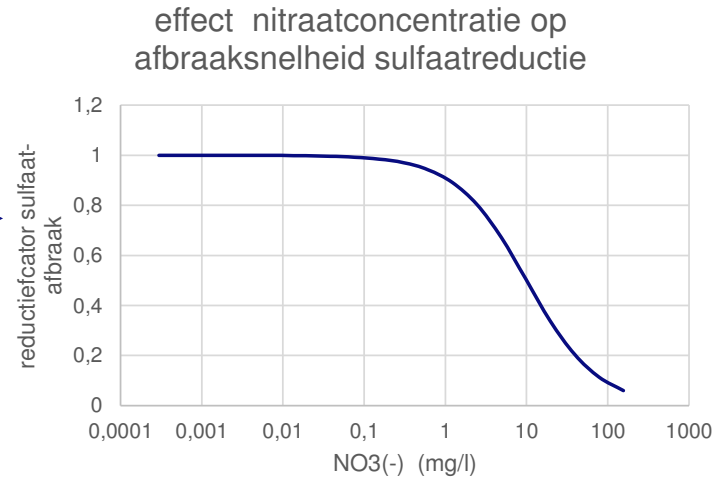
Aanname: geen afbraak in bronzones

Reactief transportmodel in PHT3D

Afbraak met nitraat, ijzer, sulfaat en methanogenese met Michaelis-Menten kinetiek

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{dC_{i,NO_3^-}}{dt} + \frac{dC_{i,Fe^{3+}}}{dt} + \frac{dC_{i,SO_4^{2-}}}{dt} + \frac{dC_{i,CH_4}}{dt}$$

$$\frac{dC_{i,SO_4^{2-}}}{dt} = -k_{i,SO_4^{2-}} \cdot C_i \cdot \frac{C_{SO_4^{2-}}}{C_{SO_4^{2-}} + K_{SO_4^{2-}}} \cdot \frac{I_{NO_3^-}}{C_{NO_3^-} + I_{NO_3^-}} \cdot I_{pH}$$



+ evenwichtschemie: bijvoorbeeld oplossen van calciëet, goethiet

Aanname: geen afbraak in bronzones

Reactief transportmodel in PHT3D

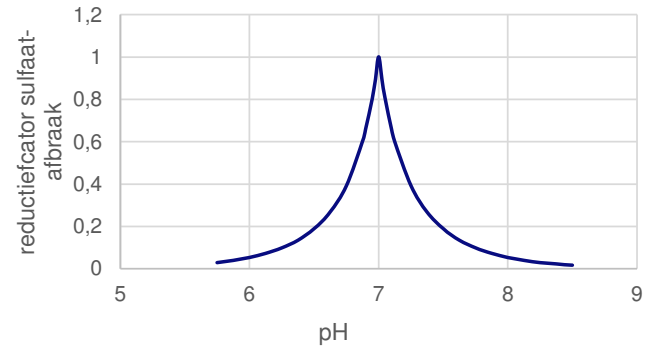
Afbraak met nitraat, ijzer, sulfaat en methanogenese met Michaelis-Menten kinetiek

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{dC_{i,NO_3^-}}{dt} + \frac{dC_{i,Fe^{3+}}}{dt} + \frac{dC_{i,SO_4^{2-}}}{dt} + \frac{dC_{i,CH_4}}{dt}$$

$$\frac{dC_{i,SO_4^{2-}}}{dt} = -k_{i,SO_4^{2-}} \cdot C_i \cdot \frac{C_{SO_4^{2-}}}{C_{SO_4^{2-}} + K_{SO_4^{2-}}} \cdot \frac{I_{NO_3^-}}{C_{NO_3^-} + I_{NO_3^-}} \cdot I_{pH}$$

$$I_{pH} = \frac{K_{pH}}{K_{pH} + 10^{|7.0 - pH| - 1.0}}$$

effect pH op afbraaksnelheid sulfaatreductie



Reactief transportmodel in PHT3D

Afbraak met nitraat, ijzer, sulfaat en methanogenese met Michaelis-Menten kinetiek

$$\frac{dC_i}{dt} = \frac{dC_{i,NO_3^-}}{dt} + \frac{dC_{i,Fe^{3+}}}{dt} + \frac{dC_{i,SO_4^{2-}}}{dt} + \frac{dC_{i,CH_4}}{dt}$$

$$\frac{dC_{i,SO_4^{2-}}}{dt} = -k_{i,SO_4^{2-}} \cdot C_i \cdot \frac{C_{SO_4^{2-}}}{C_{SO_4^{2-}} + K_{SO_4^{2-}}} \cdot \frac{I_{NO_3^-}}{C_{NO_3^-} + I_{NO_3^-}} \cdot I_{pH}$$

+ evenwichtschemie: bijvoorbeeld oplossen van calciëet, goethiet

Aanname: geen afbraak in bronzones

Deltares

Reactief transportmodel: afbraakconstanten

Op basis van:

1 lab-experimenten

2 stabiele situatie voor IBC (Tauw, 1999)

3 expert judgement

4 conservatieve aanname

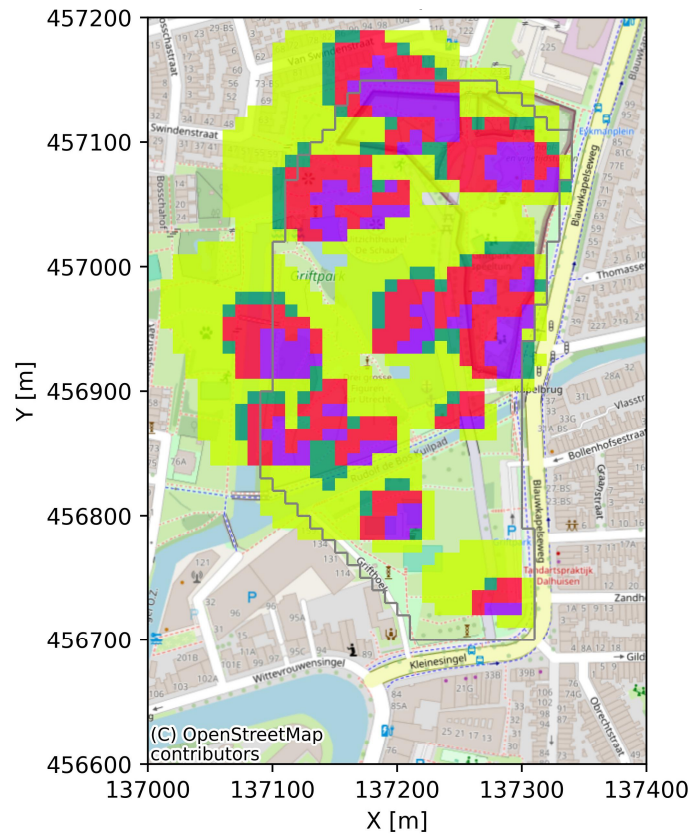
Component	Afbraakconstante k (1/dag)			
	Nitraat-reducerend	IJzer-reducerend	Sulfaat-reducerend	Methanogeen
Benzeen	0	0.006	0.006	0
Tolueen	0.000822	0.0037	0.0037	0
Ethylbenzeen	0.01484	0.0053	0.0053	0.000689
P/M Xyleen	0.00664	0.0051	0.0051	0.000638
o-xyleen	0.00145	0.005	0.005	0.000860
3-ethyltolueen	0.0115	0.0944	0.0944	0
Indaan	0.00215	0.0035	0.0035	0.00113
Indeen	0	0.0042	0.0042	0.00113
1-methylindeen	0	0.0042	0.0042	0.00113
2-methylindeen	0	0.0042	0.0042	0.00113
Naftaleen	0.00148	0.0032	0.0032	0.000544
Benzo[b]thiofeen	0	0	0	0
2-methylnaftaleen	0.00148	0.0032	0.0032	0.000544
1-methylnaftaleen	0.00148	0.0032	0.0032	0.000544
trimethylbenzeen	0	0	0	0

Modelscenario's

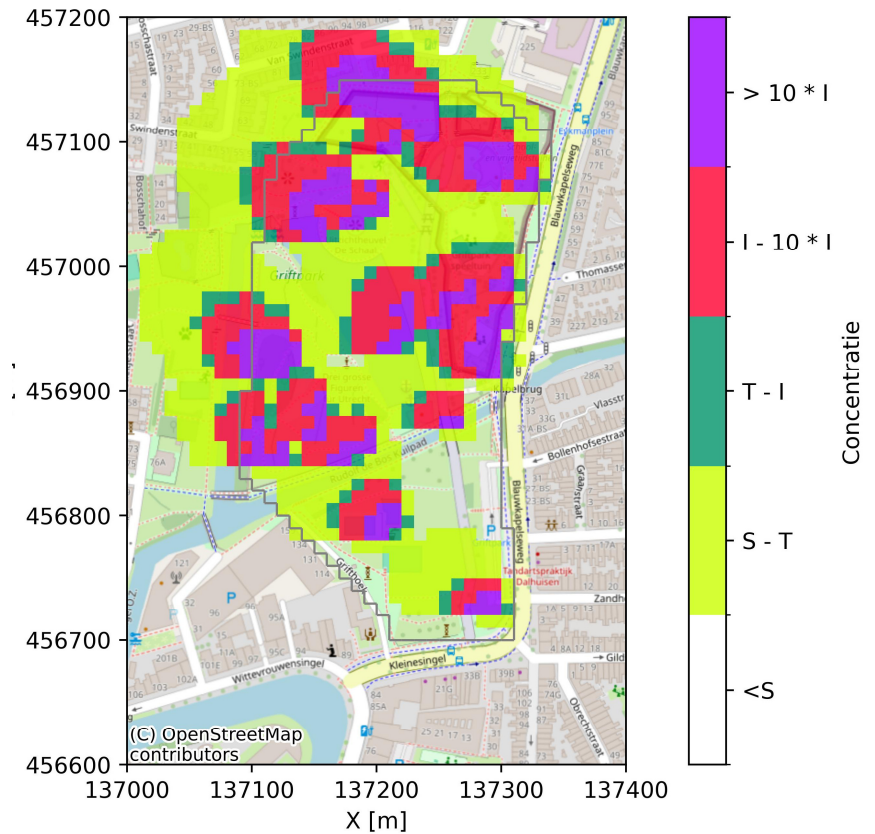
1. Basis scenario met best guess afbraak
2. Lage afbraak
3. Bronzone in het 2^e wvp
4. Fictief gat in kleilaag
5. Als basis scenario, zonder vast ijzer → uitputting van sulfaat

Basismodel, best guess afbraak: benzeen in 1^e wvp

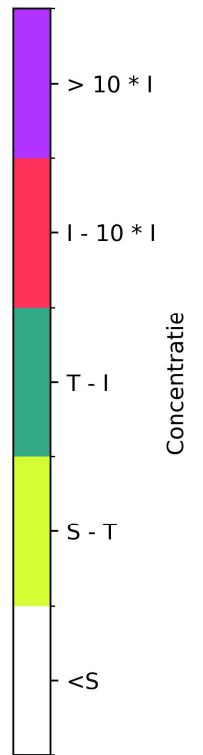
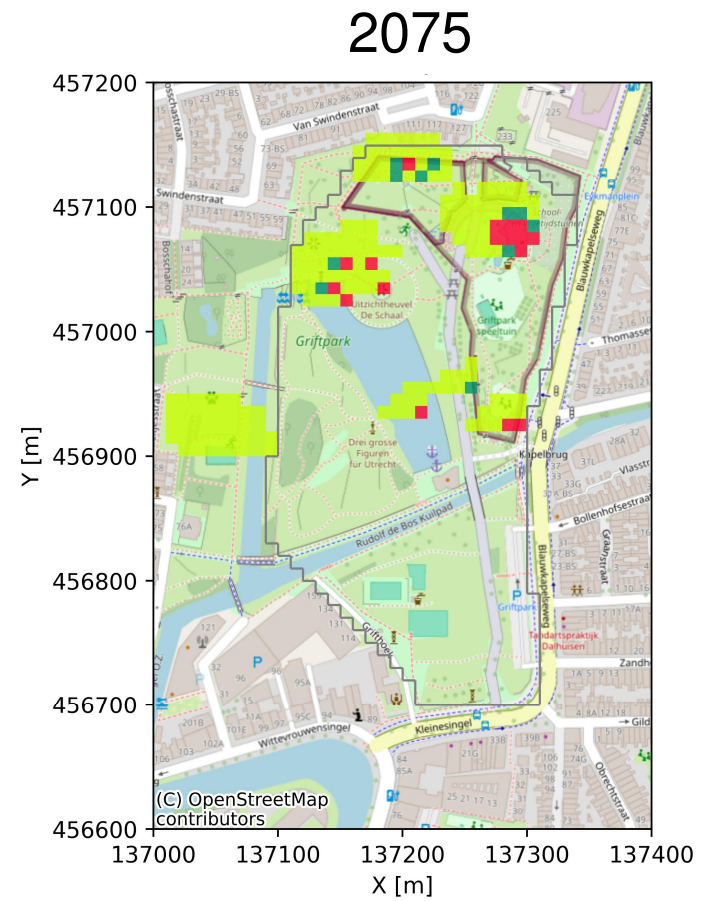
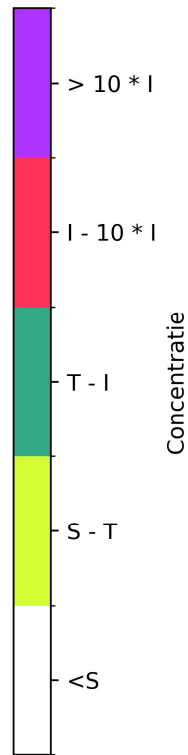
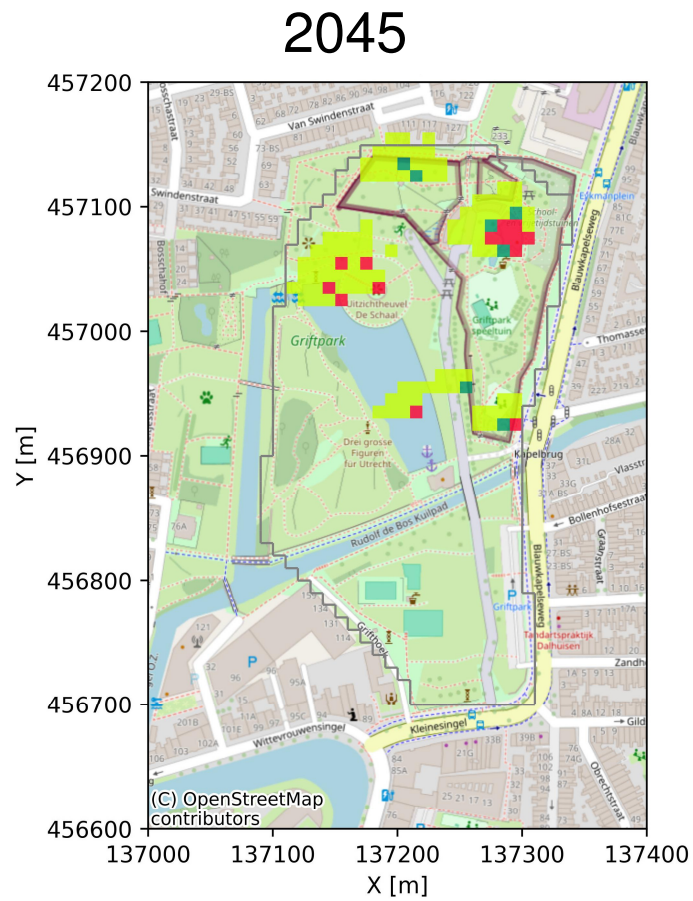
2045



2075

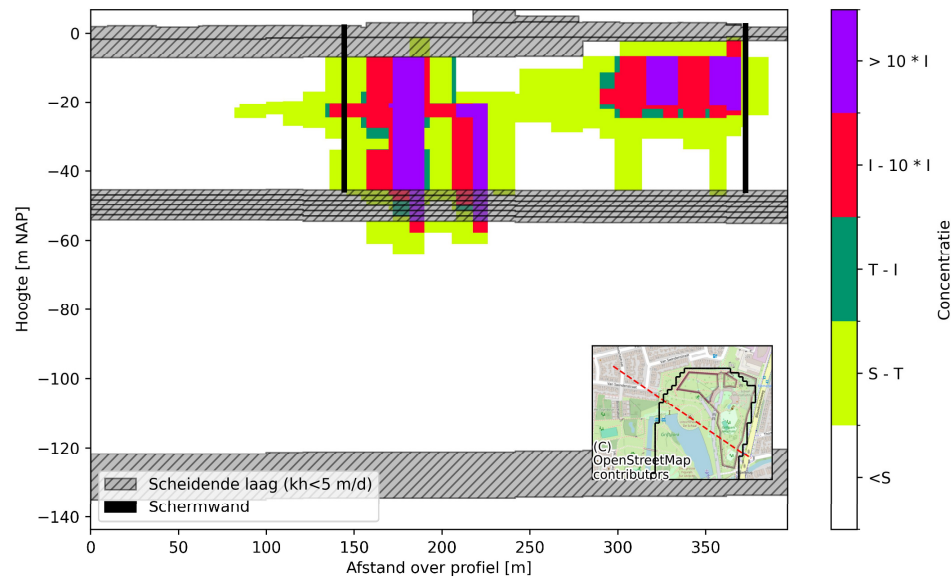


Basismodel, best guess afbraak: benzeen in 2^e wvp

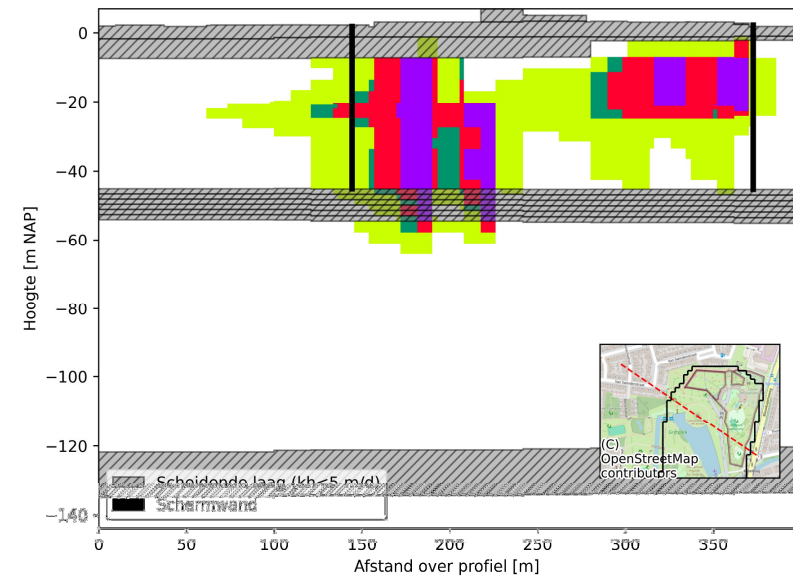


Basismodel: dwarsdoorsnede 1: benzeen

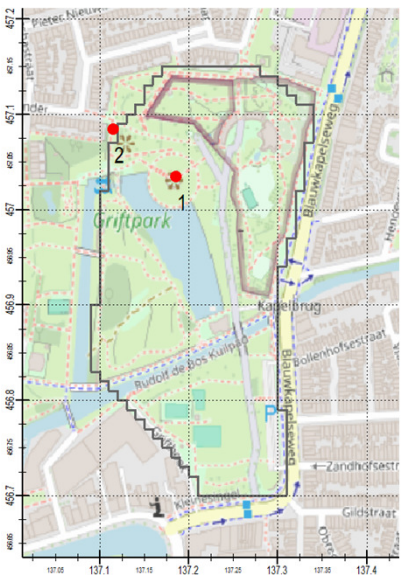
2045



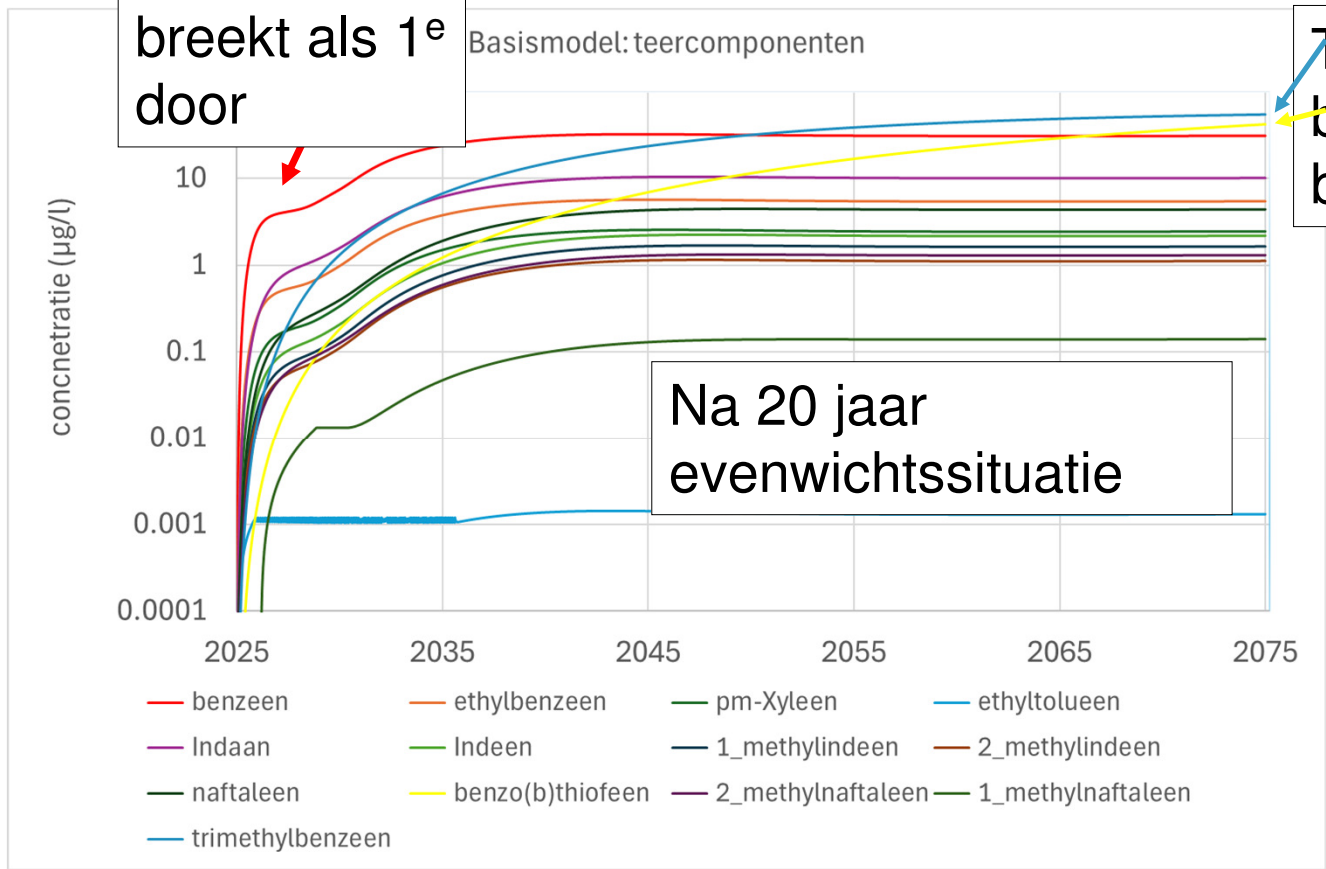
2075



Observatiepunt 1 (2^e wvp Accuberg)



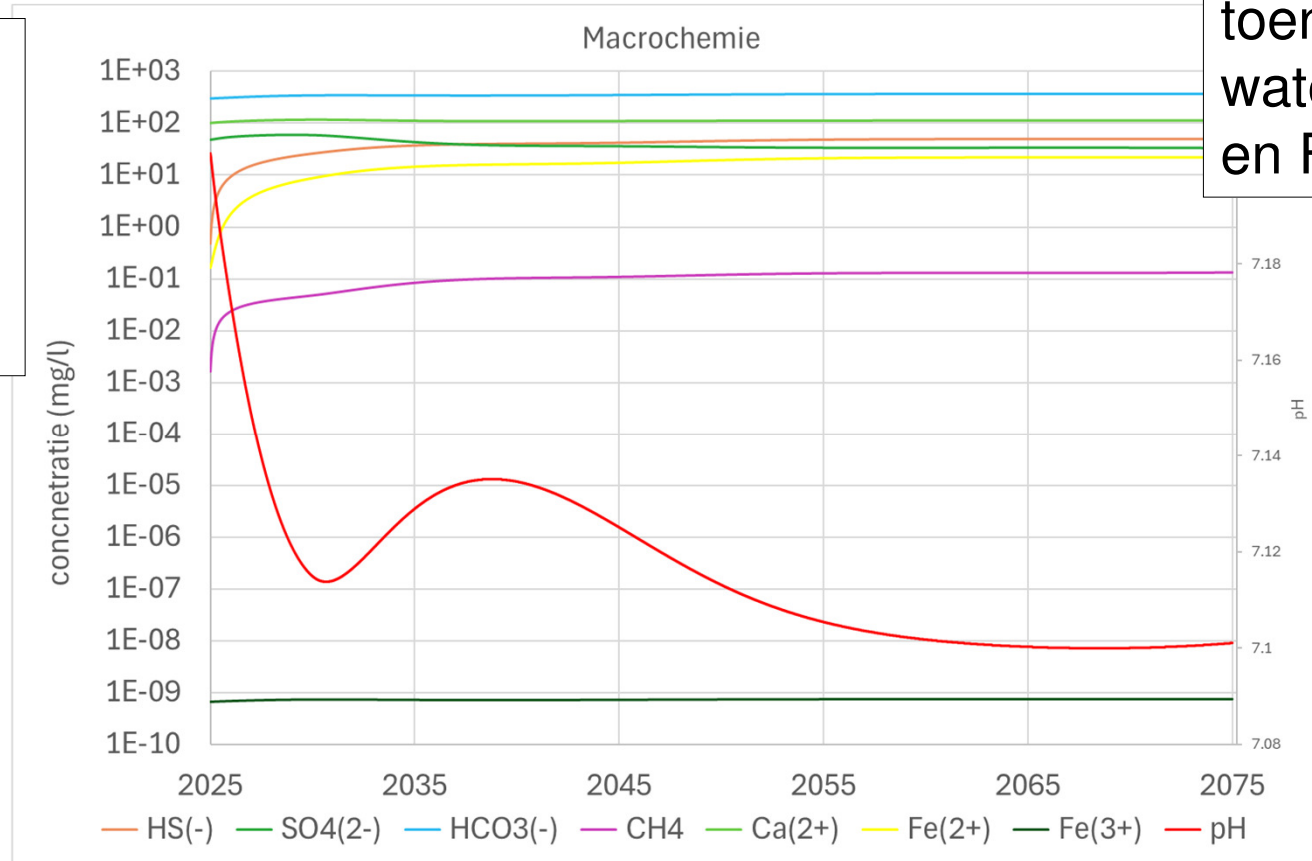
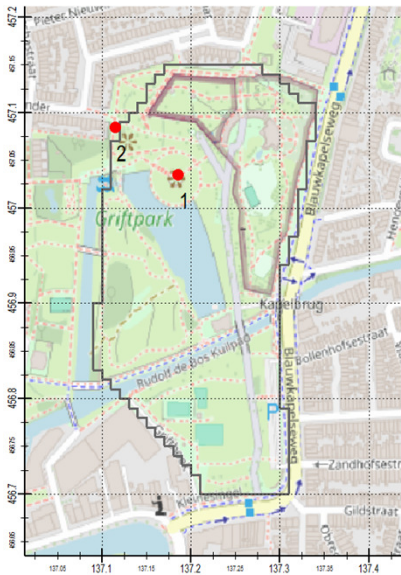
Benzeen breekt als 1^e door



Observatiepunt 1 (2^e wvp Accuberg)

pH tussen 7.2-7.1
→ afbraak vooral met sulfaat & in mindere mate met ijzer

afname sulfaat,
toename
waterstofsulfide
en Fe(2+)

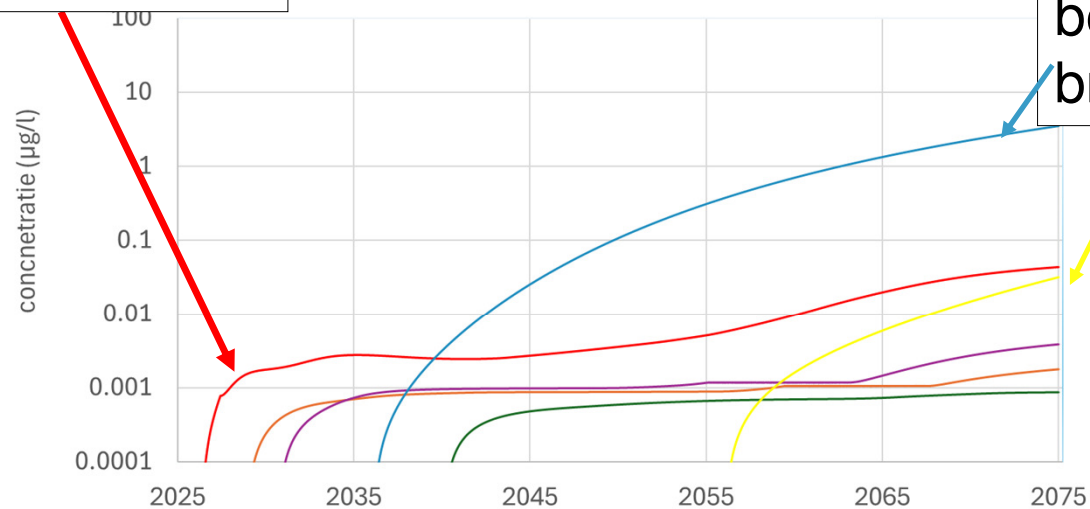


Observatiepunt 2 (bij schermwand)

Benzeen breekt als 1^e door

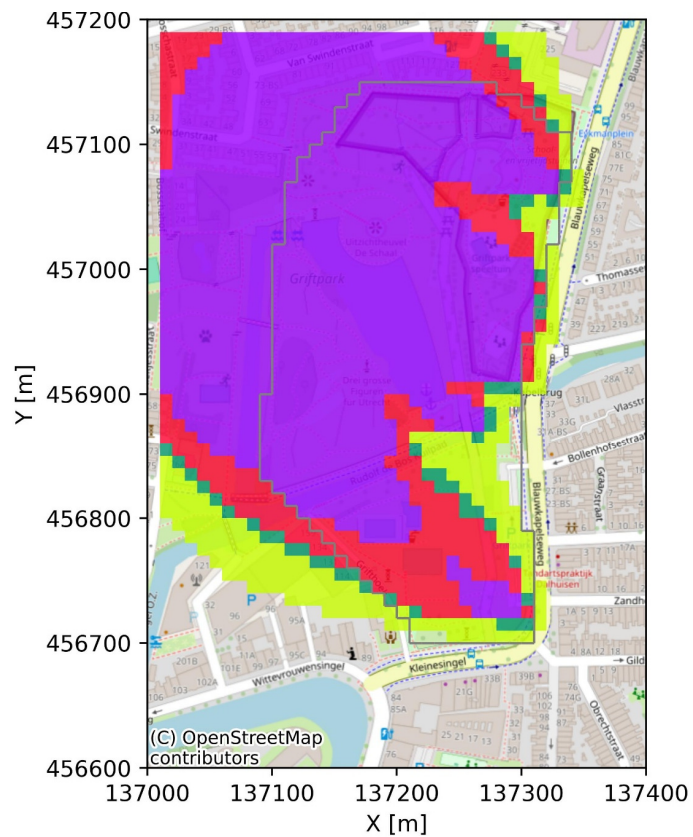
Trimethylbenzeen + benzo(b)thiofeen breken niet af

Basismodel: teercomponenten

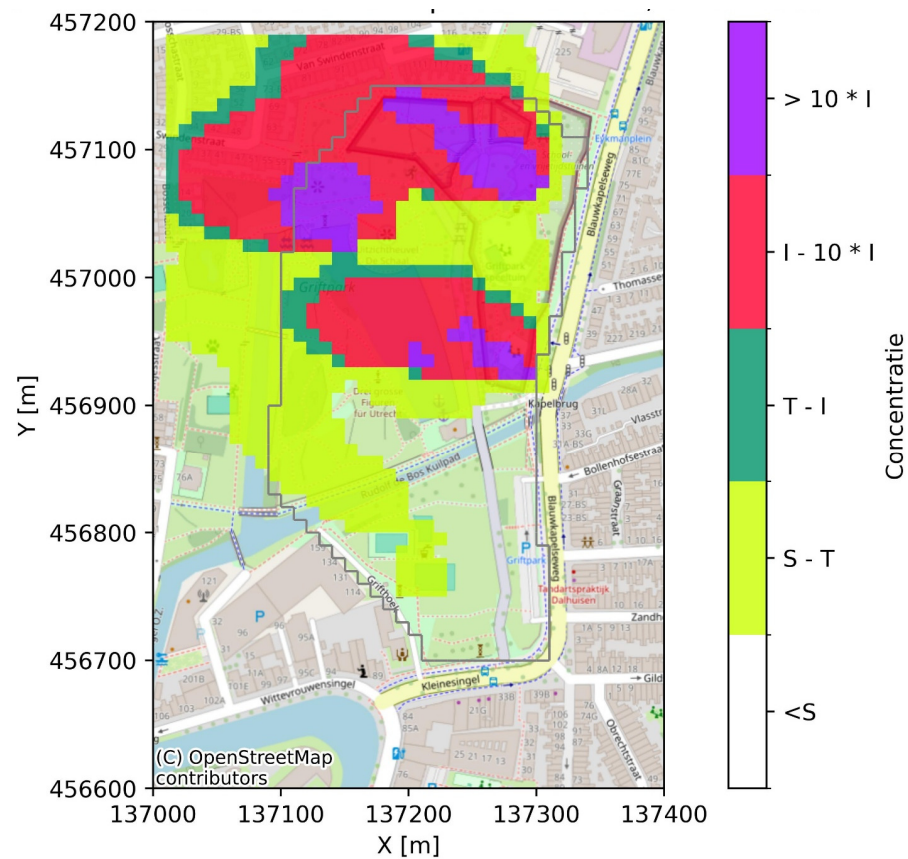


Scenario, lage afbraak: benzeen in 2045

1^e wvp

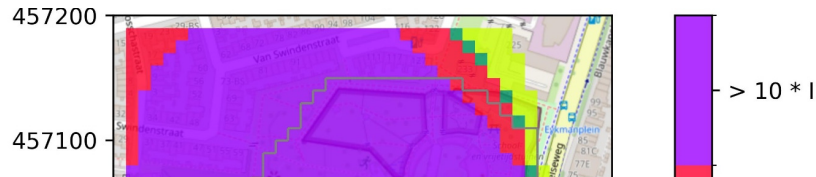


2^e wvp

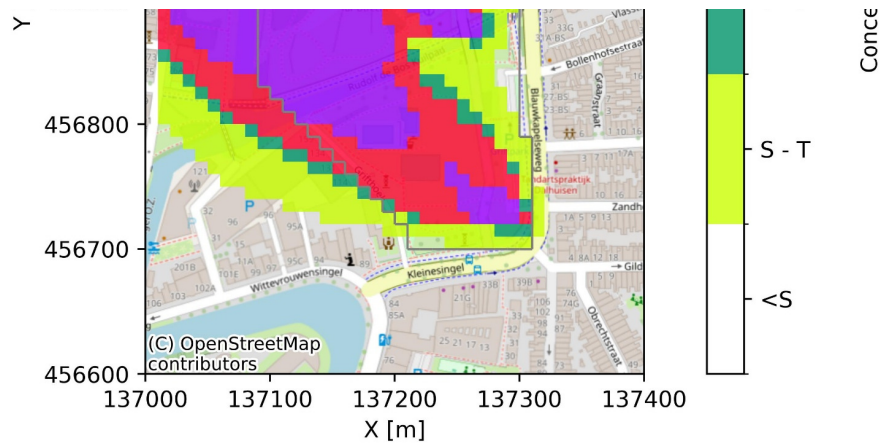


Scenario, lage afbraak: benzeen in 2045

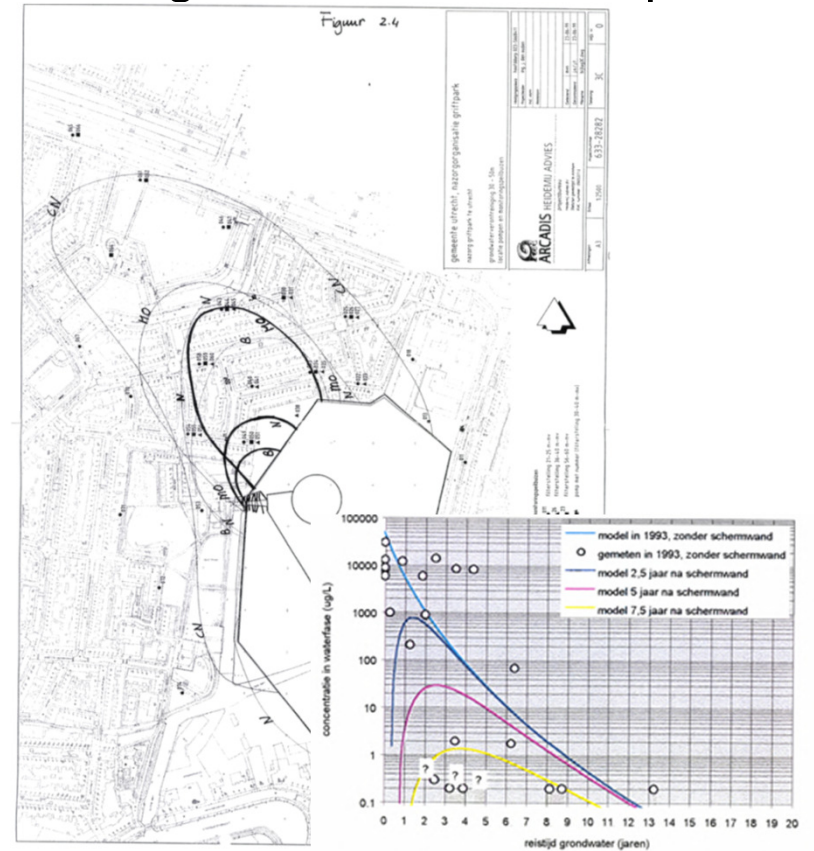
Model 1^e wvp 2045



Te pessimistisch



Metingen voor IBC 1^e wvp 1999



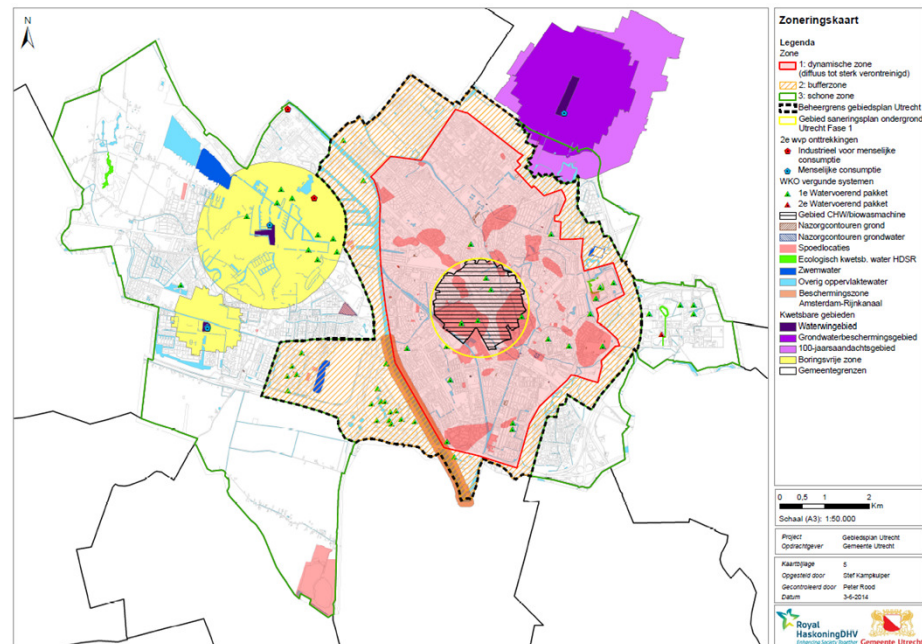
Beheers- en monitoringsstrategie

Aansluiting bij update gebiedsplan VOCL:

Insteek gemeente gebiedsplan: in ieder geval voldoen aan eisen EU-KRW/GWR

Dynamische en bufferzone huidige gebiedsplan

- Nu alleen 1^e wvp



Beheers- en monitoringsstrategie

KRW/GWR Kwetsbare functies:

- water dat is bestemd voor menselijke consumptie;
- de kwaliteit van oppervlaktewater;
- grondwaterafhankelijke natuur;
- **gebruiksfuncties die afhankelijk zijn van een goede grondwaterkwaliteit;**
- **de algemene kwaliteit van het grondwaterlichaam, bijvoorbeeld bij een geleidelijke verslechtering van de grondwaterkwaliteit.**

Beheers- en monitoringsstrategie

De algemene kwaliteit van het grondwaterlichaam, bijvoorbeeld bij een geleidelijke verslechtering van de grondwaterkwaliteit.

Art. 4 KRW Milieudoelstellingen grondwater(kwaliteit)	Schaalniveau	Verontreinigende stoffen	
1. Goede chemische toestand	Grondwaterlichaam	Omgevingswaarden waterkwaliteit (8x)	
2. Geen achteruitgang toestand		EU-kwaliteitsnormen (2x) Nitraat en nitrieten, Bestrijdingsmiddelen en afbraakproducten	Drempelwaarden NL (6x) Chloride, fosfaat, nikkel, cadmium, lood, arseen
3. Ombuigen trends	Elke locatie waar sprake is van een inbreng	Overige verontreinigende stoffen	
4. Voorkomen of beperken inbreng verontreinigende stoffen in het grondwater		Als gevaarlijke geduide verontreinigende stoffen (rekening houdend stofgroepen 1t/m 9 van bijlage VIII KRW)	

Beheers- en monitoringsstrategie

Voorkomen of beperken inbreng verontreinigende stoffen in het grondwater

De Grondwaterrichtlijn: drie uitzonderingsbepalingen voor historische verontreinigingen:

- inbreng afkomstig van diffuse bronnen hoeft alleen in aanmerking te worden genomen wanneer dit technisch mogelijk is;
- maatregelen kunnen achterwege blijven wanneer de inbreng plaatsvindt in een zodanig geringe concentratie of omvang dat onmiddellijk of toekomstig gevaar voor het grondwater kan worden uitgesloten;
- maatregelen kunnen achterwege blijven wanneer het voorkomen of beperken van inbreng alleen mogelijk is met onevenredig kostbare maatregelen om verontreiniging uit de bodem of ondergrond te verwijderen of insijpeling daarvan te beheersen.

Beheers- en monitoringsstrategie

Maatregelen kunnen achterwege blijven wanneer de inbreng plaatsvindt in een zodanig geringe concentratie of omvang dat onmiddellijk of toekomstig gevaar voor het grondwater kan worden uitgesloten

Griftpark:

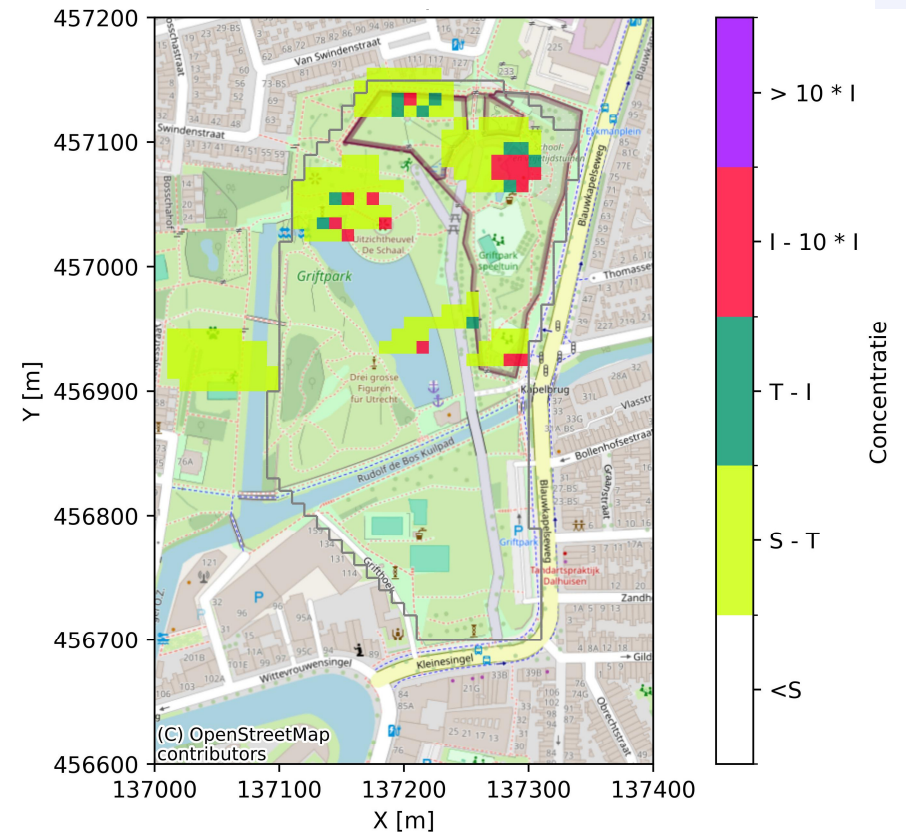
- Benzeen: stabiele eindsituatie in 2^e wvp →

Meeste andere teercomponenten geven vergelijkbaar beeld

Alleen Trimethylbenzeen en

Benzo(b)thiofeen breken in model niet af

En verspreiden boven signaleringswaarde van 0.1 µg/l



Beheers- en monitoringsstrategie

Trimethylbenzeen

- geen interventiewaarde
- drinkwaternorm 350 µg/l
- Indicatief niveau voor ernstige verontreinigingen (INEV) som-parameter aromatische oplosmiddelen (circulaire Bodemsanering, 2009) 150 µg/l

Maximale concentratie modelvoorspelling 2^e wvp: 55 µg/l

Benzo(b)thiofeen breekt in model niet af geen afbraakgegevens in literatuur

- geen interventiewaarde
- geen drinkwaternorm
- geen INEV

Maximale concentratie modelvoorspelling 2^e wvp: 42 µg/l

- Signaleringswaarde KRW/GWR 0.1 µg/l

Beheers- en monitoringsstrategie

Voorstel vanuit insteek gemeente

- Verspreiding naar 2^e wvp acceptabel, bij beperkte omvang pluim.
- De beperkte pluimomvang moet worden onderbouwd door monitoring (met gevalideerde modelvoorspellingen).
- Maximaal toelaatbare omvang wordt nu nog niet vastgesteld.
- Wel binnen de dynamische zone/bufferzone inclusief het 2^{de} wvp.
- Voor teercomponenten die niet of slecht afbreken moeten afspraken worden vastgelegd bij welke verspreiding/concentratie niet acceptabel is.

Monitoringsstrategie voorstel

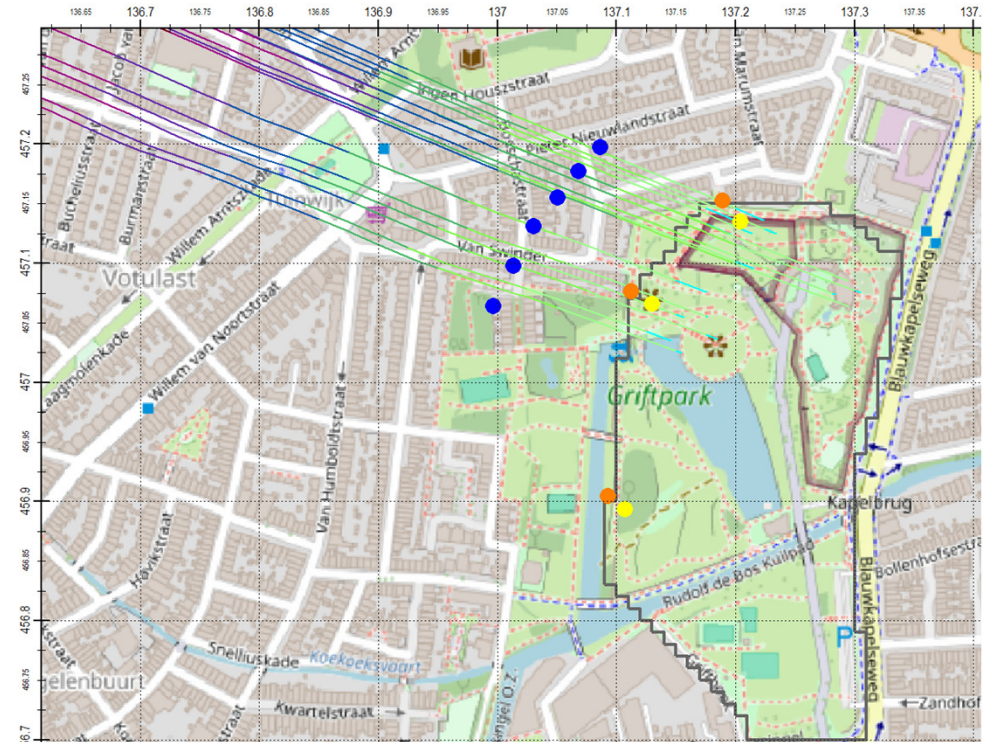
Geen compliance monitoring

Wel trend en proces monitoring

- Onzekerheid stromingsrichting
- Afbraaksnelheid

MLS peilbuizen

- filters in 1^e en 2^e wvp
- Aandachtspunt pure fase teer
- Nulmeting (redox, teercomp.)
- Eerst uitputting sulfaat, doorbraak benzeen, trimethylbenzeen
- Later meer teercomponenten, isotopen



Enkele gevoeligheden in PHT3D/PhreeqC

1 pH berekening uit ionenbalans

- Initiële concentraties macrochemie daarop aanpassen
- Gevoelig voor numerieke ruis (macro)chemie

2 Instroom bij recharge, oppervlaktewater geeft te veel numerieke oscillaties en heeft gelijk effect op pH

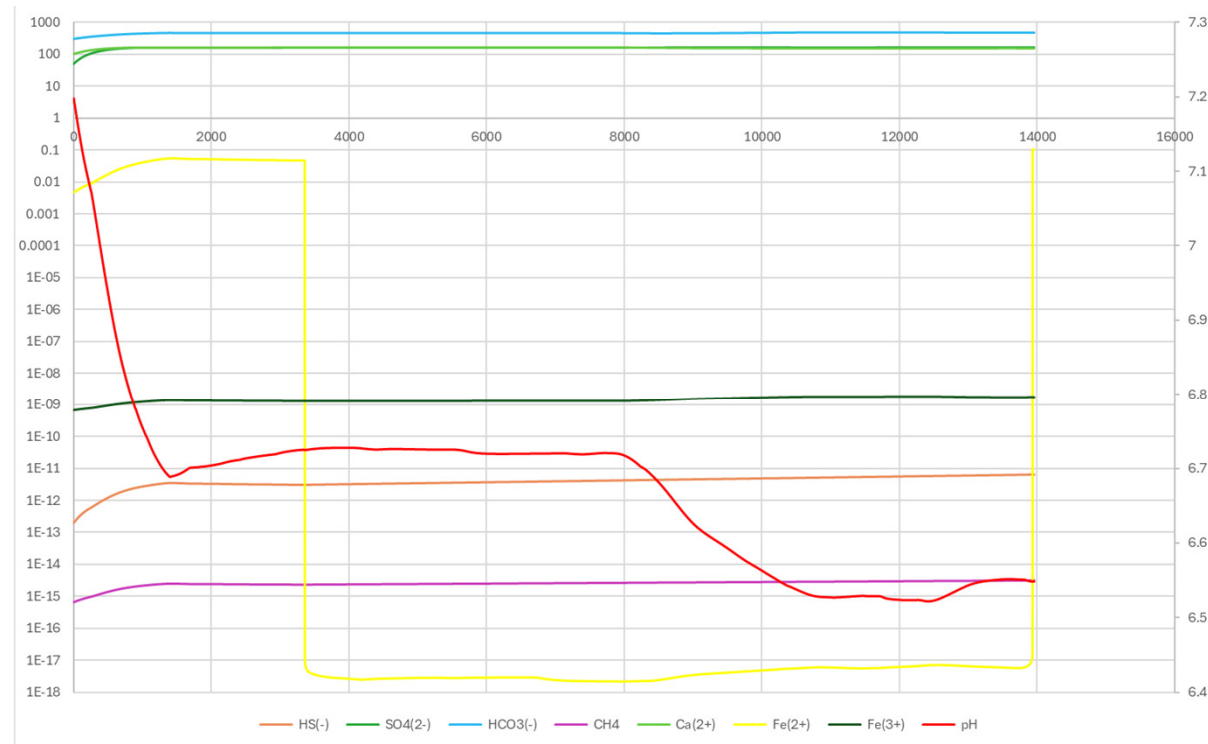
- Remedie: in modelcellen met instroom vaste concentratie opleggen (en niet aan instroomflux)

Enkele gevoeligheden in PHT3D/PhreeqC

- Benedenstrooms bronzone met vaste teerconcentraties gestage toename pH
- Geen evenwichtschemie in die cel met vaste teerconcentratie
- Remedie geen vaste teerconcentratie, maar kinetische vergelijking

Enkele gevoeligheden in PHT3D/Phreeqc

- Twee soorten vast ijzer: gekke resultaten



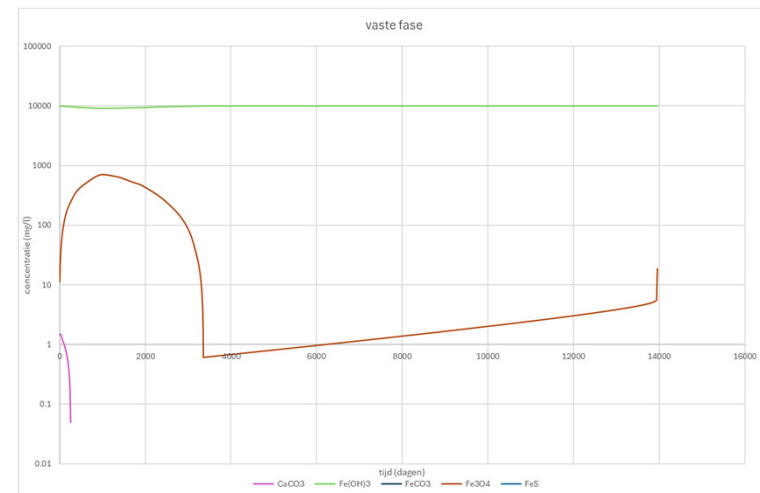
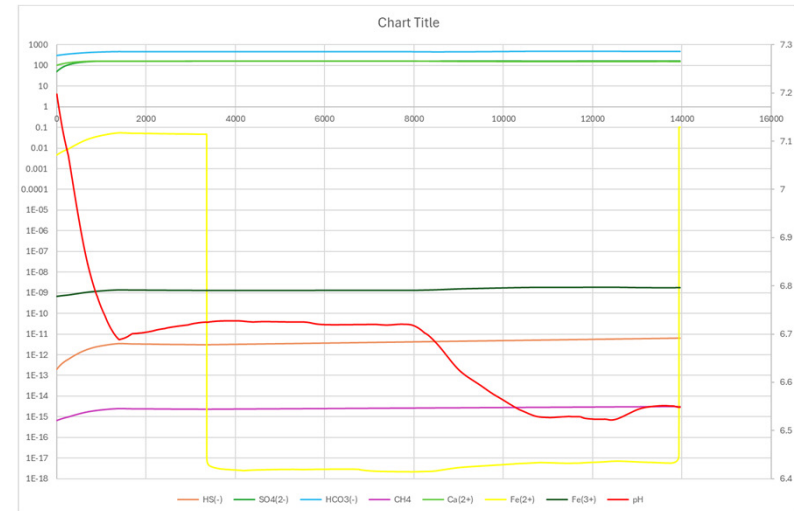
Enkele gevoeligheden in PHT3D/Phreeqc

- Twee soorten vast ijzer

Treedt op als 1 soort ijzer uitgeput raakt

Veel opties geprobeerd:
Maar Wet van Behoud van Ellende!

Remedie: modelleer maar
een soort vast ijzer



Conclusies

1. Uitzetten van beheersing Griftpark is kansrijk
2. Belangrijkste onzekerheden
 - Afbraaksnelheden
 - Uitputting sulfaat
 - Afbraak slecht afbreekbare teercomponenten als trimethylbenzeen en benzo(b)thiofeen
 - Bronzones
3. Monitoring wordt cruciaal

Dank voor uw aandacht



Deltares