

## Quickscan oppervlaktewatermonitoring Noordwaard

Beoordeling mogelijke effecten van toegepast TGG op de kwaliteit van oppervlaktewater in de Noordwaard



## **Quickscan oppervlaktewatermonitoring Noordwaard**

Beoordeling mogelijke effecten van toegepast TGG op de kwaliteit van oppervlaktewater in de Noordwaard

### **Auteur(s)**

Kees Wesdorp

Kim Gommans

Wouter van der Star

## Quickscan oppervlaktewatermonitoring Noordwaard

Beoordeling mogelijke effecten van toegepast TGG op de kwaliteit van oppervlaktewater in de Noordwaard

<b>Opdrachtgever</b>	Waterschap Rivierenland
<b>Contactpersoon</b>	de heer R. Gylstra
<b>Referenties</b>	5053949
<b>Trefwoorden</b>	Thermisch gereinigde grond, TGG, Noordwaard

### Documentgegevens

<b>Versie</b>	1.0
<b>Datum</b>	11-01-2024
<b>Projectnummer</b>	11208609-002
<b>Document ID</b>	11208609-002-BGS-0002
<b>Pagina's</b>	73
<b>Classificatie</b>	
<b>Status</b>	definitief

***Gebruik van deze tabel is voor de controle van de juiste uitvoering door Deltares van de opdracht. Ieder ander klantgebruik en externe verspreiding is niet toegestaan.***

<b>Doc. Versie</b>	<b>Auteur</b>	<b>Controle</b>	<b>Akkoord</b>
0.1	Kees Wesdorp Kim Gommans Wouter van der Star	Arjan Wijdeveld	
1.0	Kees Wesdorp Kim Gommans Wouter van der Star	Arjan Wijdeveld	Sophie Moinier

# Samenvatting

De Noordwaard is een gebied tussen de Nieuwe Merwede en de Biesbosch dat in 2015 is ontpolderd als onderdeel van het Ruimte voor de Rivier-project. De Noordwaard fungeert als doorstroomgebied voor rivierwater om de waterstand te verlagen en de veiligheid in omliggende gebieden te vergroten. Thermisch gereinigde grond (TGG) is toegepast om bestaande kades in het gebied te verhogen en versterken om zo te voorkomen dat deze onder water komen te staan. Het vertrouwen in thermisch gereinigde grond als milieukundig geschikte grond werd in 2016 geschaad nadat bleek dat op drie locaties (Westdijk in Bunschoten, de oevers van de Plas van Heenvliet en de Zeedijk bij Perkpolder), uitloging van verontreinigingen van het toegepaste TGG naar de omgeving is geconstateerd.

De doelstelling van dit rapport is om de risico's van uitloging van verontreinigingen van het toegepaste TGG in diverse locaties in de Noordwaard in beeld te brengen. De focus ligt in de huidige rapportage bij de invloed op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Worden er verontreinigingen aangetroffen die te relateren zijn aan de TGG? Is er een indicatie dat er een verband is tussen de verontreinigingen en TGG? Zo ja, wat zijn de mogelijke uitlogingsroutes en risico's? De onderzoeksvragen volgen zo goed als het kan de methodiek "bron-pad-object" om de bron, mechanismen, transportroutes en effecten van de bodemverontreinigingen in kaart te brengen en aan te geven waar kennis mist. Het onderzoek is uitgevoerd met behulp van oppervlaktewatermeetreeks van 2019-2023. Deze meetreeks bestaat uit meetpunten in binnendijkse teensloten direct grenzend aan dijken waar wel of geen (referentielocaties) thermisch gereinigde grond is toegepast.

Op basis van eerdere onderzoeken naar TGG is een signatuur vastgesteld van stoffen die gerelateerd zijn aan TGG en als indicatoren kunnen dienen voor uitloging van TGG in het gebied en welke ook zichtbaar kunnen zijn in het oppervlaktewatermetingen.

De aangemerkte TGG-signatuur voor oppervlaktewater omvat onder andere zware metalen (zoals arseen, antimoon, barium, en molybdeen), hoog pH en EC, kationen (natrium, kalium, calcium), anionen (bromide, chloride, sulfaat), en vluchtige organische stoffen (benzeen, toluene, fenantreen, beta-HCH en 1,2,4-trichloorbenzeen).

Uit de analyse van de oppervlaktewatermetingen blijkt dat op basis van de eerder genoemde signatuurstoffen in een effect van TGG zichtbaar is in het oppervlaktewater (en daarmee, vanwege de uitlogingspaden, zeer waarschijnlijk ook in het grondwater). Met name de aangetroffen verhoogde concentraties van zouten sulfaat, bromide en bromide-chlorideverhoudingen maken beïnvloeding van het oppervlaktewater door TGG waarschijnlijk. Voor enkele zware metalen (o.a. arseen, strontium, mangaan en magnesium) is er ook een correlatie tussen verhoogde concentraties en teensloten bij dijken met TGG gevonden.

Voor de set met stoffen gerelateerd aan TGG worden voor arseen en de zouten (bromide, chloride en sulfaat) bij enkele locaties naast dijken met TGG normen voor waterkwaliteit overschreden die niet worden overschreden in teensloten bij dijken zonder TGG. Met de huidige meetfrequentie is het echter lastig vast te stellen of het om enkele uitschieters gaat of om structurele normoverschrijdingen. Daarnaast is op basis van deze meetreeks het risico dat het gebruik van het oppervlaktewater als irrigatiewater tot effecten op de gewasgroei leidt gering. Aanbevolen wordt om ook de situatie in het grondwater en de bodem beter in beeld te brengen aan de hand van grondwatermonitoring en modellering, om zo een completere risico inschatting van de effecten van TGG te kunnen opzetten.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Aanleiding en doel onderzoek</b>	<b>7</b>
1.1	Inleiding, gebiedsontwikkeling Noordwaard	7
1.2	Aanleiding	8
1.3	Achtergrond: Thermisch reinigen van grond	8
1.3.1	Principe van de reinigingstechniek	8
1.3.2	Teerhoudend asfaltgranulaat (TAG)	9
1.4	Doel van het rapport	9
1.5	Opzet rapportage	10
<b>2</b>	<b>Toegepaste materialen in de Noordwaard</b>	<b>11</b>
2.1	Algemene eigenschappen van thermisch gereinigde grond	11
2.1.1	Toepassingsperiode	11
2.2	(Mee)reiniging van TAG	11
2.3	Productie bij ATM	12
2.3.1	Bromide	12
2.3.2	Sulfaat	12
2.3.3	Kationen en chloride	12
2.4	Samenstelling TGG en TAG	12
2.4.1	Typen TGG en andere materialen in Noordwaard.	15
2.4.1.1	TGG	15
2.4.1.2	TAG (ECO-zand)	16
2.4.1.3	E-bodemas	16
2.4.1.4	NT-grond	16
2.4.2	Toepassingslocaties	16
2.5	Uitlogingspaden TGG	18
<b>3</b>	<b>Gebiedsbeschrijving – Oud en nieuw</b>	<b>22</b>
3.1	Stoffen die in de omgeving zijn aangetroffen – historie	22
3.1.1	Dijken en kades	23
3.1.2	Grondwater	23
3.1.3	Oppervlaktewater	26
3.2	Grondwaterstroming en kwel	27
3.3	Peilbeheer	27
<b>4</b>	<b>Analyse TGG oppervlaktewater</b>	<b>31</b>
4.1	Interpretatie oppervlaktewatermonitoringsgegevens	31
4.1.1	Locatie TGG t.o.v Meetlocaties	32
4.2	Analyse van de TGG indicatorstoffen	35
4.2.1	Zuurgraad (pH)	36

4.2.2	Zouten	37
4.2.2.1	Bromide – chloride verhouding	39
4.2.3	Zware metalen	41
4.2.4	PAKs & organochloren	44
4.2.5	PFAS	44
4.3	Is effect van TGG op de kwaliteit van het oppervlaktewater zichtbaar?	47
4.3.1.1	Andere stoffen met een relatie tot TGG	48
<b>5</b>	<b>Discussie &amp; Risicoanalyse</b>	<b>52</b>
5.1	Analyse van risico's voor oppervlaktewater	52
5.1.1.1	Waterecosysteem	52
5.1.1.2	Schade aan gewas bij gebruik van brak of zout irrigatiewater	53
5.2	Effecten voor grondwater	54
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>55</b>
6.1	Conclusies	55
6.2	Aanbevelingen	55
6.2.1	Maatregelen milieuchemisch	55
<b>7</b>	<b>Referenties</b>	<b>57</b>
	<b>Bijlagen</b>	<b>59</b>
<b>A</b>	<b>Samenstellingsonderzoek naar samenstelling van TGG.</b>	<b>60</b>
<b>B</b>	<b>De ontwikkeling van de ontpoldering van Noordwaard (bron: Topotijdreis)</b>	<b>62</b>
<b>C</b>	<b>Stoffenlijst</b>	<b>63</b>
<b>D</b>	<b>Grondstromenoverzicht Noordwaard</b>	<b>68</b>
<b>E</b>	<b>Bodemopbouw Noordwaard</b>	<b>70</b>
<b>F</b>	<b>Stoffen in grondwater 2009, 2010</b>	<b>71</b>
<b>G</b>	<b>Overzicht parameters hoger dan de norm gemeten in Noordwaard</b>	<b>72</b>

# 1 Aanleiding en doel onderzoek

## 1.1 Inleiding, gebiedsontwikkeling Noordwaard

De Noordwaard is een gebied dat ligt tussen de Nieuwe Merwede in het noorden en de Biesbosch in het zuiden. Een deel van het gebied is in 2015 ontpolderd in het kader van het project Ruimte voor de Rivier. Het functioneert nu als doorstroomgebied van het rivierwater via de Biesbosch naar de Haringvlietsluizen bij hoogwater. Hierbij kunnen hoge afvoeren van de Nieuwe Merwede worden opgevangen en sneller worden afgevoerd naar de zee. Het doel is de waterstand met 30 centimeter te verlagen bij Gorinchem en 60 centimeter bij de instroomopening in Werkendam. Daarmee neemt met name de veiligheid in Gorinchem toe. Het doorstroomgebied wordt actief bij een waterstand van 2 m NAP en kwam zo in 2021 voor het eerst in gebruik. Ook recent<sup>1</sup>, in november 2023, is het gebied gebruikt als overloopgebied voor de Merwede.

De Noordwaard is ontpolderd door de dijken aan de rivierzijde gedeeltelijk af te graven en de dijkkring te verkleinen. Het huidige gebied bestaat uit ruim 3000 hectare aan waterplassen, slikken, moerassen en zomerpolders (Figuur 1.1).



Figuur 1.1. Kaart van de Biesbosch (links) en de Noordwaard (rechts), na de ontpoldering in 2015. Bron: waterschaprivierenland.nl

<sup>1</sup> RTV Papendrecht, bezocht op 1-12-2023: "Drie keer hoogwater in twee dagen in de Biesbosch, dat is heel bijzonder!" <https://www.rtvpapendrecht.nl/2023/11/25/boswachter-harm-geniet-drie-keer-hoogwater-in-twee-dagen-in-de/>

De nieuwe functie als doorstroomgebied betekende dat bestaande kades moesten worden verhoogd en versterkt, om te voorkomen dat deze onder water zouden komen staan. De ontwikkeling van deze ontpoldering van Noordwaard door de tijd heen is weergegeven in bijlage B. Ter versterking van diverse kades, dijken en onder wegen in het gebied is tijdens de aanleg Thermisch Gereinigde Grond (TGG) toegepast. Dat is uitsluitend gebeurd bij kades die geen particulier eigendom waren en die geen woonbestemming hadden. De TGG is afgedekt met een laag klei, de toplaag, van minstens 50 centimeter die, onder andere, voorkomt dat er uitloging van verontreinigingen vanuit de TGG plaatsvindt. Deze klei is vrijgekomen tijdens de realisatie van het natuurgebied. De toplaag is voorzien van een graszode en op verschillende locaties ook voorzien van menggranulaat (gebroken puin) dat fungeert als voetpad.

## 1.2 Aanleiding

Sinds recente toepassingen op diverse plekken in Nederland zijn vragen ontstaan over de effecten van -in deze periode- toegepaste TGG op de omgeving door uitloging vanuit TGG naar bodem, grond- en oppervlaktewater. Het vertrouwen in thermisch gereinigde grond als milieukundig geschikte grond werd in 2016 geschaad nadat bleek dat de kwaliteit op drie locaties (Westdijk in Bunschoten, de oevers van de Plas van Heenvliet en de Zeedijk bij Perkpolder), onder andere door bijmenging van diverse stoffen, niet altijd voldeed aan de samenstellingsnormen en emissietoetswaarden die gesteld worden vanuit het Besluit Bodemkwaliteit.

## 1.3 Achtergrond: Thermisch reinigen van grond

Verontreinigde grond kan gereinigd worden door behandeling bij een hoge temperatuur. Vluchtige stoffen dampen daarbij uit en worden verbrand. Wat over blijft is thermisch gereinigde grond (TGG), dat als grond in ophoogmateriaal bij civiele werken mag worden toegepast.

De thermische reiniging is geschikt voor reiniging van alle organische verontreinigende stoffen, evenals enkele anorganische stoffen zoals cyaniden, kwik en kwikverbindingen. De reiniging is in staat vastgestelde eindconcentraties te bereiken onafhankelijk van de ingangconcentraties. Door de verhitting veranderen de fysische eigenschappen t.o.v. het oorspronkelijke materiaal wel en wordt vrijwel al het organisch materiaal verwijderd. Daardoor is het bij voorbeeld het watervasthoudend vermogen anders en is het materiaal niet toe te passen als landbouwgrond.

Andere bodemeigenschappen veranderen niet of in veel mindere mate: de meeste zware metalen (met uitzondering van kwik) worden door verhitting bijvoorbeeld niet verwijderd. De variatie in deze stoffen verschilt -net als bij niet gereinigde grond- van partij tot partij. Doordat er tijdens het reinigingsproces bij veel reinigers bijmenging plaatsvindt met andere materialen, zoals Teerhoudend Asphaltgranulaat) heeft TGG specifieke milieukundige/geochemische eigenschappen die normaal gesproken niet aan grond worden toegeschreven.

### 1.3.1 Principe van de reinigingstechniek<sup>2</sup>

De werking van thermische grondreiniging berust op de verwijdering van water in de drogersectie van de installatie en vervolgens van de verontreinigende stoffen vanaf/vanuit de bodembestanddelen in de verdampingssectie.

---

<sup>2</sup> Overgenomen van <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d2-thermische-reiniging/factsheet-thermische-reiniging-grond>.



De organische verontreinigende stoffen worden via de gasfase verwijderd uit de grond en vervolgens op hoge temperatuur volledig verbrand tot de atmosferische componenten koolzuur en water en sporen van overige componenten. De verontreinigende stoffen in deze verbrandingsgassen worden verwijderd in een rookgasreiniger, evenals het nog aanwezige stof. De gereinigde verwarmde grond wordt gekoeld en bevochtigd en is na eindcontrole gereed voor hergebruik in een nuttige toepassing.

### 1.3.2 Teerhoudend asfaltgranulaat (TAG)<sup>3</sup>

Asfaltgranulaat wordt verkregen door het breken van asfaltpuin (verkregen bij de sloop van bitumineuze verhardingen) of door het frezen van bitumineuze wegverhardingen of dijkbekledingen. Indien asfaltgranulaat meer dan 75 mg/kg PAK-10 (VROM)<sup>4</sup> bevat is er, op grond van Besluit bodemkwaliteit (Bbk)<sup>5</sup> sprake van teerhoudend asfaltgranulaat (TAG). Teerhoudend- asfaltgranulaat mag sinds 2001 niet meer worden toegepast en volgens het Besluit Bodemkwaliteit ook niet worden hergebruikt, waardoor thermische reiniging noodzakelijk is. TAG wordt vaak gemengd met vervuilde grond en gezamenlijk gereinigd. De geproduceerde Thermisch Gereinigde Grond is dus een mengsel van thermisch gereinigde grond en thermisch gereinigd TAG.

## 1.4 Doel van het rapport

Het huidige project focust zich op de TGG die is toegepast in de Noordwaard. De doelstelling van het rapport is om de risico's van uitloging van verontreinigingen van het toegepaste TGG in diverse locaties in de Noordwaard in beeld te brengen. De focus ligt in de huidige rapportage bij de invloed op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Worden er verontreinigingen aangetroffen die te relateren zijn aan de toepassing van TGG? Is er een indicatie dat er een verband is tussen de verontreinigingen en TGG? Zo ja wat zijn de mogelijke uitlogingsroutes?

Dit voor zowel korte als lange termijn voor zover dit mogelijk is met de meetgegevens van 2019-2023, die beschikbaar zijn. Hierbij wordt ook een inschatting gemaakt wat dit betekent voor bodem en grondwater voor zover dit mogelijk was.

De risico inschatting voor het oppervlaktewater is uitgevoerd met behulp de volgende set aan gegevens, die is aangeleverd door Waterschap Rivierenland.

- Gegevens toegepaste TGG (waaronder de x,y & z coördinaten);
- Meetreeks oppervlaktewater monitoring in de Noordwaard van 2019 - 2023;
- Gegevens hydrologie: GHG, GLG, peilbeheer en kwelinstromen;
- Algemene gegevens over de dijk/kade-opbouw in de Noordwaard

De volgende subdoelen staan centraal in deze QuickScan

- Op basis van de huidige meetserie beoordelen of er een indicatie is dat er effecten van TGG op het oppervlaktewater zijn;
- Het systeem gerelateerd aan TGG goed in kaart brengen;
- Analyse van witte vlekken (kennislacunes).

---

<sup>3</sup> Overgenomen van <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d2-thermische-reiniging/factsheet-thermische-reiniging-grond>.

<sup>4</sup> Dit is de som van tien polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs): naftaleen, antraceen, fenantreen, fluoranteen, benzo(a)antraceen, chryseen, benzo(k)fluoranteen, benzo(a)pyreen, benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3 cd)pyreen.

<sup>5</sup> Bodemrichtlijn.nl geraadpleegd op 1-12-2023. <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/beleid/beleid-van-centrale-overheid/landelijk-beleid/beleidsblad-besluit-bodemkwaliteit-grondstromen>

De aanpak is hoofdzakelijk gebaseerd op GIS interpretaties van TGG signaturen, waarbij rekening gehouden wordt met achtergrondwaarden en samenstellingswaarden van oppervlaktewater. Er is geen waterkwaliteitsmodel opgezet (voor een betere duiding van de bijdrage die de TGG gehad kan hebben, of een gevoeligheidsanalyse kan geven voor het meten van effecten van eventuele TGG emissies bij verschillende hydrologische condities). Er wordt op hoofdlijnen een inhoudelijke beschouwing gegeven van processen die de mobiliteit en voorkomen van TGG gerelateerde stoffen beïnvloeden.

## 1.5 Opzet rapportage

De analyse is gebaseerd op de methodiek “bron-pad-kwetsbaar object”, aan de hand van vijf onderzoeksvragen:

1. Welke stoffen worden aangetroffen in TGG, geproduceerd in een vergelijkbare periode? Wat is de verwachte samenstelling van het toegepaste TGG in Noordwaard. Hierbij wordt een overzicht gecreëerd van het type TGG, de toepassingslocaties en in welke kwantiteit het is toegepast.
2. Wat zijn de mogelijke uitlogingspaden voor verontreinigingen van TGG? Dit is afhankelijk de omstandigheden in het gebied, bodemopbouw en constructie van de dijken en kades.
3. Welke stoffen zijn aangetroffen in de omgeving – historie (vóór de ontpoldering van en het toepassen van TGG in de Noordwaard), het grondwater en oppervlaktewater.
4. Welke stoffen zijn aangetroffen in de omgeving – heden (na de ontpoldering).
  - a. Wat is de mate van kwel en in het gebied, mede in relatie tot het peilbeheer. Bestaat er een kans dat het toegepaste TGG in aanraking komt met grondwater?
  - b. Interpretatie van oppervlaktewatermonitoringsgegevens en analyse van mogelijk aanwezige TGG-“fingerprint” in het oppervlaktewater.
5. Analyse van geïdentificeerde verhoogd-risico locaties voor TGG.

Hiervoor wordt eerst “de bron” van een verontreiniging in kaart gebracht (vraag 1). Vervolgens wordt gekeken naar de mogelijke fysisch-chemische mechanisme die nodig zijn om een beeld te krijgen wat de potentie (uitloogbaarheid) is van een eventuele uitspoeling van stoffen, indien de TGG in contact komt met water (vraag 2). Via transport, door bijvoorbeeld grondwaterstroming (“het pad”), kan de verontreiniging terecht komen in de omgeving bij verschillende “kwetsbare objecten”, (vragen 2, 3 & 4). Voorbeelden van “kwetsbare objecten” zijn mensen, dieren en (grond)waterlichamen, maar ook de natuur en landbouw. Vervolgens wordt gekeken naar het effect van deze stoffen op de verschillende “kwetsbare objecten” (vraag 5). Dit wordt gedaan a.d.h.v. de huidige KRW normen of indien niet beschikbaar, oudere normen.

Over de huidige samenstelling van de TGG die is toegepast zijn geen onderzoeksgegevens beschikbaar, net als van het grondwater in de omgeving (sinds de aanleg). Daarom wordt er in dit rapport uit gegaan van een globale samenstelling van de TGG op basis van leverancier en op basis van reinigingsproces. Wel is het oppervlaktewater uitgebreid gemonitord: in dit rapport worden de resultaten van de oppervlaktewatermeetreeks besproken, die is aangeleverd door Waterschap Rivierenland en is uitgevoerd door het laboratorium Aquon. Aan de hand van de oppervlaktewatermetingen in combinatie met de hydrologische en de milieukundige aspecten van het gebied is een analyse uitgevoerd om te achterhalen of er een indicatie is dat uitloging van verontreinigen uit TGG plaatsvindt.

## 2 Toegepaste materialen in de Noordwaard

In dit hoofdstuk worden eerste de materialen (en materiaaleigenschappen) beschreven van de materialen die in de Noordwaard zijn toegepast. Vervolgens is de hoeveelheid en de locatie van deze stoffen beschreven.

### 2.1 Algemene eigenschappen van thermisch gereinigde grond

Net zoals de eigenschappen voor grond sterk variëren (zowel milieukundig als fysisch), variëren ook de eigenschappen van die grond na reiniging sterk. Thermische reiniging leidt immers niet tot een verhoging of verlaging van het zandgehalte of tot een verandering van de gehalten van zware metalen (behalve kwik).<sup>6</sup> De samenstelling is dus sterk afhankelijk van de samenstelling van het ingangsmateriaal en dat zal bij grondreiniging van dag tot dag verschillen. Bij het innameproces vindt kwaliteitscontrole plaats, zodat voorkomen wordt dat grond te hoge gehalten aan zware metalen bevat, die er later niet uit te halen zijn.

Algemene veranderingen die wel plaatsvinden zijn de verwijdering van organische stof (en daarmee organische verontreinigingen). Voor klei geldt bovendien dat de cohesie verloren gaat. Beiden eigenschappen hebben een negatief effect op het water-vasthoudend vermogen en leiden tot een versnelde mobilisatie van bij voorbeeld zware metalen. Thermisch reinigen is tot slot ook een droogstap: het watergehalte van thermisch gereinigde grond is zeer laag.

#### 2.1.1 Toepassingsperiode

De samenstelling is door diverse procesveranderingen sterk veranderd in de afgelopen jaren. De hieronder beschreven karakteristieken zijn dan ook voornamelijk afkomstig van informatie uit de periode van toepassing. De toepassingsperiode is ook een criterium in bij de multicriteria-analyse van TGG in Rijkswaterstaatwerken (Takens et al., 2019), dat is toegevoegd in 2023 (Langevoort et al., 2023).

De diverse gegevensbronnen zijn beschreven in Bijlage A.

### 2.2 (Mee)reiniging van TAG

Teerhoudend Asphalt mag sinds 2001 niet meer direct worden hergebruikt (indien het gehalte aan PAK's hoger is dan 75 mg/kg).<sup>7</sup> Bij het vervangen of verwijderen van wegen met teerhoudend asfalt wordt het daarom gebroken tot puin, waarna het thermisch wordt gereinigd.

TAG zelf is geproduceerd uit (onder anderen) mineraal aggregaat (breuksteen), vulmiddel (vaak kalkmeel of vliegas) en een bitumineus bindmiddel ('teer'). Dat laatste wordt door thermische reiniging verwijderd. Hoewel de samenstelling van deze grondstoffen ook kan variëren, zijn de producteigenschappen van TAG veel homogener dan van grond. Dat geldt daarom ook voor thermische gereinigde TAG. Vliegas heeft een hoog gehalte aan ongebluste kalk (CaO) waardoor deze na contact met water een hoge pH geeft. Bovendien bevat vliegas (en daarmee ook TAG) verhoogde gehalten aan zware metalen zoals vanadium en molybdeen.

---

<sup>6</sup> De verwijdering van organisch materiaal kan wel leiden tot een hogere zandgehalte, maar die is voornamelijk relevant in veen en hoogorganische kleien.

<sup>7</sup> Dit is de som van tien polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs): naftaleen, antraceen, fenantreen, fluorantreen, benzo(a)antraceen, chryseen, benzo(k)fluorantreen, benzo(a)pyreen, benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3 cd)pyreen.

TAG kan apart thermisch worden gereinigd. Daarna wordt het soms gescheiden in een grove fractie en een fijne fractie. De hoge pH en de zware metalen bevinden zich in dat geval voornamelijk in de fijne fractie. TAG kan ook worden gemengd met grond vóór het thermisch reinigingsproces. Dit is de laatste jaren een gangbare combinatie.

Omdat TAG een homogene grondstof is, is geen keuring van het ingaand materiaal nodig.

## 2.3 Productie bij ATM

Naast de algemene karakteristieken van thermisch gereinigde grond (eventueel met gereinigd TAG) zijn er ook producent-specifieke karakteristieken. Omdat ATM een grote leverancier is in Nederland, is er relatief veel informatie over beschikbaar. Ook bij de Noordwaard is het de belangrijkste leverancier.

### 2.3.1 Bromide

De rookgasreiniging van kwik-dampen vindt plaats door middel van bromering. Daarbij wordt broomgas ( $Br_2$ ) toegevoegd aan het rookgas, om kwik te binden. Het leidt ook tot bromide in het waswater, dat vervolgens weer in de TGG terecht komt. Het proces startte in 2000, en de hoeveelheid toegevoegd broom werd in de jaren daarop sterk opgevoerd (Langevoort et al., 2023).

### 2.3.2 Sulfaat

Sulfaat is altijd aanwezig in grond, maar sterk verhoogd in thermisch gereinigde grond. De verhoging wordt veroorzaakt door meereiniging van afvalolie (bij voorbeeld de onderlagen van brandstoftanks), (Langevoort et al., 2023). Ook bij het materiaal van Theo Pouw worden verhoogde sulfaatgehalten aangetroffen (Brand et al., 2021). Hoewel de bron daarvan gelijk zou kunnen zijn, is hier de bron niet bekend.

### 2.3.3 Kationen en chloride

In TGG van ATM en Theo Pouw worden ook structureel verhoogde waarden aan kationen (natrium, kalium, calcium) en chloride gevonden (Theo Pouw, 2019; Van Bruchem & Eversdijk, 2018; Van der Star et al., 2019, 2022). De precieze route waarmee deze stoffen in de TGG terecht komen is niet beschreven. Het is denkbaar dat de stoffen afkomstig zijn uit de in de TAG aanwezige vlieggas of als zout koelwater zijn gebruikt voor de productie. Koelwater (afkomstig uit oppervlaktewater of intern proceswater) wordt immers gebruikt voor de koeling van thermisch gereinigde grond (Brand et al., 2021).

## 2.4 Samenstelling TGG en TAG

Een overzicht van de verwachte samenstelling van de toegepaste materialen in de Noordwaard op basis van het toegepaste materiaal is schematisch weergegeven in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristieken van toegepaste materialen in de Noordwaard.

Leverancier/Product		Proces	Effect
EcoZand	TGG (overige leveranciers)	Thermische Reiniging van grond	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ laag organische stofgehalte</li> <li>→ verlies cohesie</li> <li>→ verwijdering organische verontreinigingen</li> <li>→ verwijdering kwik</li> </ul>
TGG van Theo Pouw	TGG van ATM-Moerdijk (latere partijen)	(mee)reiniging van Teerhoudend Asfaltgranulaat	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ aanwezigheid breuksteen</li> <li>→ verhoogde gehalten vanadium, molybdeen</li> <li>→ verhoogde grond-pH</li> <li>→ verhoogd gehalte calcium</li> </ul>
TGG van ATM (toepassing circa 2015)		Bijmengen olie-residuen	→ verhoogd sulfaatgehalte
		Kwikreiniging met broom-gas (Br <sub>2</sub> )	→ verhoogd bromide-gehalte
		Onvolledige verbranding/herverontreiniging	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ aanwezigheid benzeen/tolueen/fenanthreen</li> </ul>

Uit bovenstaand overzicht volgt dat voor TGG geproduceerd in de periode van aanleg van de Noordwaard (met name wanneer die afkomstig is van ATM) specifieke eigenschappen, die duidelijk afwijken van reguliere grond. Deze stofcombinaties zouden gezien kunnen worden als een signatuur. Als deze signatuur aanwezig is, zijn er sterke aanwijzingen dat sprake is van TGG. Dat geldt in sterke mate in het materiaal zelf, en in het grondwater direct onder het materiaal. Ook in het oppervlaktewater zou de signatuur terug te vinden kunnen zijn. De precieze samenstelling zal echter in de grond zelf, in het grondwater en in het oppervlaktewater anders zijn, omdat niet elke stof (in gelijke mate) uitloopt uit de TGG, er in grondwater en met name bij oppervlaktewater sprake is van sterke verdunning en vanwege het vervluchtigen of omzetten van stoffen.

Een overzicht van de signatuurstoffen van TGG is hieronder weergegeven, met hun verwachting voor de verschillende compartimenten.

Tabel 2.2. Signatuur van mogelijke probleemstoffen die TGG (van ATM) gerelateerd kunnen zijn en als indicatoren/signatuur kunnen dienen.

Groep	TGG	Grondwater	Oppervlaktewater
Verhoogde zuurgraad (pH) > 9-10	Ja	Ja	mogelijk, afhankelijk van buffer
Hoog gehalte aan zouten (K, Na, Ca, Br, Cl)	Ja	Ja	Ja
Hoge bromide/chloride-verhouding	Ja	Ja	Ja
Hoog sulfaatgehalte	Ja	Ja	Ja
Zware metalen: mobiel door hoge pH: antimoon, molybdeen, vanadium	Ja	Ja	mogelijk, afhankelijk van verblijftijd.
Zware metalen: mobilisatie metalen in de ondergrond: arseen	Ja	Ja	Ja, afhankelijk van verblijftijd
zware metalen (overig): barium (andere metalen komen soms verhoogd voor, maar niet structureel)	Ja	Ja	mogelijk, afhankelijk van verblijftijd.
Vluchtige organische stoffen (benzeen, toluen, fenantreen, beta-HCH en 1,2,4-trichloorbenzeen) meetbaar aanwezig	Ja	mogelijk	onwaarschijnlijk
6:2 FTS (PFAS)	Ja	mogelijk	mogelijk

Aangezien het grootste gedeelte (driekwart) van de TGG afkomstig is van ATM zal een eventuele signatuur in het oppervlakte naar verwachting de kenmerken hebben die in Tabel 2.2 zijn beschreven. Als we effecten in het oppervlaktewater zullen zien dan zal het via deze indicatoren zijn: hoog zoutgehalte (Na/Cl), hoog bromide/chloride gehalte, hoog sulfaat, mogelijk verhoogd arseen, antimoon, molybdeen, vanadium, barium en misschien enkele vluchtige stoffen. Bovendien wordt de PFAS 6:2 FTS<sup>8</sup> soms verhoogd aangetroffen (Van Bruchem & Eversdijk, 2018; Van der Star et al., 2022).

De zichtbaarheid van deze signatuur is overigens wel afhankelijk van de omgeving en de achtergrond concentraties van de betreffende stoffen in de omgeving. Bovendien zijn de effecten in het oppervlaktewater waarschijnlijk veel kleiner dan in het grondwater, omdat verdunning in en verversing van het oppervlaktewater snel gaat. Bovendien moet eerst grondwater beïnvloed zijn, pas daarna het oppervlaktewater. Een effect andersom (waarbij

<sup>8</sup> 6:2 FTS is een verbinding die lijkt op PFOS, maar waar op 2 plekken een waterstof (H-) in plaats van een fluor (F)-atomen aanwezig zijn.

effecten in het oppervlaktewater groter zijn dan in het grondwater) zijn aan de hand van de uitlogingspaden, zie hoofdstuk 0, niet te verwachten. Eventuele zichtbare effecten van TGG in het oppervlaktewater willen overigens niet direct zeggen dat de ecologische kwaliteit van het water ook slechter is geworden, of dat waterkwaliteitsnormen worden overschreden.

#### 2.4.1 Typen TGG en andere materialen in Noordwaard.

In het kader van het “bron-pad-kwetsbaar object” principe is het van belang om de bron, de TGG, goed in kaart te brengen. Waar ligt de TGG precies? Hoeveel TGG is er toegepast en zijn er ook andere materialen toegepast?

Binnen de Noordwaard zijn verschillende typen materiaal toegepast, die afwijken van natuurlijk bodems, namelijk TGG, ECO-zand, E-bodemas en niet-toepasbare grond (NT), zie Tabel 2.3. Dit is in beeld gebracht door Tauw in het rapport “*Monitoringsplan toepassing van thermische gereinigde grond in kaden van polders Noordwaard*” aan de hand van de grondstromenregistratie en as-built tekeningen van de kades in de Noordwaard (Wacker, 2020).

Op basis van de eerder beschreven productieproceskarakteristieken (zie Tabel 2.1) is tevens per type grond aangegeven wat de te verwachten stoffen zijn die mogelijk als indicatorstoffen kunnen aangetroffen in het grond en oppervlaktewater, indien er uitloging plaatsvindt. Er wordt aanbevolen, voor een goede identificatie van de bron, om bij eventuele vervolgstappen met een beperkt aantal verificatieboringen vast te stellen of er ook daadwerkelijk TGG is toegepast de locaties waar het nu verwacht wordt. En indien dit het geval is, dan kan ook de samenstelling van de TGG worden geanalyseerd ter verificatie van de in deze rapportage gekozen indicatorstoffen.

Tabel 2.3 Toegepaste vormen van TGG inclusief hoeveelheid in de Noordwaard.

Type TG materiaal	Leverancier	Hoeveelheid toegepast (m <sup>3</sup> )	Te verwachten stoffen
<b>TGG</b>	Afval Terminal Moerdijk (ATM)	311.330	Zie Tabel 2.2
	Theo Pouw (TP)	113.700	Vergelijkbaar met ATM maar minder bromide
<b>ECO-zand</b>	Recycling Combinatie REKO B.B.	60.074	Diverse zware metalen, specifiek uitloggedrag door hoge pH
<b>E-bodemas</b>	Vliegasunie	3.438	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> & Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>NT grond</b>	Bovengrond krekken	Onbekend	Onbekend

##### 2.4.1.1 TGG

In totaal is 425.030 m<sup>3</sup> TGG toegepast in de Noordwaard, waarvan ongeveer driekwart afkomstig is van ATM en de rest van Theo Pouw in de Eemshaven (Wacker, 2020 op basis van grondstromenregistratie Noordwaard). Het ontstaat uit reinigingsprocessen waarvoor beiden bedrijven beschikken over een BRL 7500 certificaat. De TGG van ATM wordt verkocht onder de naam FORZ@Sand en is gecertificeerd onder de BRL 9335-2: grond uit projecten<sup>9</sup>. De TGG van Theo Pouw is gecertificeerd onder dezelfde BRL en daarnaast ook onder BRL 9335-3: individuele partijen grond.

<sup>9</sup> [FORZ@Sand | ATM](#)

#### 2.4.1.2 TAG (ECO-zand)

Naast TGG (met daarin meegereinigd TAG) is er 60.074 m<sup>3</sup> gereinigd TAG als bouwstof toegepast onder de naam ECO-zand/ECO-granulaat. Dit materiaal is afkomstig van Van Bantum Recycling Centrale (BCR), nu bekend onder de naam Recycling Combinatie REKO B.V.. Volgens de reinigingsprocedure<sup>10</sup> wordt de TAG verhit tot een temperatuur van 850-1000°C.

#### 2.4.1.3 E-bodemas

Verder is er 3.438 m<sup>3</sup> E-bodemas (ook wel ketelzand of granulight) toegepast in de Noordwaard. Deze informatie komt uit de grondstromenregistratie, maar is dit niet helemaal sluitend (Wacker, 2020). Qua korrelopbouw is E-bodemas vergelijkbaar met grof zand. Het wordt ook toegepast als niet vormgegeven bouwstof en bestaat uit gesinterde, deels gesmolten vliegas dat wordt gevormd tijdens het verbrandingsproces in kolengestookte elektriciteitscentrales. Het bestaat voornamelijk uit siliciumoxide (SiO<sub>2</sub>), aluminiumoxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en ijzeroxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sup>11</sup>. Het E-bodemas in de Noordwaard is geleverd door de Vliegasunie<sup>12</sup> en is afkomstig van een energiecentrale van Essent. De producteisen voor E-bodemas zijn vastgelegd in BRL 9302: E-bodemas.

#### 2.4.1.4 NT-grond

Ten slotte is er op een aantal plekken een onbekende hoeveelheid lokale grond toegepast, die in documenten is aangeduid als NT-grond. Deze grond is bij toetsing als “niet toepasbaar” beoordeeld (Wacker, 2020), omdat de waardes hoger liggen dan de maximumwaardes voor de bodemgebruiksklasse industrie. Dergelijke grond mag lokaal worden toegepast, indien hij voldoet aan de gebiedsspecifieke Lokale Maximale Waarden (vastgesteld door Rijkswaterstaat of het waterschap)<sup>13</sup>. De NT-grond, die toegepast is in de Noordwaard, is afkomstig uit de bovengrond van kreken in deze polder (onder andere de kreek Braspenning/Galeiweg in het midden van de Noordwaard).

### 2.4.2 Toepassingslocaties

Uit de grondstromenregistratie is op te maken naar welke (deel)locaties de aangevoerde TGG van ATM en Theo Pouw heen is vervoerd en waarheen deze vervolgens weer is afgevoerd. Dit is weergegeven in Bijlage D. De locaties waar de TGG is toegepast zijn weergegeven in Figuur 2.1. In de polders Happenhennip, Anna Paulowna, Middelste Kievitswaard en 't Kooike is volgens deze registratie alleen TGG toegepast. In al deze polders is, ten opzichte van het totaal, ook een aanzienlijke hoeveelheid TGG toegepast, namelijk 67.193 m<sup>3</sup>, 6.396 m<sup>3</sup>, 90.515 m<sup>3</sup> en 173.395 m<sup>3</sup>. Het aandeel TGG van ATM en TP verschilt per polder. Zo bestaat de polder Binnen Kievitswaard vrijwel geheel uit TGG van TP (51.777 m<sup>3</sup>), terwijl 't Kooike, het grootste deel van de Happenhennip en het deel bij de Muggenwaard uit TGG van ATM bestaat. De overige polders bestaan uit een mix van beide TGGen. Behalve in de dijken en kades rond de polders is ook nog 4.387 m<sup>3</sup> TGG toegepast in de kade rond het transformatorstation van Enexis, bij de Maltha polder (cirkel in het zuidwestelijke gedeelte van de Noordwaard, Figuur 2.1). Op basis van de beschikbaar gestelde as-buult tekeningen blijkt dat er TGG onder het maaiveld ligt bij delen van de Happenhennip, Middelste Kievitswaard, Anna Paulowna polder en Binnen Kievitswaard, zie bruine lijnen in Figuur 2.1. Bij de overige kades ligt de TGG, voor zover bekend, boven het maaiveld.

<sup>10</sup> [Het TAG reinigingsproces - Reko Recycling Combinatie \(rekobv.eu\)](https://www.rekobv.eu)

<sup>11</sup> [Bodemmassen en slakken | Bodemrichtlijn](#)

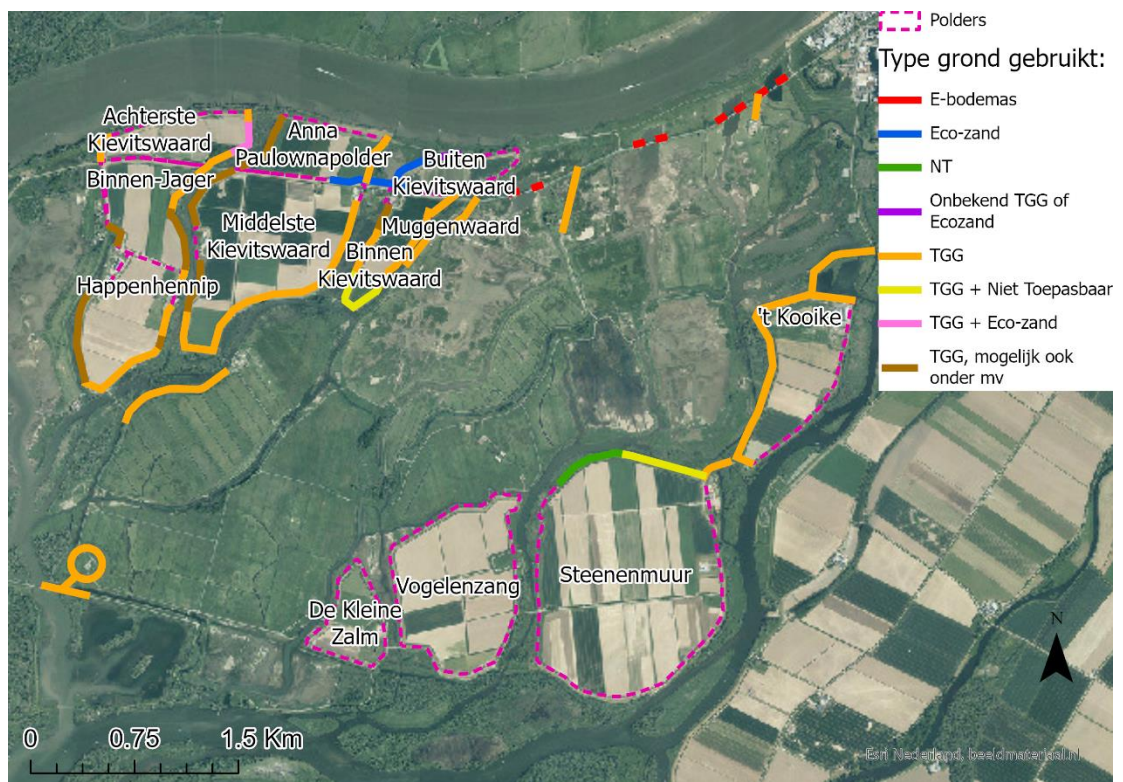
<sup>12</sup> Vliegasunie heeft per 1 januari 2023 haar activiteiten stop gezet en is in liquidatie (<https://www.vliegasunie.nl/>)

<sup>13</sup> [Handreikingen Besluit bodemkwaliteit - Bodem+ \(bodemplus.nl\)](#)



In de Achterste Kievitswaard, sectie 2, is naast TGG ook ECO-zand toegepast, aangegeven met roze lijnen in Figuur 2.1. Over de aanvoer van TGG naar Buiten Kievitswaard is weinig bekend, echter is op secties 2 en 4 wel ECO-zand toegepast (blauwe lijn in Figuur 2.1). De toegepaste hoeveelheid E-bodemais is gering; 291 m<sup>3</sup> is toegepast in de polder Happenhennip ter hoogte van Witboomkil 2, 297 m<sup>3</sup> nabij Steurgat 26 en circa 2.850 m<sup>3</sup> in de Bandijk nabij de bruggen (Wacker, 2020).

Als laatste blijkt uit de grondstromenregistratie en as-built tekeningen dat in een deel van de kade rond Steenenmuur, NT-grond (grond geklassificeerd als Niet Toepasbaar) uit het project is herschikt in de kern van de kade (sectie 3 en sectie 4, groene lijn in Figuur 2.1). Tevens is in de polder Binnen Kievitswaard NT-grond in de kern van de kade verwerkt (sectie 1, gele lijn in Figuur 2.1). De grond is afkomstig uit de kreken in het gebied, onder andere de kreek Braspenning/Galeiweg. In de polders Vogelenzang en Kleine Zalm is geen TGG toegepast en zijn referentielocaties voor de oppervlaktewatermetingen in dit project.



Figuur 2.1. Overzicht van de locaties en type TGG die zijn toegepast in de verschillende polders van de Noordwaard. TGG Locaties zijn door (Wacker, 2020) in kaart gebracht. Op basis van As-built tekeningen van de polders is de categorie "TGG mogelijk onder maaiveld (bruin)" uitgebreid t.o.v. het Tauw rapport naar de Happenhennip, Middelste Kievitswaard, Anna Paulowna polder en Binnen Kievitswaard.

## 2.5 Uitlogingspaden TGG

Het pad in het “bron-pad-kwestbaar object” principe is in dit geval het transport, waarmee de verontreinigingen vanuit de TGG in de omgeving terecht kunnen komen bij de verschillende “kwetsbare objecten”. Idealiter wordt voor het in kaart brengen van het transport pad een grondwatermodel opgezet. Dit kan inzicht geven in hoe het stoftransport loopt, wat de verblijftijden zijn van bepaalde stoffen (is een bijdrage van TGG voor zware metalen in opp. water überhaupt meetbaar) en kan helpen bepalen wat een succesvolle aanpak is om de eventuele uitloging van TGG naar de kwetsbare object te voorkomen. Deze berekeningen worden als snel best complex waarbij veel kennis van de geohydrologie en geochemie van de ondergrond noodzakelijk is. Daarnaast is de Noordwaard ook een dynamisch systeem met eb en vloed bewegingen, en overstromingen. Dit betekent nogal wat voor grondwaterstromen en dus ook uitlogingsmomenten. Deze aanpak, hoe belangrijk ook, valt buiten de scope van het huidige rapport, maar dient wel als aanbeveling voor eventueel vervolgonderzoek. Wel kan er in het huidige rapport een conceptuele benadering gegeven worden van de mogelijke uitlogingspaden.

Vanuit de TGG kan uitloging plaatsvinden naar de omgeving. Dit vindt met name plaats indien het materiaal zich of onder de grondwaterspiegel bevindt of dat het onder invloed van neerslag staat. Indien de TGG wordt omgeven door goed doorlatend grondtypes (zoals zand) verhoogt dit de kans op uitloging naar de omgeving. Of stoffen die in de TGG aanwezig zijn ook daadwerkelijk uitlogen, is stofafhankelijk; enkele karakteristieke stoffen voor TGG zoals de zouten kunnen gemakkelijk uitspoelen, andere stoffen zoals enkele zware metalen in veel mindere mate.

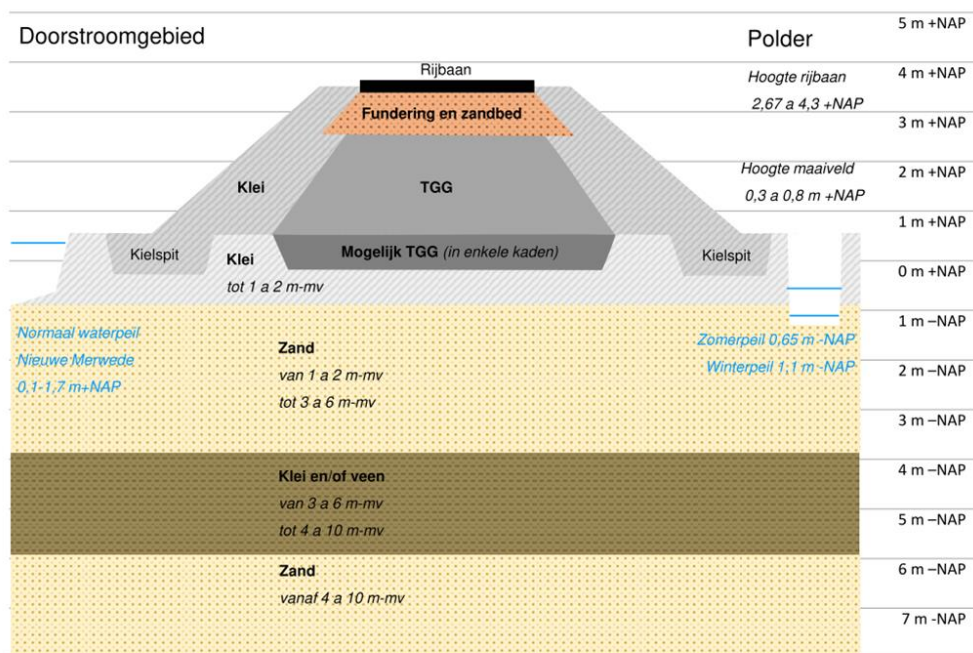
Uit gegevens van Dinoloket blijkt dat in de Noordwaard de toplaag uit klei bestaat en in het gehele gebied tussen de 0,5 en maximaal 3 meter dik is. De kaden zijn op deze laag aangelegd en de TGG ligt daarmee dus op een laag klei van enkele meters, wat de kans op uitloging t.o.v. een zandlaag vermindert. Onder deze kleilaag is wel een zandlaag (middel tot grof) aanwezig die in dikte varieert van 1 tot enkele meters, met daaronder een veenlaag al dan niet afgewisseld met zand en klei, Bijlage E. Op basis van deze bodemopbouw en de as-built tekeningen is door Tauw (Wacker, 2020) een globaal conceptueel model van de kades in de Noordwaard opgesteld, zie Figuur 2.2. Hierin is onder meer te zien dat de TGG is afgedekt met een laag klei die aan beide kanten wordt geflankeerd door een kielspit. Deze kielspit, bestaande uit klei, dient als verankering en garantie van waterdichtheid van de deklaag.

De mogelijke manieren waarop waterstromen in aanraking kunnen komen met thermisch gereinigde materiaal zijn schematisch weergegeven in Figuur 2.3. In het figuur zijn alleen de mogelijke transportpaden naar de binnendijkse teensloot weergegeven. Deze paden zijn ook gespiegeld te verwachten richting het doorstroomgebied. Het gaat hier om vier verschillende mogelijkheden.

1. **Infiltratie regenwater.** De neerslag die op de dijk valt zal langzaam infiltreren. Via het talud kan het water in aanraking komen met de TGG en uiteindelijk uitspoelen in de teensloot. Hoeveel van het regenwater infiltreert wordt o.a. bepaald door de helling van het talud. Uit de as-built tekeningen van Noordwaard, blijkt dat het talud aan de binnendijkse kant een helling van 1:3 heeft en dat de kaden aan de buitendijkse kant, vanwege de golfslag (Projectbureau Noordwaard & Consortium, 2010), flauwer zijn met een helling van 1:4, zie Figuur 2.4. Dit betekent dat er een grotere kans is dat het regenwater aan de buitenzijde infiltreert. Overigens is het wel zo dat TGG zelf een hele lage waterdoorlaatbaarheid heeft, dus de infiltratie in de TGG zal relatief langzaam gaan.
2. **Infiltratie regenwater en/of grondwater.** Naast neerslag kan er (tegelijktijd) ook stijgend grondwater in aanraking komen met de TGG. Dit is afhankelijk van het

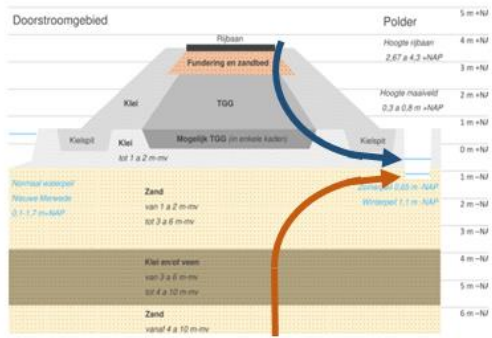
grondwaterspiegel t.o.v. de TGG en de grondlaag specifieke capillaire werking van het grondwater (onderdruk). Deze onderdruk zorgt ervoor dat het grondwater onder de dijk opbolt richting de TGG. Om dit tegen te gaan is een zogenaamde capillair brekende laag noodzakelijk, er is een bepaalde afstand tussen het grondwater en de TGG nodig. De dikte van de laag kan verschillen afhankelijk van het grondtype, bij klei, zoals in de Noordwaard, is de capillaire werking sterker dan bij grofkorrelig zand. Zoals in Figuur 2.1 en Figuur 2.4 is weergegeven ligt een deel van de TGG onder het maaiveld. De TGG die onder maaiveld ligt, op basis van de as built tekeningen op ongeveer gelijke hoogte als het zomerpeil in de polders. Hierdoor is er een grotere kans aanwezig voor deze locaties dat het grondwater in aanraking met de TGG en kan uitlogen in de binnendijkse/buitendijkse teensloten.

3. **Infiltratie regenwater via grondwater.** Een derde optie is dat het infiltrerende regenwater door de TGG heen gaat en in het grondwater terecht komt. Afhankelijk van de grondwaterstromen (o.a. kwel of inzijing) kan het dan naar het diepere grondwater migreren of via het grondwater terecht komen in het oppervlaktewater (teensloten).
4. **Horizontale kwelstroom.** Door natuurlijke of kunstmatige hoogteverschillen in grondwaterspiegels aan beide kanten van de dijk kan grondwater door de dijk sijpelen en in de achterliggende polder terecht komen. Zo kan hoogwater in het doorstroomgebied van de Noordwaard druk veroorzaken waardoor het kwelwater via de TGG kan uit treden in het oppervlaktewater van de teensloot.

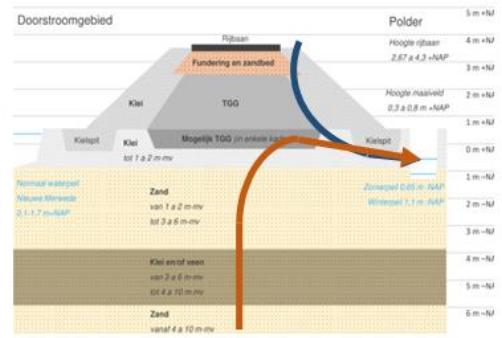


Figuur 2.2 Conceptueel model TGG kaden Noordwaard, (Wacker, 2020)

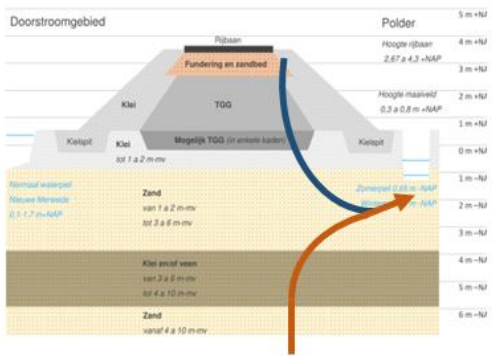
### 1: Infiltratie regenwater



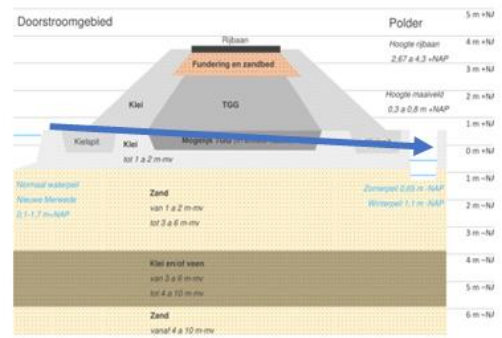
### 2: Infiltratie regenwater en/of grondwater



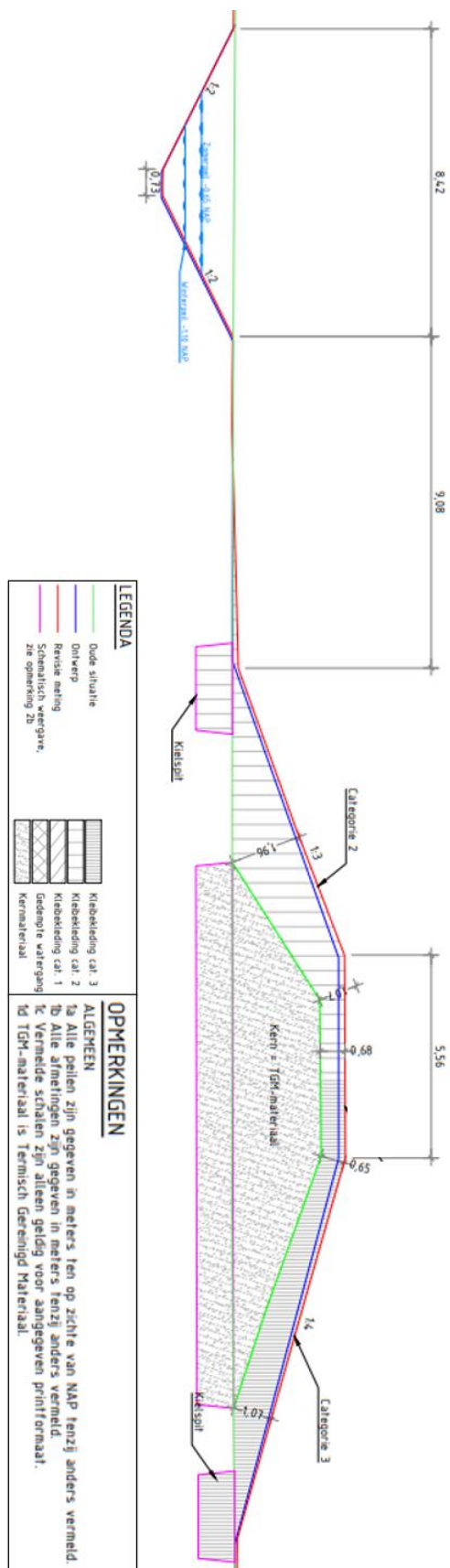
### 3: Infiltratie regenwater via grondwater



### 4: Horizontale kwelstroom



Figuur 2.3. Conceptueel model dijk Noordwaard met mogelijke manieren waarop oppervlaktewater, grondwater en regenwater in aanraking kunnen komen met TGG in Noordwaard. Donkerblauwe stromen staan voor regenwater, bruine stromen voor grondwater en lichtblauw voor horizontale kwelstroom. Voor meer detail van de achtergrondkaart, zie figuur 2.2.



Figuur 2.4 as-built tekening van één van de westelijke kaden van de Middelste Kievitswaard weergegeven. Rechts van de kade is de teensloot weergegeven met daarin de zomerpeil (-0.65 m NAP) en winterpeil (-1.10 m NAP)

## 3 Gebiedsbeschrijving – Oud en nieuw

Om te kunnen beoordelen of er mogelijke uitloging van TGG plaatsvindt, is het van belang om eventuele andere verontreinigingen of stofstromen, anders dan de in Figuur 2.3 genoemde uitloginspaden, van de indicatorstoffen in kaart te brengen. Deze verontreinigingen hoeven niets met het toepassen van de TGG te maken hebben, maar kunnen wel mogelijk een eventuele TGG signatuur in het oppervlaktewater beïnvloeden. Hierbij wordt gekeken naar zowel het huidige systeem als het systeem voordat de ontpoldering van de Noordwaard plaatsvond.

### 3.1 Stoffen die in de omgeving zijn aangetroffen – historie

Door Royal Haskoning zijn in het kader van de herinrichting diverse onderzoeken uitgevoerd, waarvan het onderzoek uit 2008 het laatste is geweest. De bodemonderzoeken besloegen de gehele Noordwaard polder. Tauw heeft in een aanvullend vooronderzoek de resultaten hiervan op een rijtje gezet (Wacker, 2021). Deze resultaten zijn hieronder samengevat en verder geduid in de onderstaande paragrafen, Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Overzichtstabel van historische verontreinigingen die niet met het toepassen van TGG te maken hebben.

Situatie voor ontpoldering	Aangetroffen verontreinigingen in gebied	Opmerkingen
<b>Kreken</b>	Arseen, zink en PAKs	Mogelijk door gebruik teerhoudend materiaal in de weg
<b>Bestaande dijken en kades</b>	Lichte verontreiniging, verhoogde waarde voor koper en zink in 't Kooike	a.d.h.v. boringen is koper en zink in het zuiden van 't Kooike boven interventiewaarde aangetroffen
<b>Grondwater</b>	Arseen, barium, chroom, zink en xylenen	Grootste verontreinigingen in het zuidoosten bij de Maltha polder, ligt buiten de huidige toepassingen van TGG.
<b>Oppervlaktewater</b>	Er zijn concentraties cadmium, lood, nikkel, koper gemeten die boven huidige norm zijn.	Geen normoverschrijdingen van de toen geldende norm. Bovendien is het onduidelijk of het om jaargemiddelde gaat of om losse metingen. Waardoor het niet te stellen is of het hier om structurele verhoogde concentraties gaat of om enkele hoge meetwaarden.

#### *Kreken*

Volgens het 'Basisdocument geohydrologie planstudie ontpoldering Noordwaard' is de bodemopbouw in de Noordwaard complex door de aanwezigheid van oude geulpatronen, een deklaag en een gelaagde diepere ondergrond (Wacker, 2020).

Het getijdewater stroomt de Noordwaard binnen en naar buiten via verschillende verbindingen tussen de Noordwaard en het omliggende land. Het doorstroomgebied is aangesloten op de Nieuwe Merwede door middel van doorlaatconstructies in de Merwededijk en de Banddijk. Het water bereikt de meest afgelegen intergetijdengebieden via een netwerk van kreken, die opvallend zijn door hun haarvatenstructuur. Helaas zijn deze kreken de loop der jaren diffuus verontreinigd geraakt met arseen, zink en PAK's als gevolg van

overstromingen met rivierwater en de neerslag van verontreinigd slib. De mate van vervuiling hangt af van de tijdsperiode waarin het slib zich heeft kunnen afzetten. Vooral kreken die zijn afgedamd in de jaren zestig en zeventig worden verdacht van bodemverontreiniging. Royal Haskoning heeft de locaties van deze verdachte voormalige kreken in kaart gebracht en heeft bodemonderzoeken uitgevoerd om de bodemkwaliteit van de kreken en hun oevers vast te stellen.

Uit de meeste onderzochte monsters van zowel de bovengrond als ondergrond van de kreken blijkt dat er slechts lichte verontreinigingen aanwezig zijn. Enkele gebieden vertoonden echter matige tot sterke verontreiniging, met name in de vorm van arseen, zink en PAKs. De gebieden met sterke verontreiniging zijn onder andere:

- Het stroomgebied van de Bevert langs Polder Steenenmuur en het noordelijke stroomgebied van de Bevert. In de berm van de Bevertweg is de grond niet alleen sterk verontreinigd met arseen en zink, maar ook met polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). Dit kan vermoedelijk worden toegeschreven aan het gebruik van teerhoudend materiaal in de weg.
- Het stroomgebied van de nieuw te graven kreek in het gebied van Polder Middelste Kievitswaard.
- Het stroomgebied van de Witboomkil in het westelijke deel van Polder Middelste Kievitswaard.
- Het stroomgebied van de te graven kreek in het oostelijke deel van Polder Maltha.

Daarnaast werden incidenteel matige of sterke verontreinigingen aangetroffen in:

- Het noordelijke deel van de Braspenningweg.
- Het stroomgebied van het Galeigat of Braspenning.
- Het stroomgebied van het Gat van Lijnoorden.
- Zowel het noordelijke als het zuidelijke deel van Polder Hooge Hof.

### 3.1.1 Dijken en kades

De dijken en kades zoals die voor de herinrichting aanwezig waren, waren opgebouwd uit heterogeen materiaal, dat over het algemeen hoogstens licht verontreinigd was. Ter plaatse van een boring in de Reugtweg en een boring aan de zuidkant van polder 't Kooike, (langs Steurgat) zijn respectievelijk koper en zink boven de interventiewaarde aangetoond.

### 3.1.2 Grondwater

Op enkele incidentele, plaatselijke sterke verontreinigingen van o.a. xylenen, zink en chroom na, zijn in het grondwater ten hoogste lichte verontreinigingen aangetoond. In het gebied kunnen van nature licht tot sterk verhoogde concentraties arseen en barium voorkomen (Wacker, 2021). In Figuur 3.1 zijn de peilbuizen weergegeven die zijn bemonsterd in de periode van 2009 – 2010, dus in de periode voor de ontpoldering van de Noordwaard. Het betreffen peilbuizen uit 2009 van Royal Haskoning en 2010 (van Inpijn-Blokpoel). Bij deze peilbuizen is in 2010 een sterke verhogingen van arseen (maximaal 760 µg/L) in het zuidoosten bij de Maltha polder gemeten, Figuur 3.2. De omvang van de meetpunten geeft de hoogte van de arseenconcentratie in het grondwater weer. Vierkanten geven de metingen weer waar de concentraties onder de rapportagegrens (<5 µg/L) gemeten zijn. Op de uitschieters na hebben de meetpunten, die boven de rapportagegrens gemeten zijn, een gemiddelde concentratie van 18 µg/L in het grondwater.

In dezelfde peilbuis (A89) bij de Maltha polder waar de verhoogde concentraties arseen zijn gemeten, zijn ook verhoogde waarde van chroom aangetroffen (5.3 µg/L)

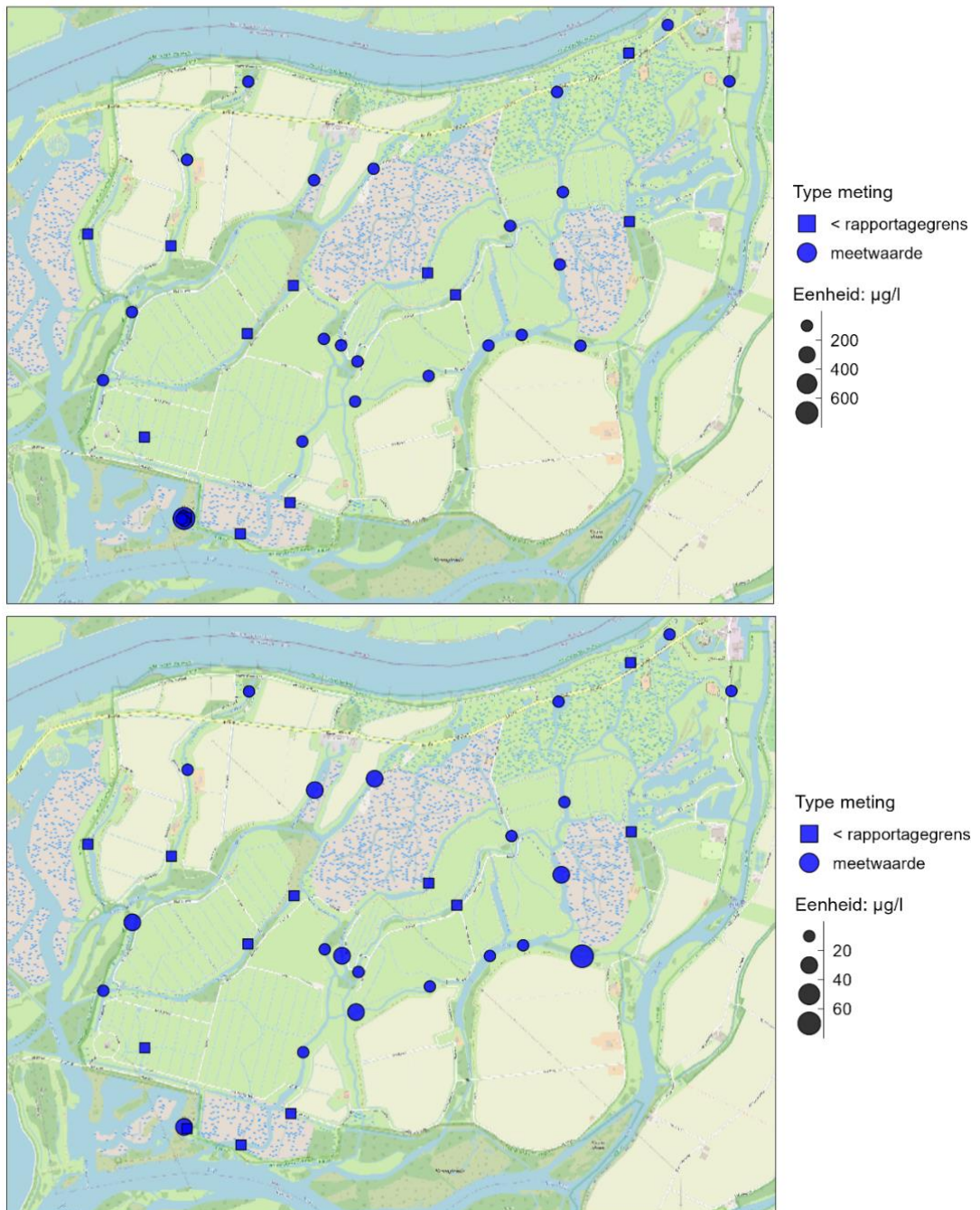
In bijlage F zijn ook de plaatselijke verontreinigingen van barium, xylenen en zink weergegeven.





## arseen

2010



*Figuur 3.2* Overzicht van peilbuismetingen voor arseen in 2010. De omvang van het meetpunt geeft de hoogte van de arseenconcentratie in het grondwater weer. Vierkanten geven de metingen weer waar de concentraties onder de rapportagegrens ( $<5 \mu\text{g/L}$ ) gemeten zijn. **Boven:** Metingen van arseen met de hoge uitschieters in de Maltha polder. **Onder:** Metingen arseen weergegeven zonder de hoge uitschieters in de Maltha polder waardoor de schaal voor de overige meetpunten beter te af te lezen is.

### 3.1.3 Oppervlaktewater

Voor de oppervlaktewaterkwaliteit in het gebied zijn voor een aantal componenten gegevens voorhanden uit de periode 2004-2008, (Projectbureau Noordwaard, 2010). Dit is voordat de ontpoldering van de Noordwaard plaatsvond. Het gaat daarbij om stikstof, cadmium, chroom, lood, nikkel, koper, totaal fosfaat, chlorofyl-a en zuurstof op basis van metingen op een drietal meetpunten (zie Figuur 3.3 voor locatie meetpunten). Uit de gegevens blijkt dat voor de meeste stoffen de gemeten concentraties in 2008 lager waren dan in 2004 en er dus sprake lijkt te zijn van een dalende trend (zie ook Tabel 3.2).

Alleen voor de stoffen cadmium, lood en nikkel lijkt de concentratie juist iets gestegen te zijn. Wel blijkt dat de gemeten concentraties van alle stoffen in 2008 onder het MTR (maximaal toelaatbaar risiconiveau) zaten. Dit lijkt ook het geval in de buitenwateren. Vergeleken met de huidige geldende normen zijn de gemeten concentraties in 2008 van cadmium, lood, nikkel, koper wel boven de jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm (JG-MKN). In het rapport van (Projectbureau Noordwaard, 2010) is niet gespecificeerd of de meetgegevens jaargemiddelde betreffen of dat het losse metingen zijn, waardoor vergelijking met de huidige jaargemiddelde norm hier lastig is. De metalen hebben een grote variatie in de grote variatie in Nederlandse bodem<sup>14</sup> (en dus ook in grondwater en opp. water). Losse meetwaarden kunnen dan hierdoor ook hoog zijn.



Figuur 3.3 Meetpunten waterkwaliteit binnen Noordwaard periode 2004-2008. Bron (Projectbureau Noordwaard, 2010)

<sup>14</sup> <https://www.rivm.nl/nieuws/nieuwe-achtergrondconcentraties-en-kwaliteitscriteria-voor-metalen-in-grondwater>

Tabel 3.2 Waterkwaliteitsgegevens Noordwaard (meetpunt 640009, HAB004, HAB011). Bron: Projectbureau Noordwaard, (2010)

Waterkwaliteit	Eenheid	2004	2005	2006	2007	2008	MTR	Jg
Stikstof	mg/l	2,1	3,51	2,24	3,09	1,56	2,2	
Cadmium	µg/l			0,13	0,11-0,2	0,17	2	Ja
Lood	µg/l			4,48	2,78-6,28	5,58	220	Ja
Chroom	µg/l			5,31	2,49	2,49	84	Nee
Nikkel	µg/l			2,3	3,44	4,17	6,3	ja
Koper	µg/l	6,7	6,6	3,0-3,3	2,8-4,6	3,6	3,8	Ja
Totaal fosfaat	mg/l	0,16	0,16	0,07-0,15	0,05-0,11	0,08-0,1	0,15	
Ammoniak	mg/l	0,003	0,003	0,053-0,230	0,002-0,023	0,012-0,02	0,02	nee
Sulfaat	mg/l	62	55	35-65	42-63	35-62	100	nee
Chloride	mg/l	52	48	39-50	37-57	36-55	200	nee
Chlorofyl-a	µg/l	52	33	4,2 -74	7,0-30	13-49	100	nee
Zuurstof	mg/l	8	3,1	3,1-4	3,1-7	4,0-6,0	5	

### 3.2 Grondwaterstroming en kwel

Voor het bepalen van eventuele uitloging van de aangebrachte TGG is het relevant om het contact met grondwater in kaart te brengen. Een van de mogelijke routes van uitloging is direct contact met grondwater, zie Figuur 2.3. Vervolgens kan dit grondwater in contact komen met het oppervlaktewater.

Met behulp van kwelgegevens afkomstig van het grondwatermodel (MORIA) van Waterschap Rivierenland is te zien dat in de binnendijkse gebieden naast dijken waar verschillende types TGG toegepast zijn zich bevinden zich op locaties waar tussen de 0,1 en 2 mm kwel per dag plaatsvindt (zie Figuur 3.4). Tijdens natte periode liggen deze waarde hoger dan in de droge periode, > 0,5 mm. Opvallend is dat bij de binnendijkse gebieden van de noordwestelijke polders (Happenhennip, Middelste Kievitswaard en Binnen Kievitswaard) ter hoogte van het toegepaste TGG meer kwel plaatsvindt (op sommige locaties 4,6 mm/dag) dan bij de oostelijke polders ('t Kooike en Steenenmuur). Vanwege de kwelsituatie is het onwaarschijnlijk dat materiaal uit de TGG uitloopt naar het dieper gelegen grondwater. Wel kan het, vermengd met de kwelstromen richting het oppervlaktewater migreren, zoals is weergegeven in het conceptuele model, Figuur 2.3.

### 3.3 Peilbeheer

In het buitenwater, de Nieuwe Merwede, wordt het waterpeil door Rijkswaterstaat vrijwel continu gemeten<sup>15</sup>. Dit meetpunt zit op ongeveer 1 km stroomopwaarts van de Noordwaard in de Biesboschhaven. De grenswaarden voor dit meetpunt worden in Tabel 3.3 weergegeven. Te zien is dat een waterstand tussen de 0,10 en 1,70 m NAP als een normale situatie wordt beschouwd. Ook in de waterwegen in de Noordwaard zijn de waterstanden gemeten, echter gaan deze metingen minder verder terug. Over het algemeen komen deze waterstanden overeen met de waterstanden gemeten in de Biesboschhaven (Wacker, 2020).

<sup>15</sup> [Waterhoogte - Rijkswaterstaat Waterinfo \(rws.nl\)](https://www.rws.nl/waterhoogte)

De weergegeven waterstanden liggen op gelijke hoogte en bij hoogwaterstanden zelfs tot de top van de TGG (0 – 3 m NAP), op basis van de as-buult tekeningen. Dit verhoogt de kans dat er situationeel (bij verhoogde waterstanden) horizontale kwelstromen, zie Figuur 2.3, in aanraking komen met de TGG in dijk. Met name voor de delen van de polders waar TGG vermoedelijk dieper onder het maaiveld is toegepast, de Happenhennip, Middelste Kievitswaard, Anna Paulowna polder en Binnen Kievitswaard (bruine lijnen in Figuur 2.1) is dit een verhoogd risico.

Tabel 3.3 Grenswaarden waterstanden RWS meetpunt 'Werkendam Buiten'. Bron: Wacker, (2020)

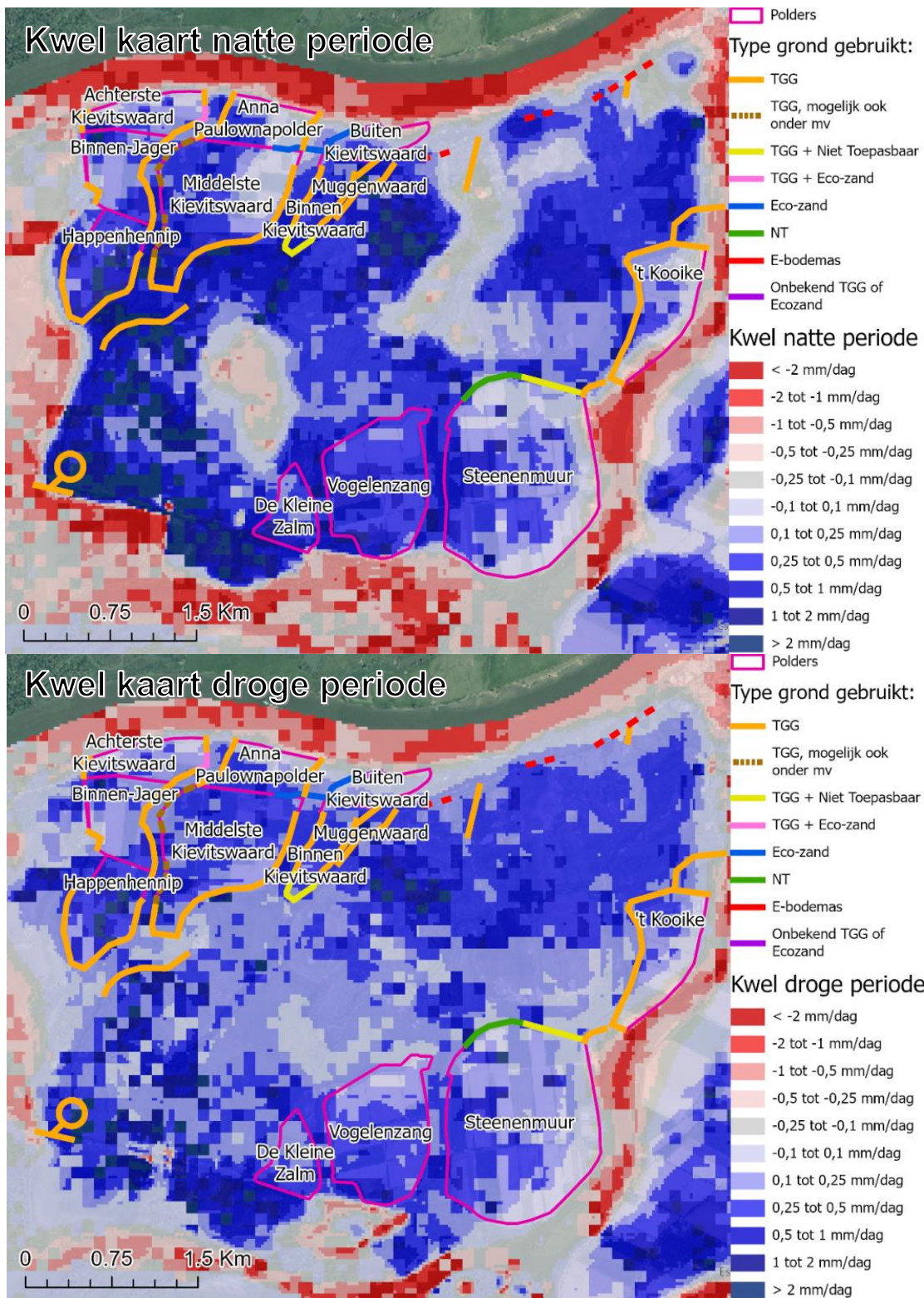
Omschrijving	Noordwaard functioneert als doorstroomgebied?	Waterhoogte (m NAP)
Laagwater	Nee	< 0,10
Normaal	Nee	0,10 tot 1,70
Licht verhoogd	Nee	1,70 tot 2,00
Verhoogde waterstand	Ja	2,00 tot 2,50
Hoogwater/Stormvloed	Ja	2,50 tot 3,00
Extreem hoogwater	Ja	> 3,00

De zomerpeil (vanaf 1 april) en het winterpeil (vanaf 1 oktober) zijn per polder bepaald, zie Tabel 3.4 & [actuele waterdata](#) van Waterschap Rivierenland. In Figuur 3.5 is de Gemiddeld Hoog Grondwaterstand (GHG) (Boven) en de Gemiddeld Laag Grondwaterstand (GLG) (beneden) in het Noordwaard gebied weergegeven na de ontpoldering in 2015. Hierbij is vooral bij kaart van met de Gemiddeld Hoog Grondwaterstand te zien dat het GHG rond de dijken met TGG ter hoogte van het maaiveld ligt. Hiermee ligt op verschillende plekken de TGG dus lager dan GHG. Er is een groter risico op uitloging als de TGG op verschillende locaties ook structureel in aanraking komt met het grondwater, dit geldt met name voor het hogere zomerpeil van -0,65 m NAP. Een nadere analyse van de stijghoogte van het grondwater (in combinatie met meten van de waterstand van het oppervlaktewater) zou aanwijzingen kunnen geven over de lokale hydrologie. Deze analyse kan ook inzicht verschaffen in waar eventueel peilfilters bijgeplaatst kunnen worden om de lokale hydrologie beter in beeld te krijgen.

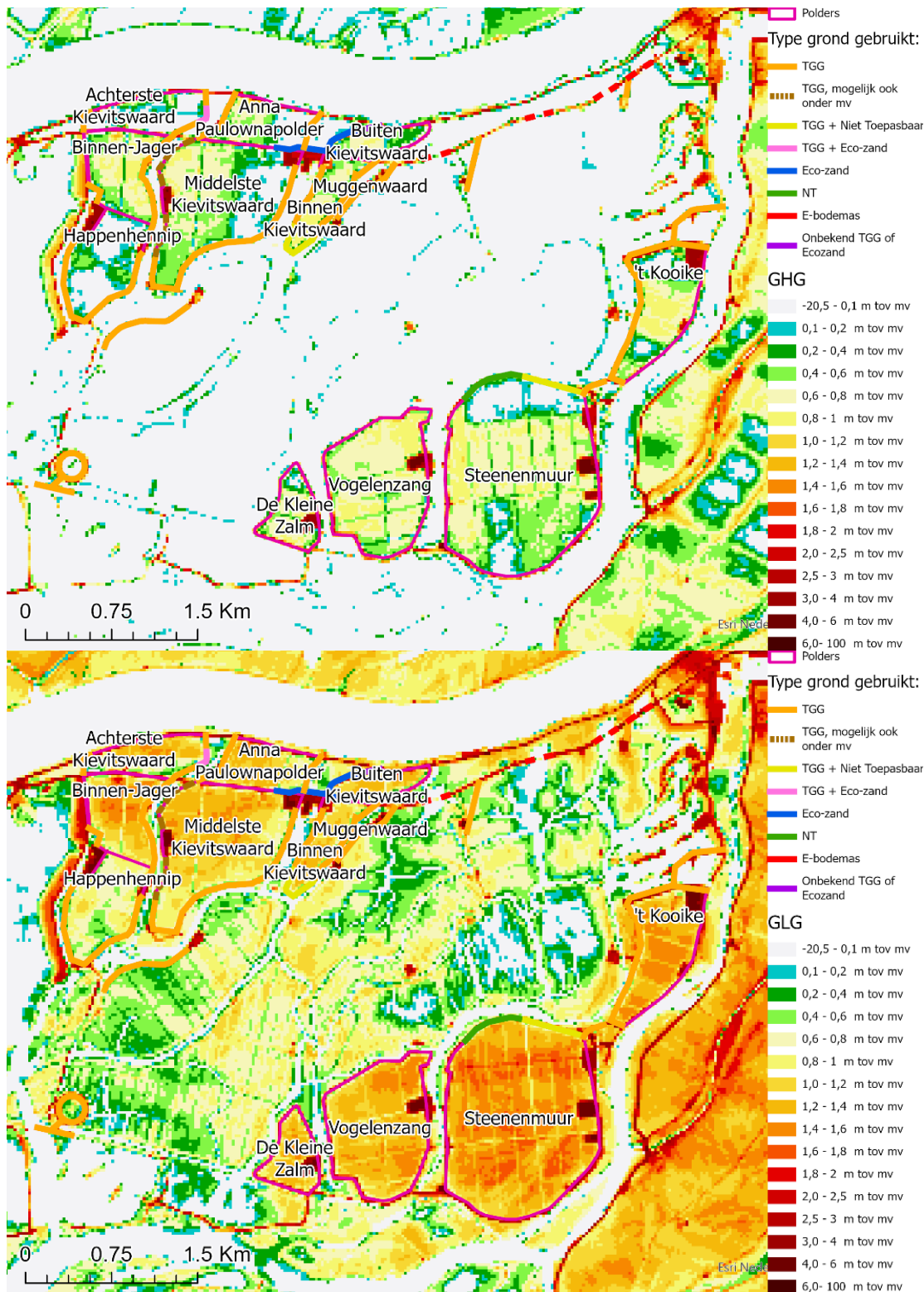
Tabel 3.4 Het zomerpeil en winterpeil per polder in de Noordwaard. Bron: Wacker, (2020)

Poldernaam (peilgebied)	Winterpeil (m NAP)	Zomerpeil (m NAP)
Happenhenhip (BPAB48)	-1,1	-0,65
Achterste Kievitswaard (BPAB48)	-1,1	-0,65
Anna Paulowna polder (BPAB49)	-1,1	-0,65
Middelste Kievitswaard (BPAB49)	-1,1	-0,65
Buiten Kievitswaard (BPAB50)	-1,1	-0,65
Binnen Kievitswaard (BPAB50)	-1,1	-0,65
Kleine Zalm (BPAB51)	-1,0	-0,30
Vogelenzang (BPAB52)	-1,0	-0,40
Steenenmuur (BPAB53A & B)	-1,0	-0,50 (A) & -0,70 (B)*
't Kooike (BPAB54)	-1,0	-0,70

\* Polder Steenenmuur bestaat uit meerdere peilgebieden,



Figuur 3.4 Kwelkaarten van Noordwaard. Een negatieve waarde voor kwel betekent dat het grondwater naar beneden stroom (inzijging), aangegeven in het rood. Blauwe gebieden zijn gebieden waar het grondwater omhoog komt. De dijken waar verschillende type TGG toegepast is (gekleurde lijnen), liggen in gebieden waar tussen de 0.1 en 2 mm kwel per dag plaatsvindt.



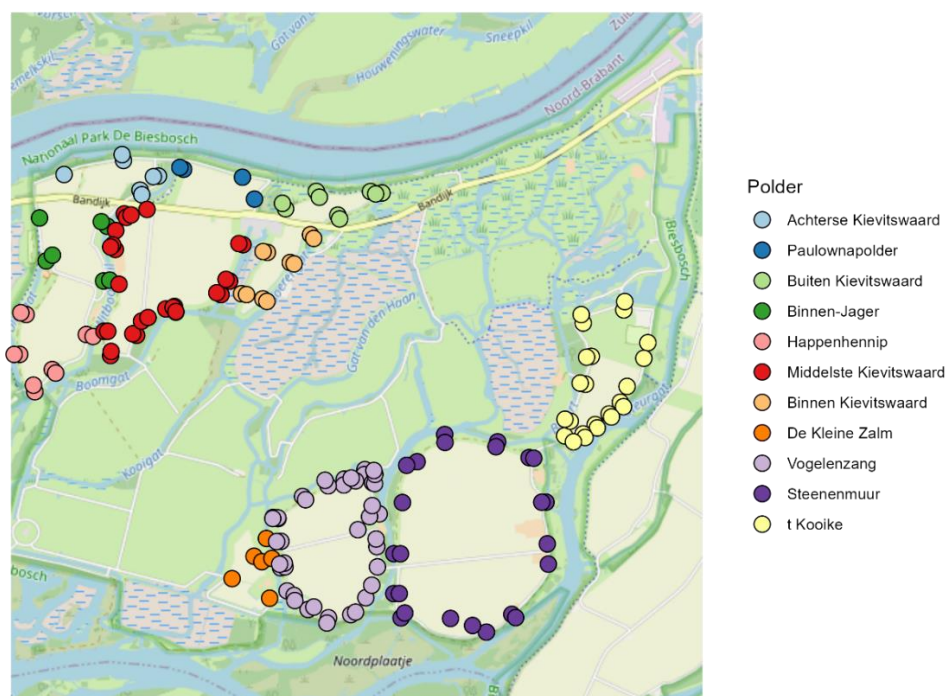
Figuur 3.5 De Gemiddeld Hoog Grondwaterstand (GHG) (Boven) en de Gemiddeld Laag Grondwaterstand (GLG) (beneden) in het Noordwaard gebied na de ontpoldering in 2015.

## 4 Analyse TGG oppervlaktewater

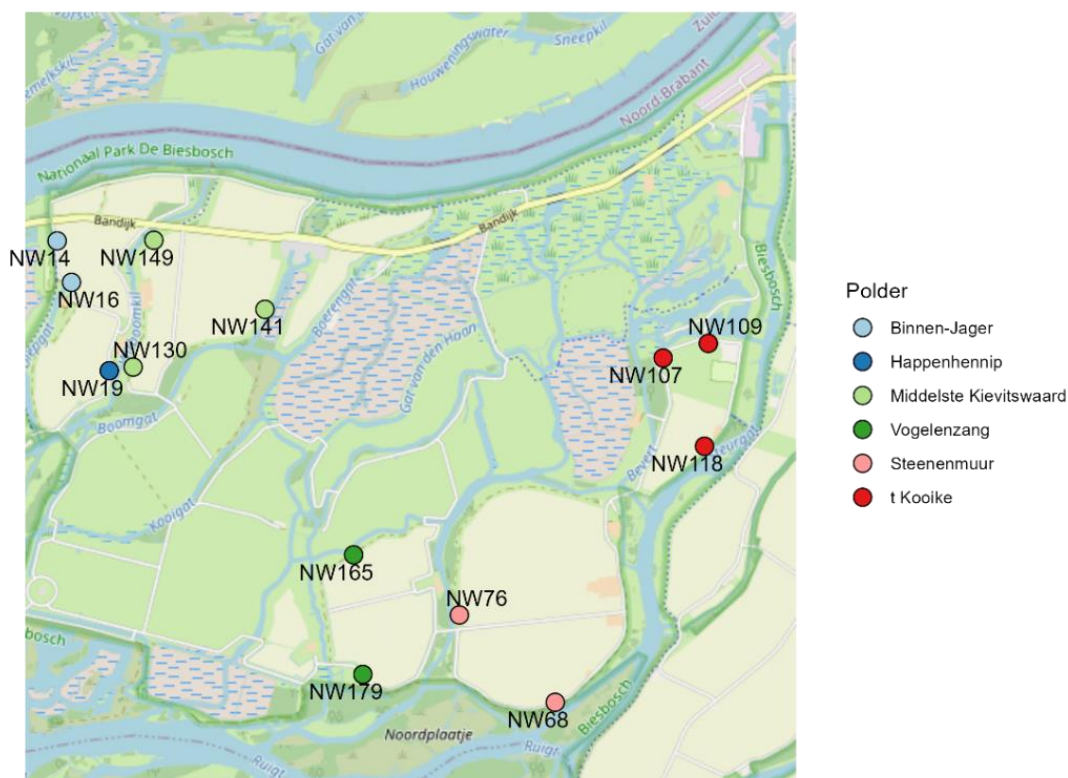
### 4.1 Interpretatie oppervlaktewatermonitoringsgegevens

Door Waterschap Rivierenland zijn monitoringsgegevens aangeleverd van oppervlaktewater metingen uit het gebied over een periode van drie jaar, van september 2019 tot september 2023. Dit is circa 4 jaar nadat de Noordwaard als doorstroomgebied is opgeleverd (2015). In totaal zijn er 543 steekmonsters van het oppervlaktewater genomen op 213 verschillende locaties verdeeld over de verschillende polders in de Noordwaard, zie Figuur 4.1. Voor de meeste van deze locaties zijn alleen algemene waterkwaliteitsgegevens (pH, zuurstof, EGV, doorzicht) gemeten. Voor een kleinere set aan meetlocaties, 13 in totaal, is consequent in de periode van 2019 – 2023 een groter analysepakket van fysisch-chemische parameters gemeten en geanalyseerd, die indicatief zijn voor eventuele uitloging van stoffen uit de TGG, zie Figuur 4.1. Deze meetpunten bevinden zich allemaal in de teensloten aan de binnenkant de dijk. De filosofie hierachter is dat als er een effect te meten is in het oppervlaktewater, dat dit het eerste zichtbaar is in die teensloten die direct aan de dijk liggen. Een vergelijkbaar effect is in principe ook te verwachten aan de buitendijkse kant, maar hier zal het minder zichtbaar zijn, doordat het in een groter waterlichaam terecht komt en daarmee sneller verdund wordt. In de binnensloot vindt deze verdunning in mindere mate plaats.

De metalen in het analysepakket zijn zowel voor als na filtratie van het water geanalyseerd. Het uitgebreidere analysepakket bestaat uit verschillende metalen, anionen (bromide, chloride, fluoride, sulfaat), bicarbonaat, organochloorverbindingen, PAK's, (polychloor bifenyl en PCB's) en verschillende PFAS verbindingen. Hierin zitten alle stoffen die in dit rapport als indicator voor TGG uitloging zijn aangemerkt, met uitzondering van antimoon, benzeen, toluen & 1,2,4-trichloorbenzeen. Voor de gehele lijst aan gemeten stoffen in het uitgebreidere analysepakket, zie bijlage C.



Figuur 4.1. Overzicht van alle oppervlaktewater-metlocaties in de verschillende polders van de Noordwaard waar in de periode van september 2019 – september 2023 is gemeten.



Figuur 4.2. Overzicht van oppervlaktewatermeetlocaties waar een uitgebreider analysepakket is toegepast. De namen van de individuele meetlocaties zijn als label bij elk punt weergegeven.

#### 4.1.1 Locatie TGG t.o.v Meetlocaties

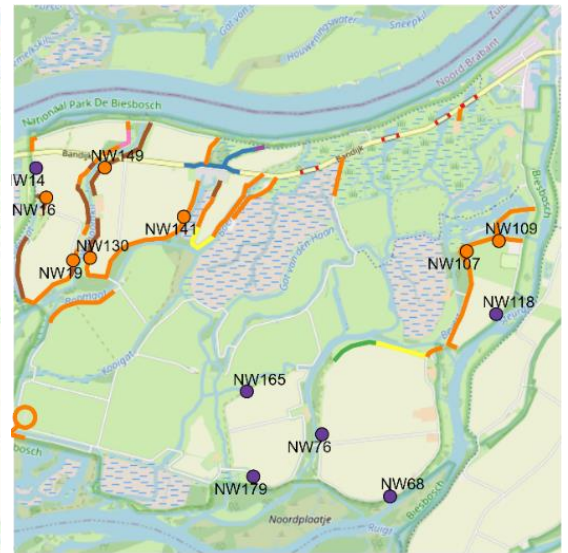
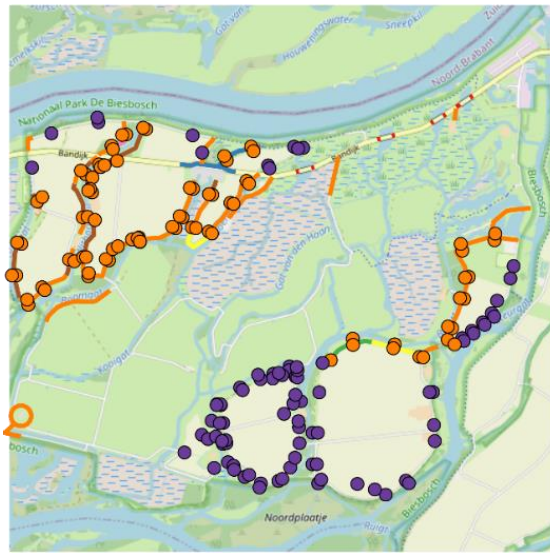
De meetpunten zijn geclassificeerd afhankelijk van hun nabijheid met een locatie waar TGG is toegepast, zie Figuur 4.3. Per meetpunt is aangegeven of deze zich wel (oranje bollen) of niet (paarse bollen) bevindt in een teensloot van een dijkgedeelte waar TGG is toegepast. De locaties in teensloten van dijken zonder TGG (paars) dienen in dit rapport als een referentie ten opzichte van de locaties waar wel TGG is toegepast. Voor de meetlocaties waar met een uitgebreider analysepakket is gemeten resulteerde dit in zes referentie locaties en zeven locaties die direct naast TGG toepassingslocaties liggen, zie Figuur 4.3 (rechts). De referentiepunten liggen in ieder geval op meer dan 100 meter afstand van dijken waar TGG is toegepast. Het grootste gedeelte van de referentiepunten ligt in de polders ten zuidoosten van het doorstroomgebied en de meeste van de TGG meetlocaties liggen ten noordwesten van het doorstroomgebied.

Met name bij de meetpunten de NW16, NW130, NW149 wordt verwacht dat een eventuele signatuur van TGG zichtbaar is, omdat de TGG is op basis van de as-built tekeningen vermoedelijk is toegepast op ongeveer gelijke hoogte als de zomerpeil (zie Figuur 2.3).



### Algemeen parameters

### Uitgebreid analysepakket

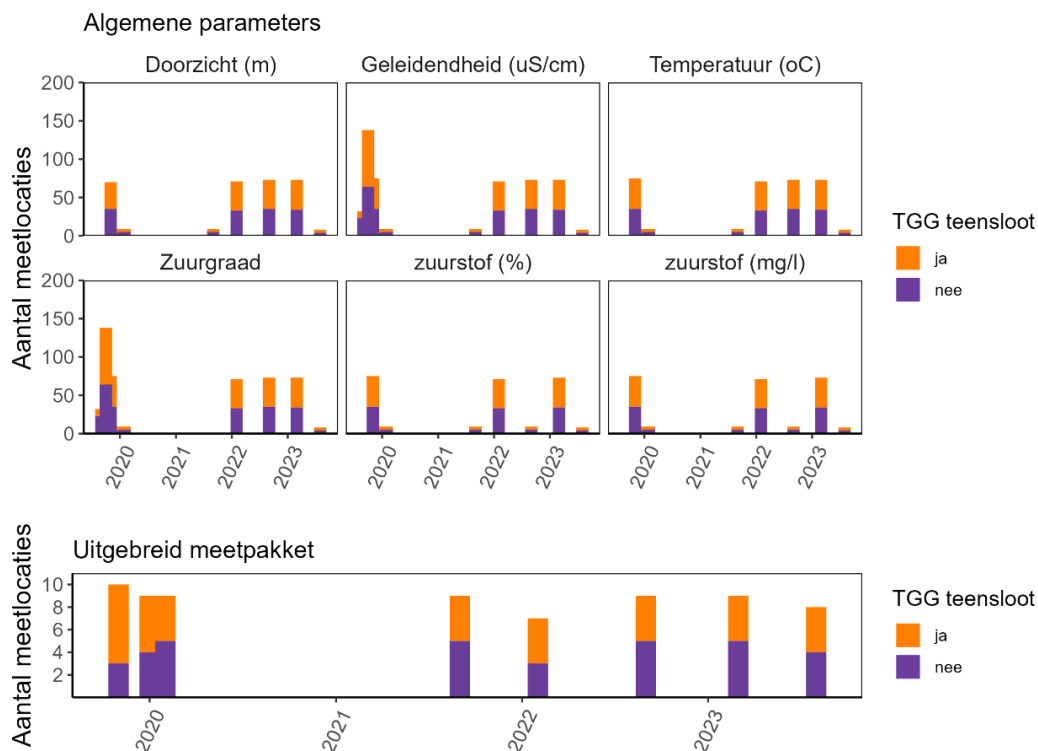


Meetpunt in teensloot van dijk met TGG Type TGG

- |  |   |  |  |  |  |
|--|---|--|--|--|--|
| <span style="color: orange;">●</span> ja | <span style="color: purple;">●</span> nee | <span style="color: red;">—</span> E-bodemas | <span style="color: green;">—</span> NT        | <span style="color: orange;">—</span> TGG      | <span style="color: brown;">—</span> TGG, mv     |
|  |   | <span style="color: blue;">—</span> Eco-zand | <span style="color: purple;">—</span> Onbekend | <span style="color: yellow;">—</span> TGG + NT | <span style="color: pink;">—</span> TGG+Eco-zand |

*Figuur 4.3* Overzicht van meetpunten ten opzichte van de locaties waar TGG/eco-zand is toegepast. Per meetpunt is aangegeven of deze zich wel (oranje bollen) of niet (paarse bollen) in een teensloot van een dijkgedeelte waar TGG is toegepast.

De meetfrequentie van de 13 locaties met uitgebreider meetpakket is in 2022 & 2023, 2 maal per jaar geweest, in de periode van eind februari – maart en eind augustus – september, *Figuur 4.4*. Het is twee maal bemonsterd om de zomer- en wintersituatie in beeld te krijgen, aan het eind van de droge en natte periode qua peilbeheer (hoog en laag peil, zie Tabel 3.4) In 2021 zijn in september metingen uitgevoerd, in 2020 in januari en februari en in 2019 is er bemonsterd in september, oktober en november. Het aantal oppervlaktewatermetingen in teensloten van dijken met en zonder TGG is per meetronde ongeveer 50/50, *Figuur 4.4*



Figuur 4.4. Aantal bemonsterde locaties per maand in periode 2019 – 2023. De kleuren geven aan of de meetlocatie in een teensloot nabij een dijk met TGG ligt of niet.

Op basis van de as-built tekeningen en de grondstromen tekening, is voor deze uitgebreide meetpunten in kaart gebracht hoeveel TGG er in die sectie van de dijk is toegepast en van welke producent, ATM of Theo Pouw, het afkomstig is, Tabel 4.1. Daarnaast is in aangeven of de TGG ook onder het maaiveld is toegepast, zie figuur 2.3 ter illustratie. Het grootste deel van de bemonsterde teensloten naast dijken met TGG liggen op locaties waar 100% ATM TGG is toegepast. Door het ontbreken van TGG-metpunten die naast dijken met 100% Theo Pouw TGG liggen is het met de huidige dataset lastig om eventuele verschillen in signatuur door verschil in productieproces tussen ATM en Theo Pouw, waaronder de toevoeging van bromide, te detecteren. Meetpunten in de Binnen Kievitswaard, bijna 100% Theo Pouw TGG, zouden hier een uitkomst geweest kunnen zijn. Eventuele verschillen zijn bij de huidige dataset mogelijk te verwachten bij NW141, dat 75% Theo Pouw TGG is, t.o.v. de overige meetpunten die 100% ATM TGG zijn.

Tabel 4.1. Overzicht van de meetlocaties in een teensloten nabij dijken waar TGG is toegepast (TGG ja) waar een met uitgebreid analyse pakket is gemeten. Voor elke meetlocaties is aangegeven bij welke dijk sectie deze hoort en van welke producent er TGG in deze sectie is toegepast. Tevens is aangegeven of de TGG ook onder het maaiveld is toegepast, op basis van de as-built tekeningen.

Meetpunt	Polder   subsectie	TGG ATM	TGG Theo Pouw	Mogelijk TGG onder maaiveld
NW16	Binnen Jager   sectie 2	onbekend	onbekend	Ja
NW19	Happenhennip   sectie 5	14028 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	Nee
NW149	Middelste kievitswaard   sectie 4	15058 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	Ja
NW130	Middelste kievitswaard   sectie 1	13775 m <sup>3</sup>	0 m <sup>3</sup>	Ja
NW141	Middelste kievitswaard   sectie 2	5384 m <sup>3</sup>	24390 m <sup>3</sup>	Nee
NW107	't Kooike   sectie 2	100% <sup>16</sup>	0 m <sup>3</sup>	Nee
NW109	't Kooike   sectie 1/2	100% <sup>15</sup>	0 m <sup>3</sup>	Nee

## Dataverwerking

De metingen in het oppervlaktewater (concentraties) van stoffen op de meetlocaties zijn in opdracht van Waterschap Rivierenland uitgevoerd en monsternamen en analyses door het laboratorium Aquon. Vervolgens zijn in de huidige rapportage de meetresultaten door Deltares verwerkt en geanalyseerd met het software programma R versie 4.3.1.

## 4.2 Analyse van de TGG indicatorstoffen

Zoals beschreven in hoofdstuk 2.4 zijn er bepaalde stoffen die karakteristiek zijn voor TGG in het oppervlaktewater. Als er mogelijke beïnvloeding van het oppervlaktewater door TGG plaatsvindt dan zou dit eerst terug te zien moeten zijn in de concentraties van die stoffen. De parameters die vaak geassocieerd worden met TGG zijn een hoge pH, verhoogde zoutconcentraties, (o.a. Na, K, Ca, Cl, Br, sulfaat), zware metalen (waaronder arseen, molybdeen, vanadium, barium), en vluchtige stoffen: benzeen (niet gemeten, toluen (niet gemeten), fenantreen, beta-HCH en 1,2,4-trichloorbenzeenen (niet gemeten) & 6:2 FTS. Dat deze stoffen regelmatig in de bron voorkomen (TGG), wil niet zeggen dat ze ook in het oppervlaktewater worden verwacht. Zo zullen vluchtige stoffen (als ze er al naar toe migreren) waarschijnlijk niet worden aangetroffen. Bovendien is de pH in het grondwater waarschijnlijk al geneutraliseerd. Door retardatie zullen stoffen als molybdeen en vanadium pas vertraagd in het oppervlaktewater kunnen komen. Bovendien is het ook mogelijk dat door uitloging uit de TGG (met name daar waar de pH hoog is; of het zoutgehalte hoger is dan de bodem waarnaar de uitloging plaatsvindt) stoffen in de bodem gemobiliseerd worden.

In dit hoofdstuk worden de monitoringsresultaten van deze TGG indicatoren weergegeven.

In de volgende sub-paragrafen worden bij verschillende stoffen de normen van de Kaderrichtlijn Water (KRW) of indien niet beschikbaar de normen van een ouder beoordelingskader weergegeven. De KRW kent twee normen: de jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm (JG-MKN) voor chronische (langdurige) blootstelling van waterorganismen en de Maximaal Aanvaardbare Concentratie milieukwaliteitsnorm (MAC-MKN) voor acute (kortdurende) blootstelling van waterorganismen. Wanneer voor stoffen geen JG-MKN normwaarde beschikbaar is, wordt de Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau

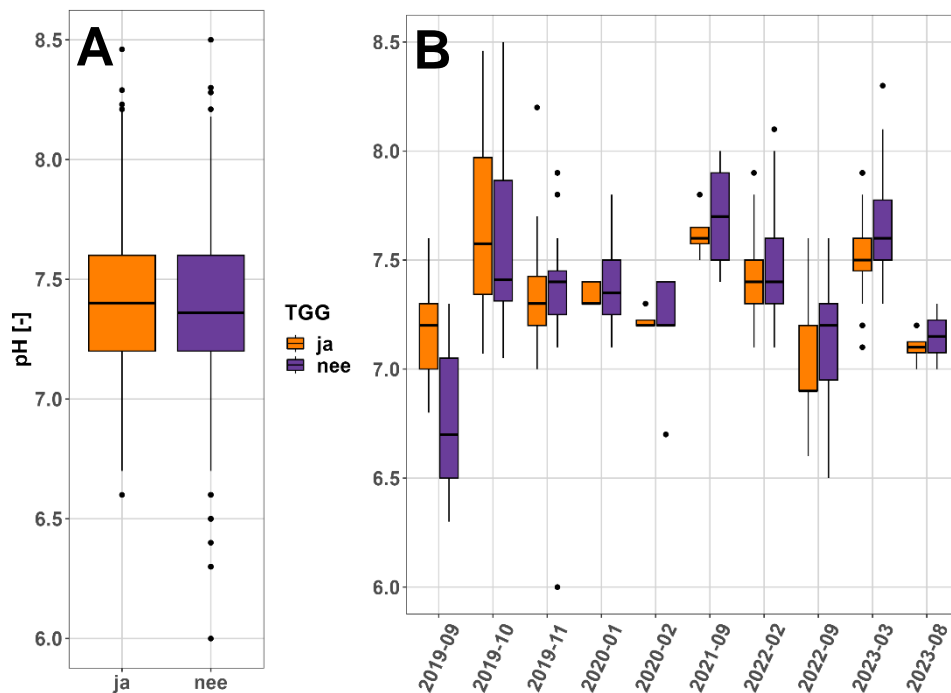
<sup>16</sup> Exacte volume van TGG voor de verschillende secties in 't Kooike is onbekend, maar totale volume TGG in 't Kooike is wel bekend, namelijk 153666 m<sup>3</sup>, en is 100% afkomstig van ATM.

(MTR) weergegeven. Daarnaast wordt qua normen per stof onderscheidt gemaakt tussen concentraties in het totale monster en nadat het monster is gefiltreerd. Alle normen zijn verkregen via <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/>.

De oppervlaktewatervolmetingen in dit rapport zijn niet getoetst aan de normen omdat het aantal metingen per jaar te laag is, (Hoijsink et al., 2020). Desondanks kan ook als er geen volledige meetreeks is, maar slechts enkele metingen, een vergelijking met de beschikbare normen toch informatie opleveren over de ernst van het probleem. Is een enkele meting hoger dan de MAC-MKN, dan geeft dat aan dat acute effecten op dat moment niet uitgesloten zijn. Ligt de meting tussen MAC-MKN en JG-MKN, dan is de verwachting dat er geen acute effecten zijn optreden, maar zijn langetermijneffecten niet uitgesloten als de stof langer in het water aanwezig is (geweest). Ligt een enkele meting beneden de JG-MKN, dan is op dat moment geen effect te verwachten. Als er geen MKN-waarden zijn kan een vergelijking met het MTR soortgelijke informatie geven.

#### 4.2.1 Zuurgraad (pH)

De pH in het oppervlaktewater is 541 keer gemeten in de periode tussen september 2019 en augustus 2023, Figuur 4.5. De pH meetwaarde varieert tussen 6 en 8,5 en de pH-metingen verschillen niet wezenlijk tussen meetlocaties nabij dijken waarin TGG is verwerkt en dijken waarin dit niet het geval was. Uitloging vanuit de TGG kan leiden tot een verhoogde pH van tot wel 11 direct uit de TGG, (Van Bruchem & Eversdijk, 2018). In grond worden dergelijk hoge waarden echter niet of nauwelijks aangetroffen, door bufferende werking en verdunning. In het oppervlaktewater is dit niet meer waarschijnlijk, en zoals Figuur 4.5A laat zien is er ook geen zichtbaar verschil tussen de teensloten nabij een dijk met of zonder TGG. Ook door de tijd heen is, kijkend naar de nattere (jan-mrt) en drogere (aug-sep) periodes, geen duidelijk verschil tussen teensloten nabij dijken met en zonder TGG.

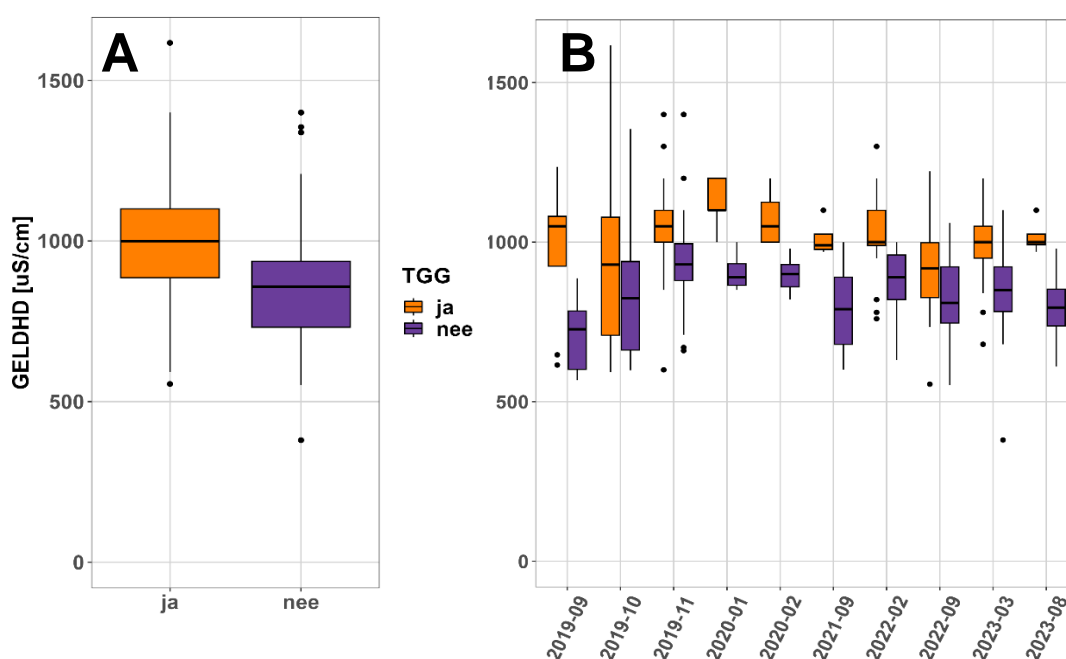


Figuur 4.5 Boxplots van pH in het oppervlaktewater voor de gehele periode (A) en per meetronde (B). De locaties in teensloten langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, zonder TGG zijn weergegeven in het paars.

## 4.2.2 Zouten

Voor zouten is zowel gekeken naar de elektrische geleidbaarheid (EGV), als algemene maat voor de hoeveelheid opgeloste ionen, als naar afwijkende opvallende meetwaarden van de verschillende anionen en kationen in het oppervlaktewater.

De EGV werd verhoogd gemeten bij meetlocaties nabij dijken waarin TGG is verwerkt ten opzichte van dijken waarin dit niet het geval was, Figuur 4.6. Met name de meetlocaties in de polders waar ook een grotere (relatieve zoutere) kwelstroom plaatsvindt, Happenhennip, Middelste Kievitswaard en Binnen Kievitswaard (Figuur 3.4) hebben hoge EGV waarden, maar ook bij TGG meetlocaties in 't Kooike, waar minder kwel plaatsvindt (0.2 mm/dag in natte periode) worden waarden van 1600  $\mu\text{S}/\text{cm}$  gemeten. De mediaan van locaties bij dijken met TGG (TGG Ja in het figuur) ligt rond de 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , dit is vrij hoog. De meeste EGV-waarden voor rivierwater-beïnvloede systemen zit zo rond de 500-700  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Pers com, Waterschap Rivierenland). Locaties zonder TGG liggen aanzienlijk dichter in de buurt van de 500-700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dit op zichzelf is een indicatie dat er bij de TGG meetlocaties iets aan de hand is.

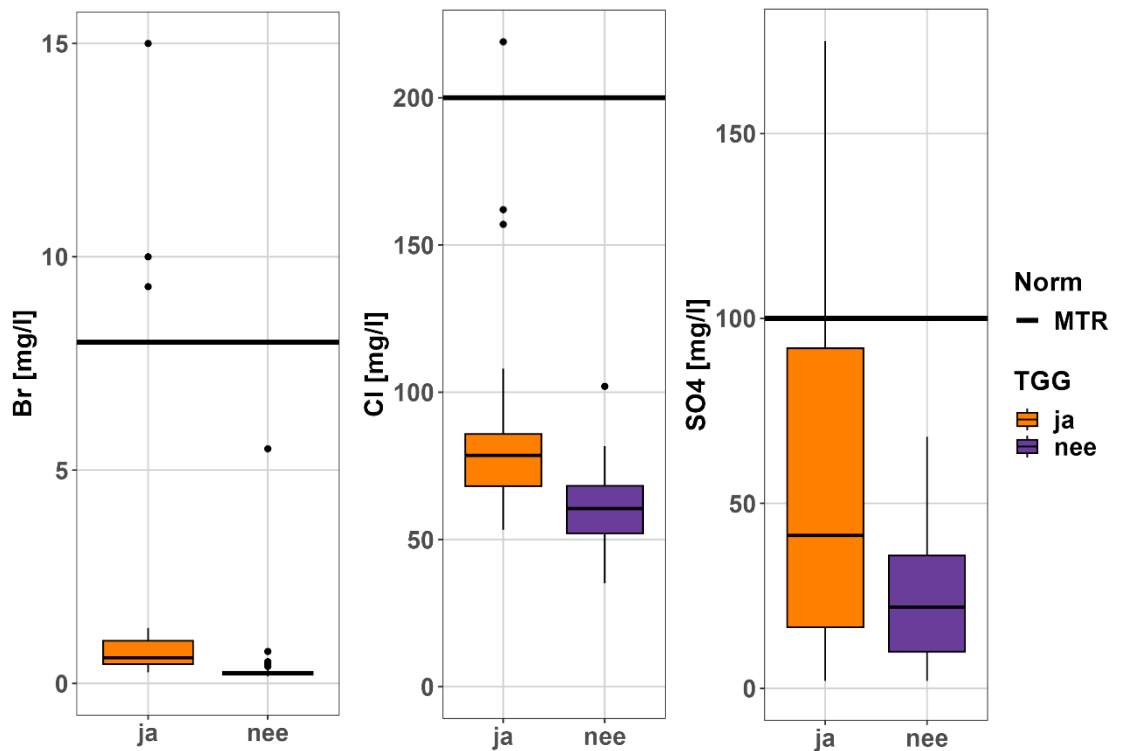


Figuur 4.6 Boxplots van geleidbaarheid (EGV) in het oppervlaktewater voor de gehele periode (A) en per meetronde (B). De locaties in teensloten langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, zonder TGG zijn weergegeven in het paars.

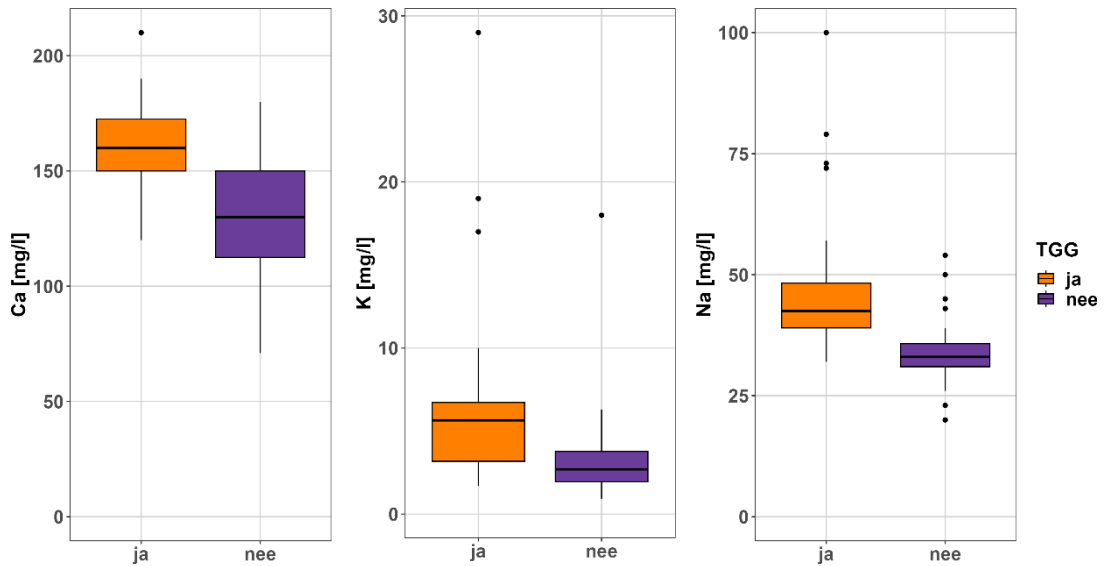
Voor de anionen bromide, chloride, fluoride en sulfaat worden op meerdere bemonsteringsrondes uitschieters gemeten die boven de MTR-MKN komen. Opvallend is dat dit met name gebeurt bij locaties die in teensloten van dijken/kades met TGG liggen Figuur 4.7. In totaal zijn er 70 metingen uitgevoerd waarvan 36 geclassificeerd zijn als "TGG Ja" en 34 als "TGG Nee". Voor zowel de anionen (bromide, chloride en sulfaat) en de kationen (calcium, kalium en natrium) liggen de concentraties van deze indicatorstoffen bij de locaties in teensloten naast dijken met TGG hoger dan de locaties naast dijken zonder TGG. Bromide, dat voornamelijk als indicator voor TGG afkomstig van ATM is, zijn met name de polder 't Kooike (NW107, NW 109 en referentie NW118) hoge uitschieters gemeten in 2019, de zwarte punten in Figuur 4.7. Deze concentraties liggen hoger dan de MTR-MKN norm voor bromide

landoppervlaktewater (zoet), 8 mg/l. De hoge metingen zouden verklaard kunnen worden door uitloging van TGG, omdat de TGG in die in deze polder is toegepast is in zijn geheel afkomstig van ATM. Met 153666 m<sup>3</sup> is het bovendien een groot deel van het totaal toegepast volume aan TGG. Het is niet duidelijk of de meting in 't Kooike een uitschieter is of dat het meetpunt structureel verhoogd concentraties heeft, omdat het alleen in 2019 is bemonsterd.

Vanuit de MER van Projectbureau Noordwaard (2010) zijn historische metingen uit 2004-2008 voor chloride en sulfaat beschikbaar, Tabel 3.2. Chloride schommelde in die jaren rond de 50 mg/l en sulfaat rond de 35-65 mg/l. De huidige metingen voor chloride liggen hierboven voor zowel locaties bij dijken met (mediaan is 75 mg/l) als zonder TGG (mediaan is 60 mg/l). De veranderingen in dynamiek van het systeem door de ontpoldering kunnen een oorzaak zijn van deze verhogingen, maar opvallend blijft het verschil tussen TGG ja t.o.v. TGG nee. Voor sulfaat zijn de gemeten concentraties vergelijkbaar met de historische metingen. Wel zijn t.o.v. de historische metingen de uitschieters voor sulfaat in de Happenhennip (147 mg/l), Middelste Kievitswaard (max 159 mg/l) en 't Kooike (max 175 mg/l) op locaties naast dijken met TGG, zeer verhoogd.



Figuur 4.7 Boxplots van de anionen: bromide, chloride en sulfaat in het oppervlaktewater. De locaties in teensloten langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, zonder TGG zijn weergegeven in het paars. De dikke lijn geeft de geldende norm weer, in dit geval de MTR (resp. 8, 200 en 100 mg/l)



Figuur 4.8 Boxplots van de kationen: calcium, kalium en natrium in het oppervlaktewater. Voor deze metalen zijn de concentraties na filtratie van het water weergegeven. De locaties in teensloten langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, zonder TGG zijn weergegeven in het paars. Er zijn geen geldende KRW of oudere normen voor deze stoffen in zoet water bekend in <https://rvszoekstelsysteem.rivm.nl/Stoffen>

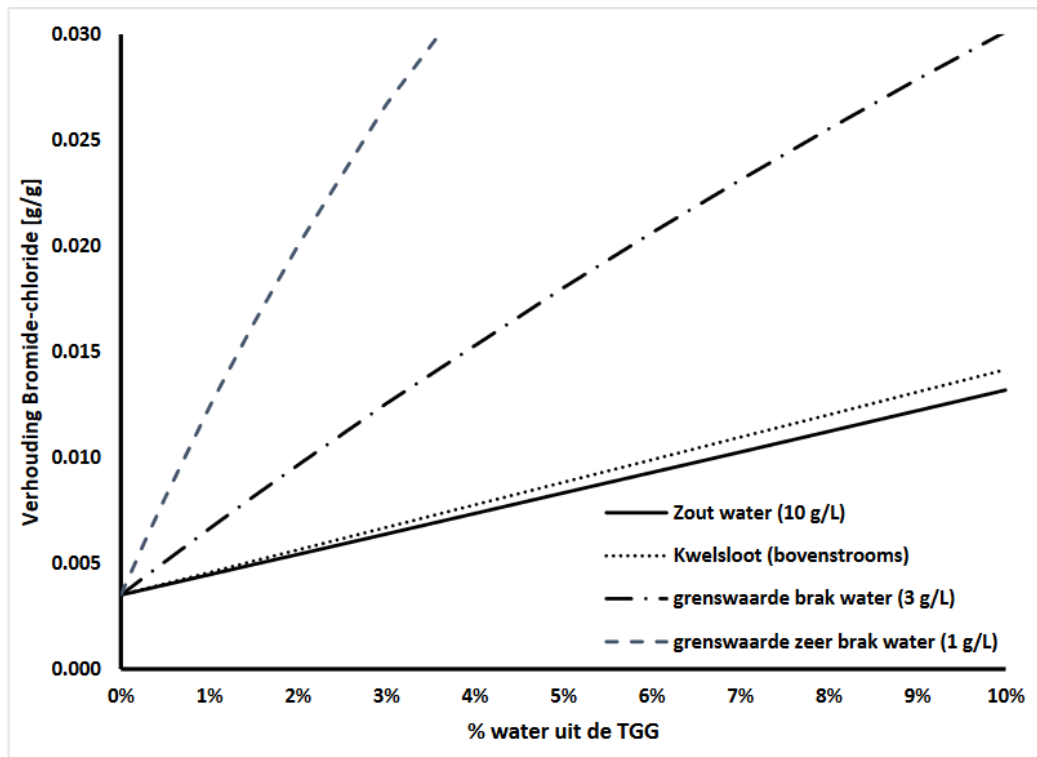
#### 4.2.2.1 Bromide – chloride verhouding

Omdat er diverse bronnen zijn voor de aanwezigheid van deze (macro)ionen zijn ook de verhoudingen tussen de bromide en chloride weergegeven. Zo is de bromide-chlorideverhouding voor zeewater (en regelmatig ook zoute kwel, relevant voor de Noordwaard) zeer constant (0,0035 g/g), maar wordt bij TGG (van ATM) juist vaak een verhoging waargenomen (Van der Star et al., 2019), vanwege toevoeging van broom tbv kwikreiniging (Langevoort et al., 2023).<sup>17</sup>

Bij de boringen in het toegepaste TGG bij de zeedijk van Perkpolder in 2021 (Van den Meiracker et al., 2023) was de verhouding tussen bromide en chloride in het materiaal gemiddeld 0,11 g/g. Deze TGG is in dezelfde periode toegepast als die in de Noordwaard (rond 2015) en ook afkomstig van ATM. De aangetroffen bromide-chloride verhouding in het oppervlaktewater kan daarmee een indicatie geven van de bron van bromide en chloride. Indien de bromide-chloride verhouding ruim hoger is dan 0,0035 g/g dan wijst dat op mogelijke verontreiniging vanuit de TGG. In het Perkpolder onderzoek, dat te maken heeft met zouter water vanuit de Westerschelde, wordt een structurele verhoging boven 0,0045 aangehouden.

In het onderstaande figuur, afkomstig uit (Van den Meiracker et al., 2023) is te zien hoe water uit de TGG effect heeft op de bromide-chloride verhouding in het ontvangende water. Het effect is sterker in zoet water.

<sup>17</sup> Sulfaat ook verhoogd, en daarmee zou wellicht ook de sulfaat-bromide of sulfaat-chloride verhouding een relevante indicator kunnen zijn, maar omdat sulfaat een hogere attenuatie heeft (het blijft makkelijker aan kleideeltjes plakken) en omdat het kan worden omgezet (via sulfaatreductie in sulfide) is het geen constitutieve parameter en daarom minder bruikbaar.



Figuur 4.9 Effect van mengen met water uit de TGG op de bromide-chloride-verhouding bij verschillende chloridegehalten (Van den Meiracker et al., 2023)

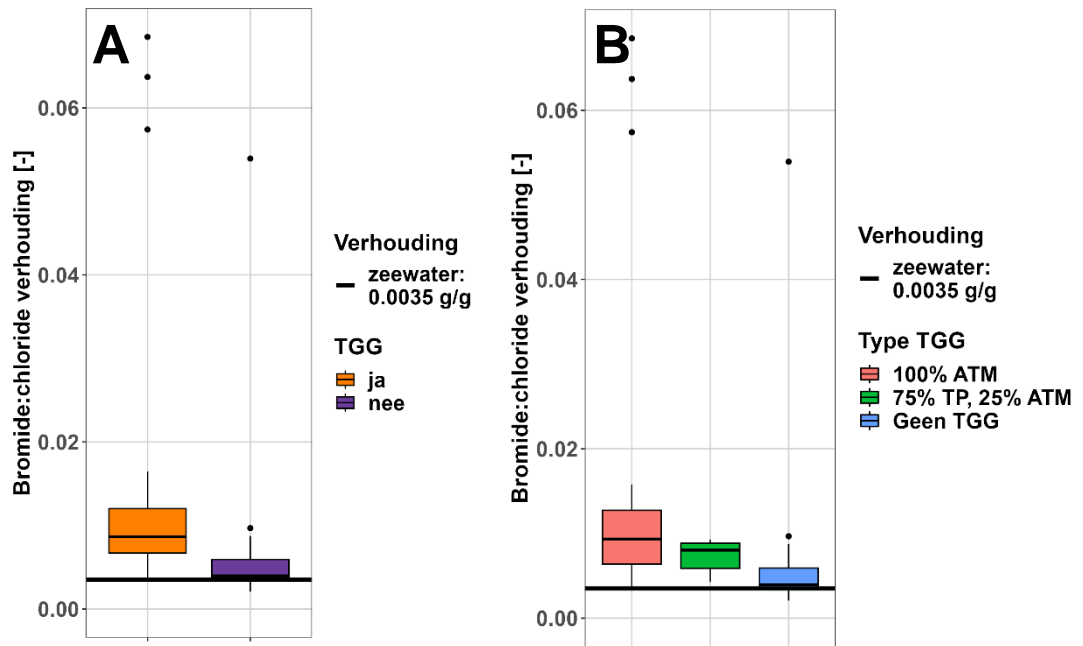
In de Noordwaard zijn de oppervlaktewatermeetlocaties nabij dijken met TGG onderscheidend, Figuur 4.10. De hoeveelheid bromide ten opzichte van chloride ligt ruim hoger dan de 0,0035. Bij de locaties naast dijken met TGG is de mediaan van de verhouding 0,009 g/g (gemiddelde = 0,0168 g/g). Deze verhoging is structureel door de tijd heen en wijst daarmee op verontreiniging vanuit de TGG. Op basis van Figuur 4.9 is te zien dat menging van minder dan 1 procent aan water afkomstig van de TGG met het zeer brakke water (1 g/L) al de verhogingen van de bromide:chloride verhouding kunnen verklaren. Bij zoet water zoals in de Noordwaard zal dit effect nog sterker zijn.

Bij meetlocaties zonder TGG ligt de mediaan van 0.00396 g/g aanzienlijk dichterbij verhouding voor zout kwel. Het feit dat deze waarde alsnog hoger liggen kan duiden op een andere bron van bromide of dat sommige referentiepunten toch ook worden beïnvloed door TGG. Het is niet helder of alle referentiepunten 'stroomopwaarts' zijn geplaatst, zodat beïnvloeding door TGG kan worden uitgesloten, mede omdat het in de praktijk erg complex is geschikte referentielocaties te vinden.

In Figuur 4.10B is de locatie waar grotendeels TGG van Theo Pouw (75%) is toegepast, locatie NW141 in de Middelste Kievitswaard, apart weergegeven. Voor deze TGG wordt een lager bromide gehalte verwacht. De mediaan voor de bromide:chloride verhouding ligt bij dit punt met 0.008 g/g lager dan bij de TGG punten waar 100% ATM is toegepast, maar wel hoger dan de locaties zonder TGG.



Bromide:chloride verhouding:



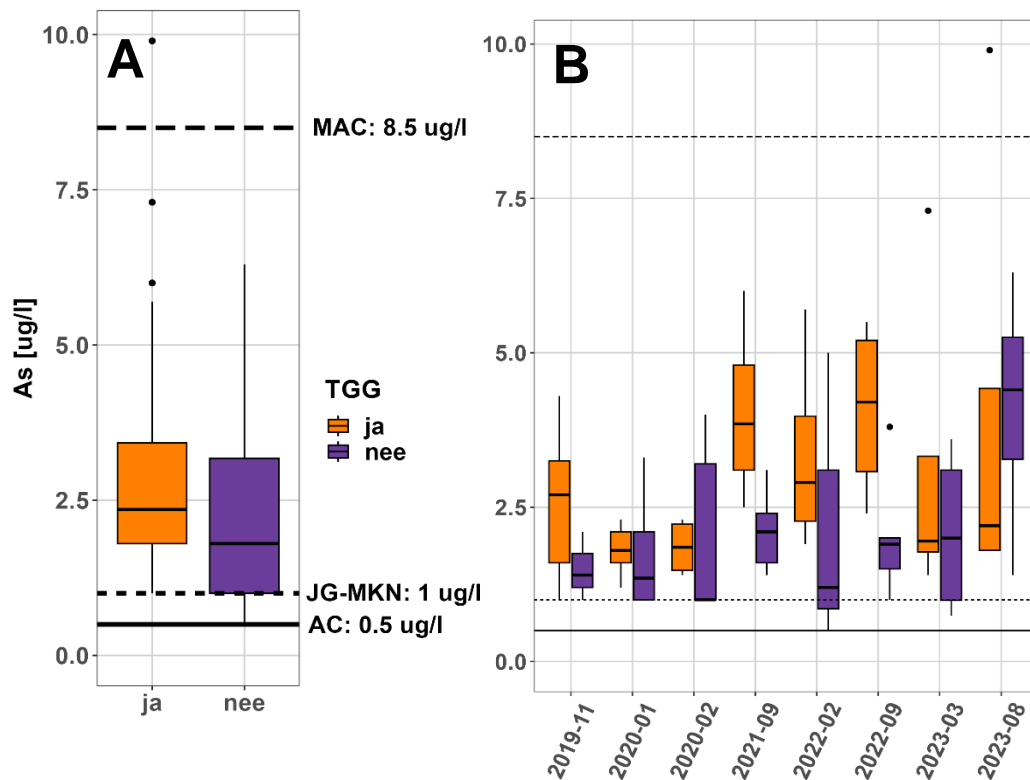
Figuur 4.10 Boxplots van bromide:chloride verhouding in het oppervlaktewater voor de gehele periode (A) en (B) opgesplitst voor de meetlocaties nabij dijksecties met 100% ATM TGG (NW19, NW149, NW130, NW107, NW109), 75% Theo Pouw TGG (NW141) en geen TGG (NW14, NW68, NW76, NW118, NW165, NW179).

#### 4.2.3 Zware metalen

Bij de meetlocaties met het uitgebreidere meetpakket zijn voor de zware metalen zowel een ongefilterd als ook een gefiltreerd monster geanalyseerd. Bij de onderstaande beoordeling van de resultaten is uitgegaan van de gefiltreerde monsters (conform de geldende normen). De concentraties van indicatorstoffen arseen, barium, molybdeen zijn weergegeven in Figuur 4.11 en Figuur 4.12. De indicatorstof vanadium is in de oppervlaktewatermetingen alleen maar onder de rapportagegrens (<5 µg/l) gemeten en niet weergegeven. Een verblijftijd berekening voor stoffen als vanadium zou hier uitkomst bieden om te zien of het al te verwachten is dat vanadium vanuit TGG kan worden aangetroffen. Indicatorstof antimoon is niet gemeten en is daarom niet verder meegenomen in de analyse

#### Arseen

Uit de oppervlaktewatermonsters van 2019-2023 voor arseen blijkt dat de gemeten waarde structureel boven de jaargemiddelde norm (JG-MKN) voor landoppervlaktewateren komt en één enkele keer voor arseen boven de MAC norm uitkomt (TGG meetlocatie in de Middelste Kievitswaard (9,9 µg/L) in augustus 2023). De gemeten concentraties liggen voor zowel meetlocaties bij dijken met en zonder TGG boven de JG-MKN. Ook is te zien dat de laatste jaren vaker hogere waarden worden aangetroffen (Figuur 4.11B). Omdat de TGG in de referentie locaties ook mee beweegt met de verhogingen is het waarschijnlijk dat het arseen in het oppervlaktewater wordt gemobiliseerd als het gevolg van de ontpoldering zelf (Spijker, 2008). Daarbij kan sprake van zijn oxidatie van in de veenlenzen aanwezig pyriet en de reductie van ijzeroxiden, maar kan ook van uitwisseling van arseen geabsorbeerd aan kleien. Of uit de TGG logende stoffen daarvoor de "trigger" zijn zou kunnen, of dat dit een algemeen effect is van de ontpoldering is niet goed te zien zonder verdere mechanistische analyse.



Figuur 4.11 Boxplots van arseen in de Noordwaard voor de gehele periode (A) en per meetronde (B). De locaties in teensloten langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, zonder TGG zijn weergegeven in het paars. De horizontale lijnen geven de geldende normen weer, AC = Achtergrondconcentratie, JG-MKN = Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm en MAC = Maximaal Aanvaardbare Concentratie.

### Barium

Barium komt zowel voor de meetlocaties nabij dijken met TGG als zonder TGG in concentraties voor die boven de JG-MKN uitkomen, Figuur 4.12. Ondanks dat barium van nature in verhoogde concentraties voorkomt in het gebied, is het wel zo dat bij de locaties met TGG gemiddeld significant hogere waarden gemeten worden dan bij locaties in teensloten van dijken zonder TGG (133  $\mu\text{g/L}$  t.o.v. 104  $\mu\text{g/L}$ , eenzijdige t-test  $p < 0.05$ ).

### Molybdeen & Vanadium

De concentraties molybdeen liggen gemiddeld rond de te verwachten achtergrond concentraties, Figuur 4.12. Weliswaar ligt de concentratie gemiddeld iets hoger op locaties met TGG dan locaties zonder TGG, maar deze komen niet in de buurt van de JG-MKN of MAC-MKN (respectievelijk 136 & 340,5  $\mu\text{g/L}$ ). Een duidelijk verschil tussen TGG ja en TGG Nee is voor deze indicatorstof niet aanwezig, op enkele uitschieters na.

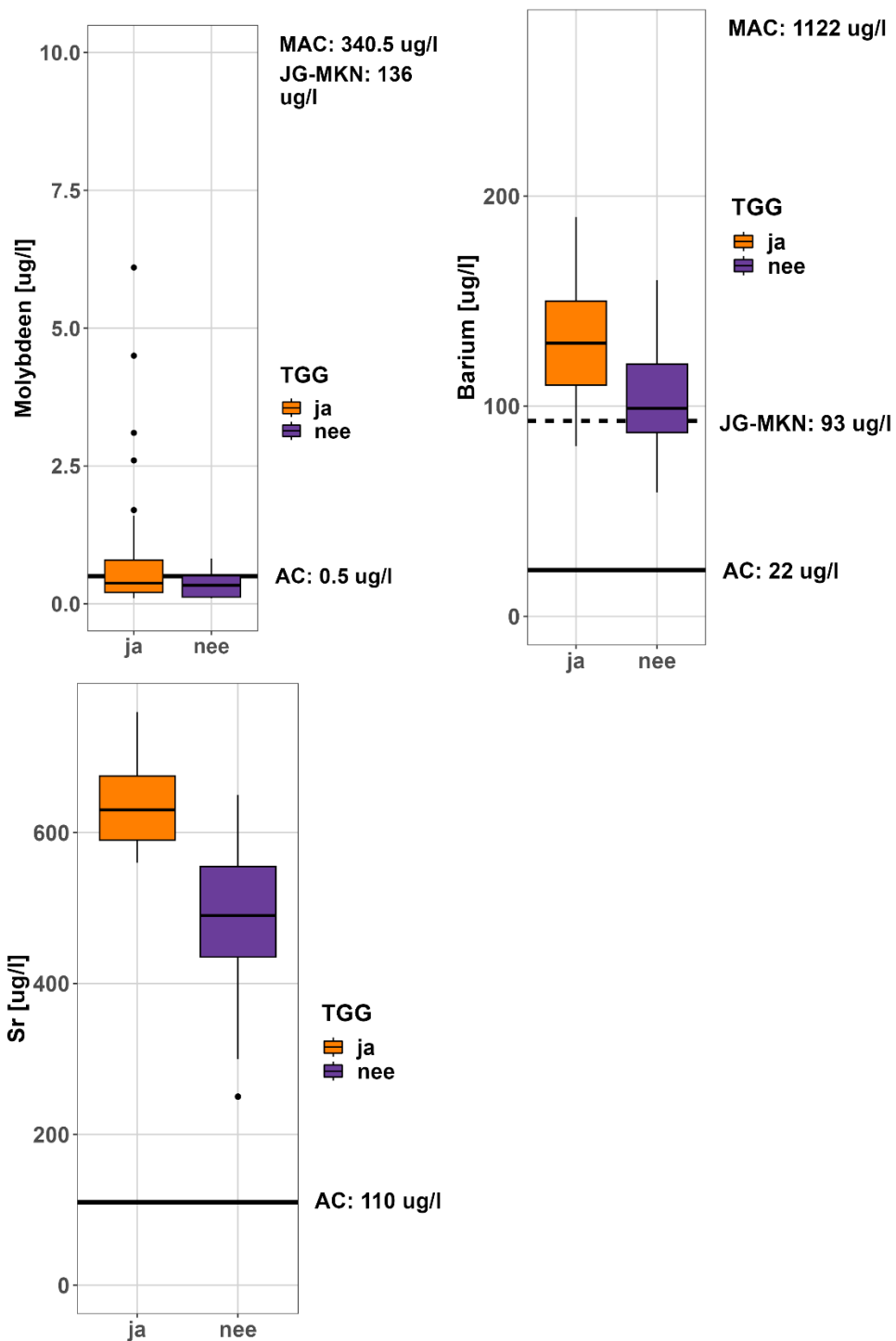
Vanadium wordt nergens boven de rapportagegrens gemeten is daarmee niet geschikt als indicatorstof voor deze analyse.

### Overige metalen

Naast de metalen die zijn aangemerkt als indicatorstoffen (calcium, natrium, kalium, barium, arseen, molybdeen en vanadium) kunnen er ook andere metalen verhoogd, maar niet structureel verhoogd, in de TGG voorkomen, (Langevoort et al., 2023; Nieuwenhuis & Lamé, 2005; Van Bruchem & Eversdijk, 2018; Van den Meiracker et al., 2023).

Voor Noordwaard worden strontium (Figuur 4.12), ijzer, mangaan en magnesium allemaal in verhoogde concentraties aangetroffen bij locaties nabij dijken met TGG t.o.v. dijken zonder TGG. Voor de overige gemeten metalen is dit niet het geval.

Dit zijn: aluminium, cadmium, chroom, koper (heeft enkele verhoogde uitschieters voor TGG nee), kwik, nikkel (mediaan ligt iets hoger voor TGG nee locaties, maar liggen voor beide categorieën rond achtergrondconcentratie), lood, zink (vergelijkbare mediaan, heeft voor zowel TGG ja als nee uitschieters die boven de MAC norm van 16,6 mu/l gaan).

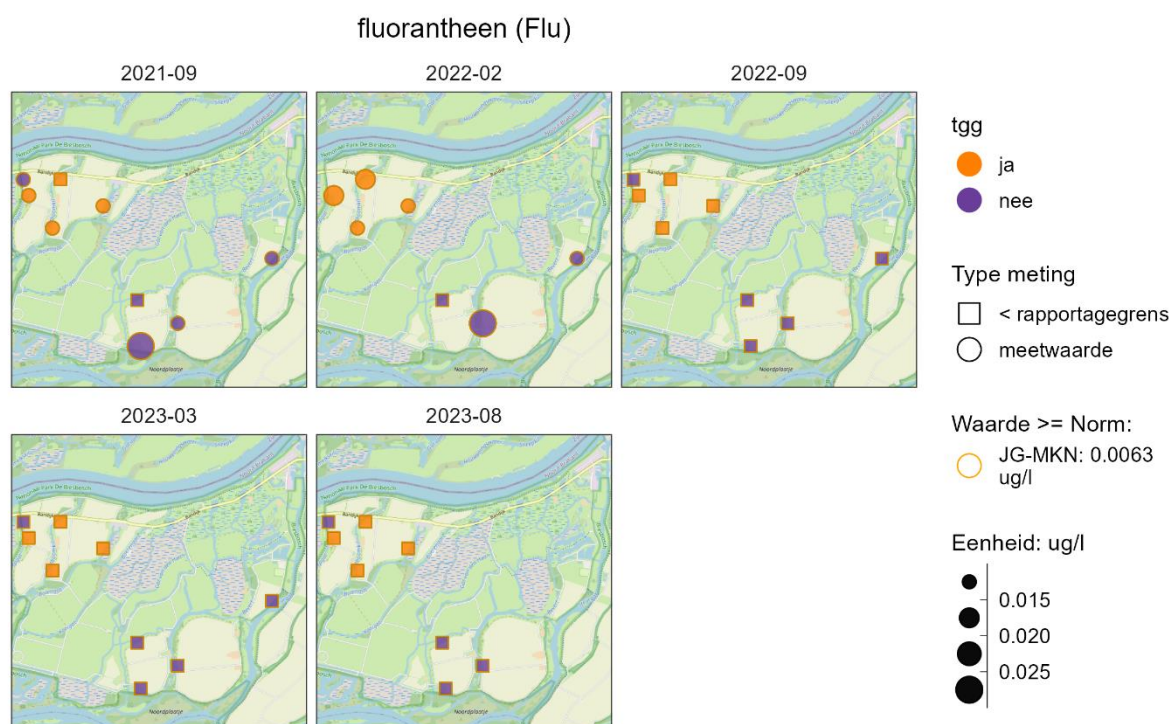


Figuur 4.12 Boxplots van de metalen: molybdeen, barium, en strontium in het oppervlaktewater. De locaties in teensloten langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, zonder TGG zijn weergegeven in het paars. De horizontale lijnen geven de geldende normen weer, AC = Achtergrondconcentratie, JG-MKN = Jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm en MAC = Maximaal Aanvaardbare Concentratie.

#### 4.2.4 PAKs & organochloren

De indicatorstoffen voor TGG in de groep van PAKs & organochloren zijn benzeen (niet gemeten), toluen (niet gemeten), fenantreen, beta-HCH en 1,2,4-trichloorbenzeen (niet gemeten).

Geen van de PAKs of organochloorbestrijdingsmiddelen, die gemeten zijn in Noordwaard komen boven de rapportagegrenzen (meestal 0,01 µg/L) uit, behalve voor fluorantheen, Figuur 4.13. De omvang van de meetpunten in het figuren geeft de concentratie van de meetwaarde weer. De locatie langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, locatie in teensloten van dijken zonder TGG zijn paars. Als een concentratie hoger is dan de geldende norm voor deze stof in het oppervlaktewater dan zijn de meetpunten met een kleur corresponderend met de betreffende norm omcirkeld. In dit geval zijn alle gemeten waarde hoger dan de JG-MKN norm waardoor alle meetpunten met oranje omcirkeld zijn. Bij fluorantheen is te zien dat er verhoogde waarden voor zowel locaties zonder als met TGG gemeten zijn. Dit lijkt onafhankelijk van eventuele uitloging van TGG. In 50% van de KRW-oppevlaktewateren in Nederland voldoet deze stof niet aan de norm (Osté et al., 2018).



Figuur 4.13. Monitoringsresultaten fluorantheen in het oppervlaktewater in de Noordwaard over de periode van 2019-2023. De omvang van het meetpunt geeft de hoogte van de meetwaarde weer. De locaties langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, locaties in teensloten van dijken zonder TGG zijn paars. Als een concentratie hoger is dan de geldende norm voor deze stof in het oppervlaktewater dan zijn de meetpunten met een kleur corresponderend met de betreffende norm omcirkeld.

#### 4.2.5 PFAS

Bij de analyse voor de oppervlaktewatermetingen zijn ook diverse soorten PFAS meegenomen. Verhoogde PFAS-waarden in de TGG werden alleen aangetoond (in sommige gevallen) met betrekking tot de PFAS 6:2 FTS (Brand et al., 2021).

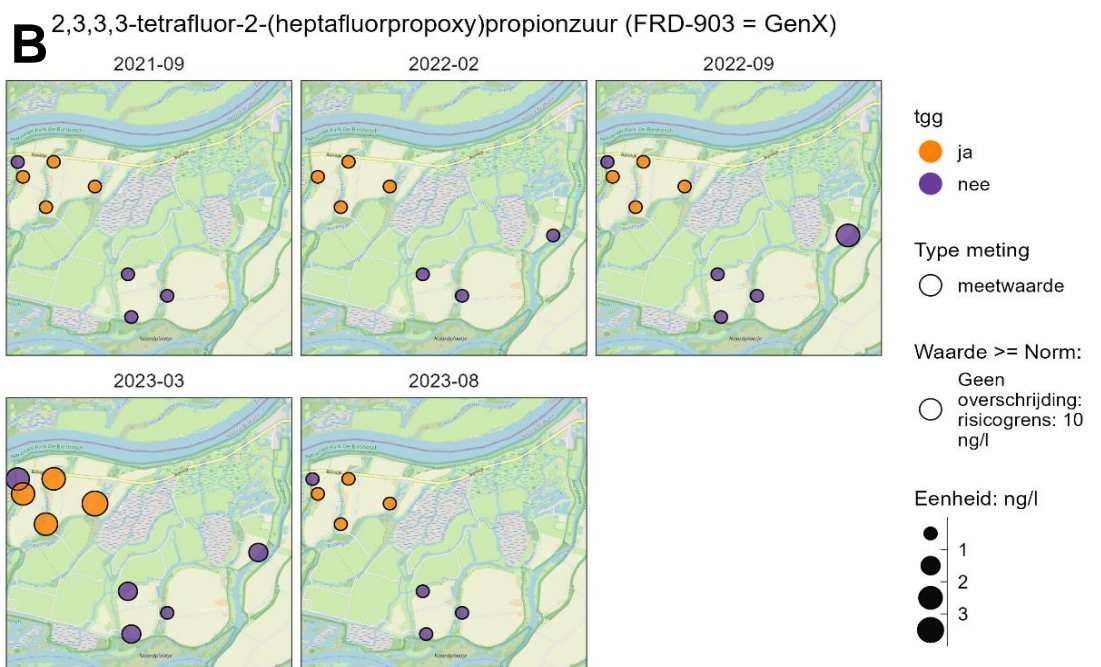
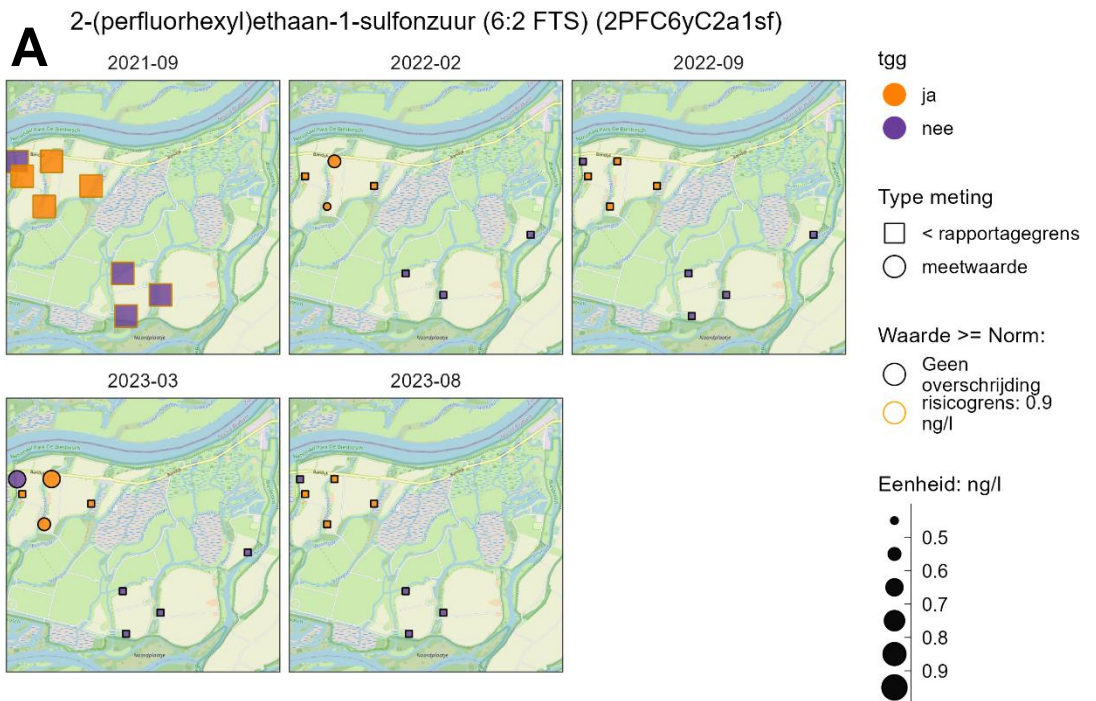
Voor PFAS geldt dat er nog geen normen zijn beschreven in JG-MKE of MAC-MKE, behalve PFOS. Wel bestaan risicowaarden die zijn bepaald door het RIVM aan de hand van de EFSA (European Food Safety Authority), (Smit & Verbruggen, 2022).

In de Noordwaard wordt het grootste deel van de PFAS soorten gemeten onder de rapportagegrens, zie bijlage C voor een overzicht welke PFAS gemeten zijn. De 6:2 FTS en

Gen-X laten een duidelijk ruimtelijke patroon zien, waarbij hogere concentraties worden aangetroffen in de noordwestelijke polders dan de zuidoostelijke polders. Omdat het referentiepunt in de noordwestelijke polder ook in dezelfde grootte orde zit als de TGG ja punten, lijkt een mogelijke andere bron voor PFAS waarschijnlijker. De afstand tot de fabriek van Chemours, een bekende bron van PFAS waaronder o.a. Gen-x<sup>18</sup>, aan de andere kant van Merwede lijkt hier een aannemelijkere bron. Voor Gen-X is er vanuit het RIVM een risicogrens bekend (10 ng/l), deze wordt niet overschreden.

---

<sup>18</sup> Chemours website: <https://www.chemours.com/en/pfas-advocacy>



*Figuur 4.14 Monitoringsresultaten 6:2 FTS (A) en Gen-X (B) in het oppervlaktewater in de Noordwaard over de periode van 2019-2023. De omvang van het meetpunt geeft de hoogte van de meetwaarde weer. De locaties langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, locaties in teensloten van dijken zonder TGG zijn paars. Voor Gen-x zijn er vanuit het RIVM risicogrenzen bekend. Deze worden niet overschreden.*

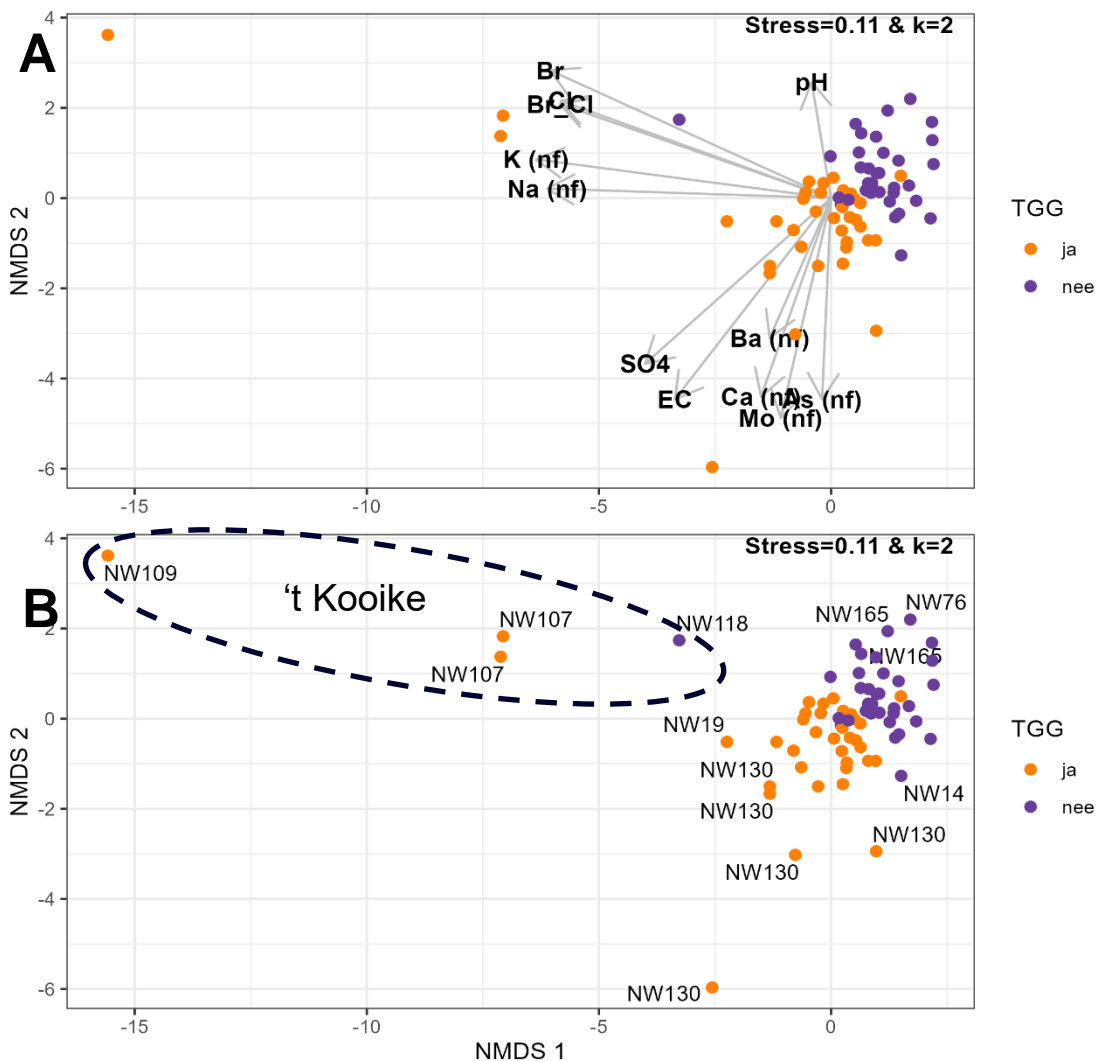
### 4.3 Is effect van TGG op de kwaliteit van het oppervlaktewater zichtbaar?

In het vorige hoofdstuk is er individueel naar de verschillende indicatorstoffen voor effecten van TGG in het oppervlaktewater gekeken. Met name voor de concentraties en verhouding van zouten die zijn aangemerkt als indicator voor TGG is een duidelijk patroon zichtbaar waarbij op de locaties met TGG hogere concentraties worden gemeten t.o.v. de locaties zonder TGG. Op individuele basis zijn verschillende verhoogde concentraties mogelijkwijs te relateren aan andere bronnen dan TGG (bijvoorbeeld aanwezige verhoogde achtergrondconcentraties voor sommige van deze stoffen in het gebied, afstromende wegwater, toepassingen van andere bouwstoffen in het weglichaam of bronnen uit landbouw). De combinatie van deze indicatorstoffen schetst echter een duidelijker beeld dat uitloging van TGG een aannemelijkere bron van de verontreiniging is.

Met behulp van een multivariaat analyse (Nonmetric multidimensional scaling, NMDS) van de combinatie van indicatorstoffen zijn alle metingen van de verschillende meetlocaties in het oppervlaktewater geclusterd op basis van overeenkomstige meetwaarden voor de individuele stoffen. Dit is weergegeven in een Figuur 4.15. Hoe dichter punten bij elkaar liggen, hoe meer ze op elkaar lijken op basis van die meetwaarden. Met behulp van pijlen is in het figuur aangegeven wat de associatie is met een bepaalde stof. Hoe langer de pijl in een bepaalde richting hoe sterker de associatie (hogere concentraties) van een meting met die stof. In het figuur is na de clustering ook weer gegeven welke meetpunten bij dijken met TGG en zonder TGG liggen (oranje en paars resp.). De uiteindelijke indicatoren waarop deze analyse uitgevoerd kon worden zijn: EC, pH, bromide, bromide:chloride verhouding, chloride, sulfaat, calcium (nf = na filtratie), kalium (nf), natrium (nf), arseen (nf), molybdeen (nf) en barium (nf). De overige geïdentificeerde indicatorstoffen: vanadium en de vluchtige organische stoffen (benzeen, toluen, fenantreen, beta-HCH en 1,2,4-trichloorbenzeen) leenden zich niet voor de analyse omdat de stoffen alleen maar onder de rapportagegrens gemeten zijn.

Op basis van de indicatorstoffen in het NMDS plot is een duidelijke scheiding tussen de locaties met en zonder TGG zichtbaar ongeacht de polders waar de punten zich bevinden. Voor de locaties met TGG is wel te zien dat er een verschil is tussen de polders. Zo hebben de meetpunten in 't Kooike (NW109, NW107 en NW118), waar alleen TGG van ATM is toegepast, de sterkste associatie met bromide, bromide:chloride verhouding, kalium en natrium.

Bij de andere TGG locaties en met name NW130 en NW19 (in de Middelste Kievitswaard en Happenhennip polder) zijn deze indicatoren ook belangrijk (zie scheiding op horizontale as), maar spelen ook verhoogde concentraties van andere indicatoren (Ba, Ca, Mo, EC en SO<sub>4</sub>) een grotere rol. Deze analyse bevestigt het beeld van individuele stofanalyses dat op basis van de signatuurstoffen een effect van TGG zichtbaar is in het oppervlaktewater (en daarmee zeer waarschijnlijk ook in het grondwater).



Figuur 4.15. NMDS plot voor meetpunten in Noordwaard gebaseerd op de TGG indicatorstoffen: "EC", "pH", "Br", "Br:Cl verhouding", "Cl", "SO4", "Ca (nf)", "K (nf)", "Na (nf)", "As (nf)", "Mo (nf)", "Ba (nf)". Elk punt representeert een meting op een bepaalde meetlocatie. De pijlen geven de associatie met een bepaalde stof aan, hoe langer de pijl hoe sterker de associatie (hogere concentraties). Onderliggende concentraties zijn geschaald. In Figuur B is dezelfde NDMS plot weergegeven maar dan is bij de extremere punten aangegeven om welke meetlocaties het gaat.

4.3.1.1 **Andere stoffen met een relatie tot TGG**

Aan de hand van Spearman correlaties is in kaart gebracht welke stoffen, naast de indicatorstoffen die hierboven zijn behandeld, ook een (sterke) positieve correlatie met TGG hebben, Figuur 4.16. Er is gekozen voor de non-parametrische correlatie van Spearman, waarbij de gegevens niet hoeven te voldoen aan allerlei veronderstellingen, zoals dat de gegevens normaal verdeeld moeten zijn. Deze methode is ook niet gevoelig voor uitbijters. Een sterk positief verband betekent hier een sterkere stijging van de concentraties in het oppervlaktewater voor meetpunten in teensloten nabij dijken met TGG t.o.v. teensloten zonder. Het verband kan zowel een positieve richting hebben, zoals net beschreven, of een negatieve, bijv. een daling van de gehalten van de stof in het oppervlaktewater. Een sterk correlatie is geen bewijs voor een oorzakelijk verband. Soms kan er sprake zijn van zogenaamde schijnverbanden. Een significante koppeling kan het beste gezien worden als een aanwijzing voor nader onderzoek naar mogelijke oorzaken voor de aanwezigheid van verhoogde concentraties van de stof in het oppervlaktewater.



Dat een meting wel of niet nabij TGG ligt, is een categorische variabele (hier: “wel TGG” of “geen TGG”) en een Spearman correlatie coëfficiënt kan alleen berekend worden met continue variabelen. Om hier mee om te gaan is een dummy variabele aangemaakt met de waarde 0 (geen TGG) en 1 (wel TGG).<sup>19</sup>

Niet alle stoffen zijn overigens meegenomen in deze berekening, alleen de stoffen die consequent gemeten zijn en ook variëren door de tijd zijn meegenomen in deze berekening. Stoffen die alleen maar onder de rapportagegrens gemeten zijn staan hier dus niet in.

De correlaties voor de variabele “TGG ja” zijn in Figuur 4.16 gesorteerd van meest positieve tot meest negatieve correlatie hebben met meetlocaties in teensloten nabij dijken waar TGG is toegepast. Hieruit vallen, naast de eerder genoemde indicatorstoffen ook een aantal andere metalen op:

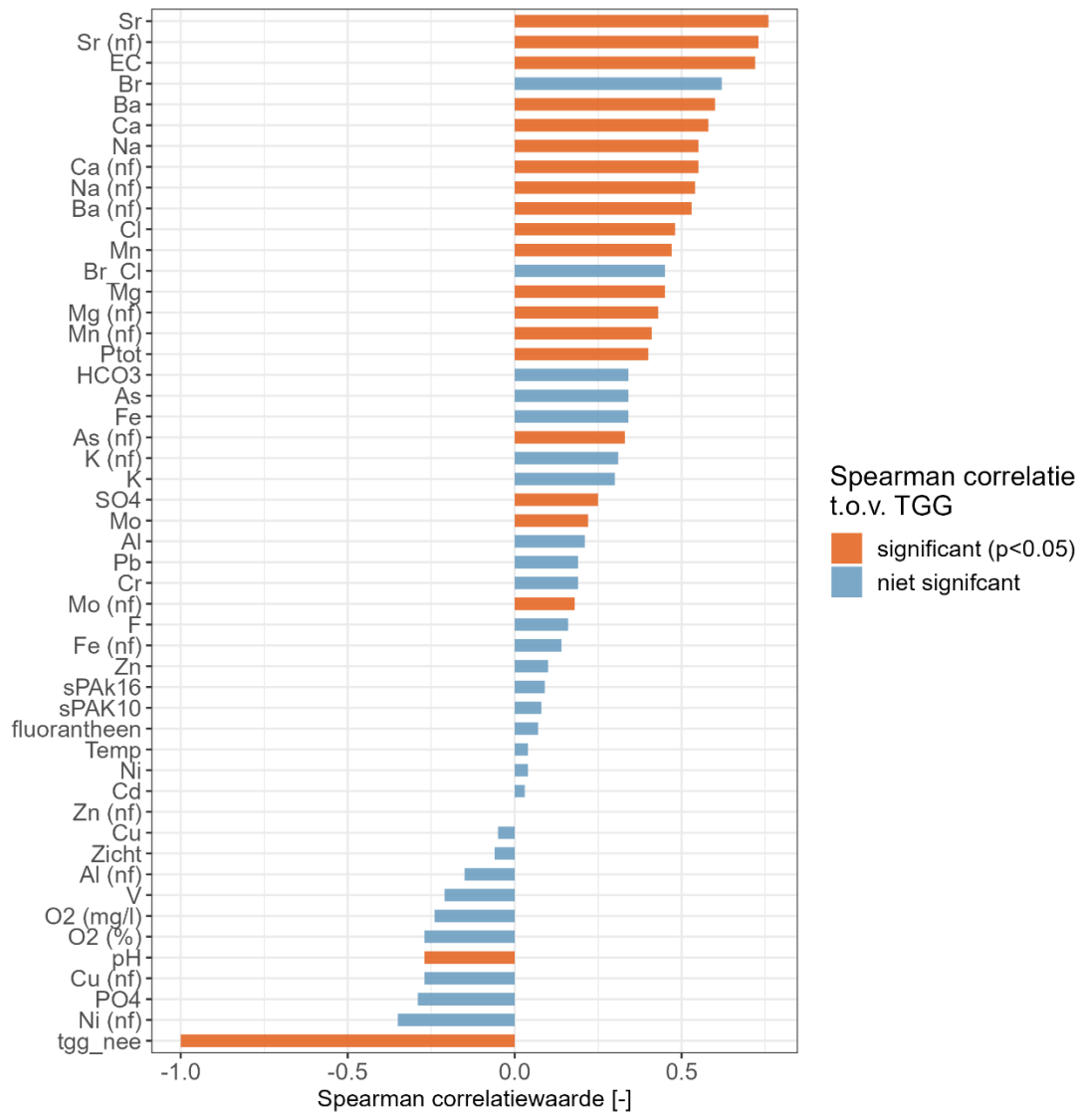
- Strontium
- Mangaan
- Magnesium

De sterkste correlatie met TGG heeft strontium, voor zowel totaal als opgeloste concentratie (na filtratie, nf). Voor strontium gelden geen JG-MKN, MAC-MKN of MTR normen. Wel is er een achtergrondconcentratie voor landoppervlaktewateren (na filtratie) bekend, deze bedraagt 110 µg/L. De metingen in de Noordwaard liggen hier voor zowel locaties met TGG als zonder TGG ruim boven, zie Figuur 4.17. Maar bij de locaties met TGG zijn in dit geval wel hogere concentraties gemeten dan bij locaties zonder TGG.

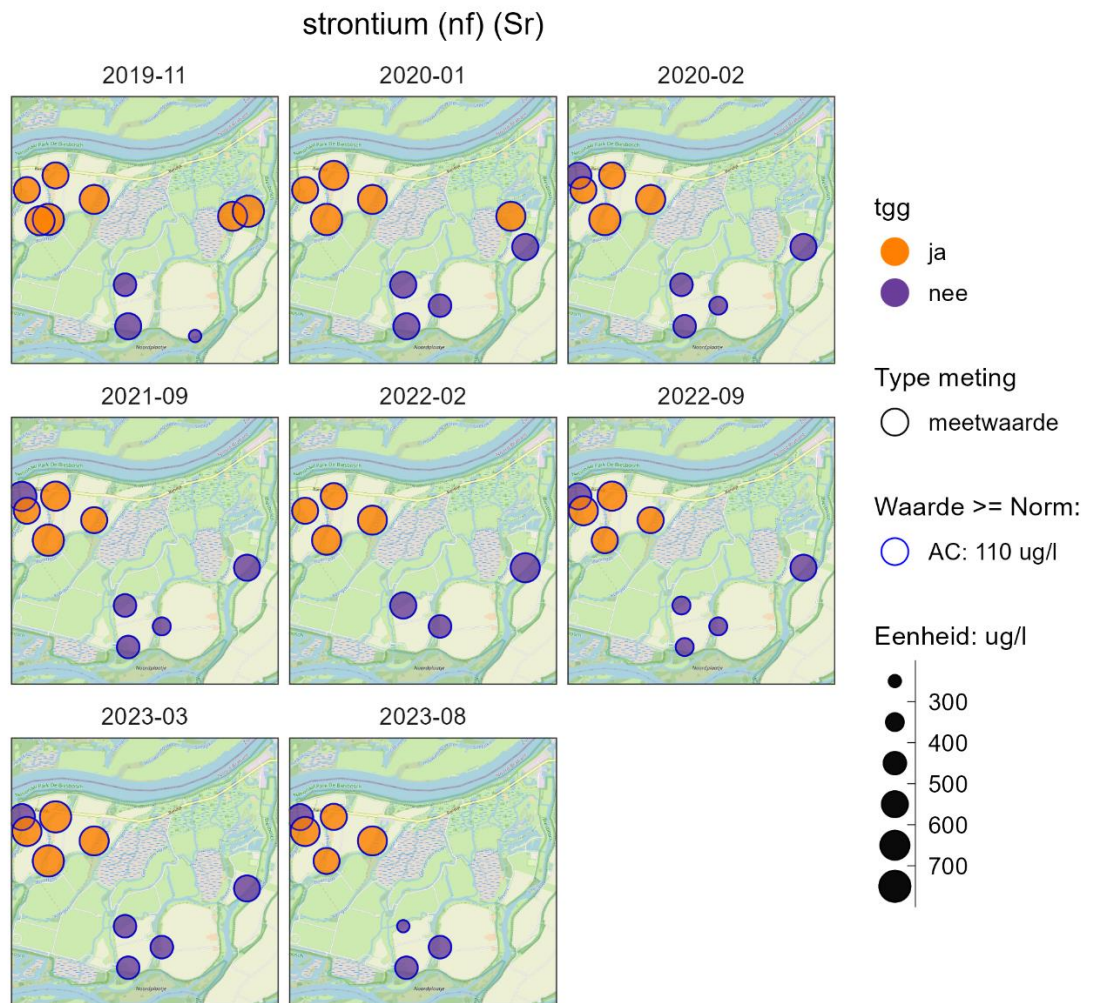
Strontium komt ook bij andere toepassingslocaties van TGG in hogere mate voor en kan hiermee een extra indicatie zijn dat er beïnvloeding van de TGG op de kwaliteit van het oppervlaktewater is. Zo komt het in hogere mate voor in het grondwater bij Perkpolder direct onder de TGG, maar de meetreeks voor deze parameter is maar heel beperkt (Van den Meiracker et al., 2023). Ook bij de TGG toepassing in de Westdijk te Bunschoten wordt strontium verhoogd aangetroffen (Römkens et al., 2019). In Bunschoten worden in de omliggende sloten een gemiddelde concentraties van 366 µg/L (n = 174). In Noordwaard wordt een hogere concentratie van strontium aangetroffen, maar hier ligt de gemiddelde waarde voor de referentielocaties ook al hoger, namelijk 641 en 482 µg/L respectievelijk (n = 36 & n = 34 resp.)

---

<sup>19</sup> Officieel spreken we hierdoor over een van een punt-biseriële correlatie, maar in feite is het niets anders dan de gewone Spearman correlatie voor het geval dat een van de variabelen continu is en de andere dichotoom.



Figuur 4.16. Spearman correlatie voor verschillende stoffen in het oppervlaktewater meetreeks van 2019 – 2023. Een positieve waarde geeft aan of de stofconcentraties een (sterk) positieve correlatie (dus hoger zijn) hebben bij locaties nabij dijken met TGG vergeleken met dijken zonder TGG. Een negatieve waarde betekent (sterk) negatieve correlatie (de stofconcentraties is hoger gemeten bij locaties zonder TGG). De kleur geeft aan of het om een significante correlatie ( $p < 0,05$ ) gaat.



*Figuur 4.17 Monitoringsresultaten strontium (nf) in het oppervlaktewater in de Noordwaard over de periode van 2019-2023. De omvang van het meetpunt geeft de hoogte van de meetwaarde weer. De locatie langs dijken met TGG zijn weergegeven in het oranje, locatie in teensloten van dijken zonder TGG zijn paars. Voor strontium is er een achtergrondconcentratie bekend (110 ug/l), deze wordt op alle locaties overschreden.*

## 5 Discussie & Risicoanalyse

Uit de voorgaande hoofdstukken is gebleken dat in de onderzochte gebieden van de Noordwaard sprake is van beïnvloeding van de oppervlaktewaterkwaliteit door TGG. Samenvattend zijn de volgende effecten gemeten:

1. Verhoogde concentraties aan zouten in het oppervlaktewater bij teensloten naast dijken met TGG t.o.v. van teensloten naast dijken zonder TGG.
2. In de teensloten direct langs de dijken met TGG is er naast de verhoogde zoutgehalten sprake van (licht) verhoogde concentraties aan barium (Ba), strontium (Sr) mangaan (Mn), magnesium (Mg) en molybdeen (Mo).

Er zijn meerdere kwetsbare objecten aanwezig in het gebied die kunnen worden beïnvloed door uitloging van verontreinigingen uit TGG. Op basis van deze quickscan kan hoofdzakelijk iets gezegd worden over de beïnvloeding vanuit het oppervlaktewater van de teensloten omdat alleen deze zijn bemonsterd. Voor het grondwater kan wel een inschatting gedaan worden de mogelijke effecten.

### 5.1 Analyse van risico's voor oppervlaktewater

Er zijn meerdere kwetsbare objecten aanwezig die kunnen worden beïnvloed door uitloging van verontreinigingen uit TGG naar het oppervlaktewater. Dit kunnen voornamelijk negatieve effecten aan het waterecosysteem zijn en gezien het landgebruik in de omgeving hoofdzakelijk schade aan gewas bij gebruik van brak of zout irrigatiewater.

#### 5.1.1.1 Waterecosysteem

Vormen de verhoogde concentraties van verschillende stoffen die zijn gemeten in het oppervlakte water een probleem voor de omgeving? In de figuren van hoofdstuk 4.2 zijn, als ze beschikbaar waren, steeds de KRW-normen voor mogelijke langetermijneffecten (JG-MKN) en acute toxische effecten (MAC-MKN) weergegeven. De jaargemiddelde milieukwaliteitsnorm (JG-MKN) voor langdurige blootstelling beschermt het waterecosysteem en mensen en dieren die vis of schelpdieren eten<sup>20</sup>. De maximaal aanvaardbare concentratienorm (MAC-MKN norm) beschermt het ecosysteem tegen kortdurende concentratiepieken. Bij het ontbreken van een JG-MKN is, als deze beschikbaar was, de oudere maximaal toelaatbaar risico (MTR) norm weergegeven die soortgelijke informatie over langetermijneffecten geeft. Ondanks dat het hier niet om een volledige meetreeks (bijv. specifiek verontreinigde stoffen minimaal 4x per jaar gemeten worden, zie Tabel 5.1), kunnen de verhoogde metingen wel een indicatie geven voor de mogelijke lange en korte termijn risico's.

Tabel 5.1 Minimale meetfrequentie monitoring prioritaire stoffen en specifieke verontreinigde stoffen in water op basis van KRW, bijlage V. (Hojtink et al., 2020)

Kwaliteitselement	Minimale frequentie per meetjaar
Prioritaire stoffen	12 (eens per maand)
Specifieke verontreinigende stoffen	4 (eens per drie maanden)

<sup>20</sup> Definitie voor JG-MKN en MAC-MKN afkomstig van RIVM website op 18-12-2023 <https://rvs.rivm.nl/onderwerpen/normen/milieu/oppervlaktewater>

In Bijlage G zijn alle stoffen op een rijtje gezet die in de oppervlaktewatermetingen 1 of meerdere keren boven de verschillende normen uit zijn gekomen, indien normen voor de desbetreffende stof beschikbaar zijn. Hierbij is een splitsing gemaakt tussen teensloten naast dijken waar TGG is toegepast (TGG ja) en dijken zonder TGG (TGG nee).

Alleen voor de indicatorstoffen bromide, chloride, sulfaat en arseen is er qua normoverschrijding een verschil tussen de teensloten naast dijken met TGG t.o.v. dijken zonder TGG.

Voor arseen wordt één enkele keer de MAC-MKN (acute effecten) overschreden op een locatie met TGG, namelijk bij locatie NW130 in het zuiden van de Middelste Kievitswaard in de laatste meetronde. Dit kan afhankelijk van de duur van de overschrijding tot acute toxische effecten leiden, maar zal, indien het bij een eenmalige overschrijding blijft, geen langdurige gevolgen voor het ecosysteem hebben.

Voor bromide, chloride en sulfaat gaat het om enkele overschrijdingen van de MTR norm (langdurige effecten). Bij bromide en chloride geldt dat de concentraties in de bemonsterde teensloten bij alle polders met uitzondering van 't Kooike, onder de norm liggen. Voor deze locaties is geen negatief effect op het oppervlaktewater te verwachten. Bij bromide en chloride wordt alleen bij 't Kooike, locaties NW109 en NW107, de MTR norm overschreden. Omdat hier niet structureel gemeten is, kan niet worden gezegd of het hier gaat om een enkele uitschieters of een structurele verhoging. De aanbeveling is wel om deze locatie te blijven monitoren. Zeker omdat dat onbekend is wat de concentraties in het grondwater zijn. Voor sulfaat zijn de geconstateerde overschrijdingen van de MTR norm in de polders Middelste Kievitswaard (NW130, NW 149), Happenhennip (NW19) en 't Kooike (NW109 & NW107) aangetroffen. Het gaat hier om enkele metingen. De overschrijdingen zijn zowel in de zomer als winterperiode aangetroffen, er is hier geen sprake van een duidelijk seizoensgebonden effect. De huidige dataset aan oppervlaktewatermetingen leent zich vanwege de meetfrequentie niet goed om te toetsen of er sprake zijn is van lange termijn effecten. Hierdoor kan er geen uitspraak gedaan worden of de geconstateerde overschrijdingen ook daadwerkelijk een negatief effect hebben op het waterecosysteem. Een frequentere bemonstering zou hier uitsluitsel over kunnen geven.

Samenvattend zijn er enkele normoverschrijdingen van zouten en arseen, maar is alleen voor sulfaat in enkele polders een mogelijk verhoogd risico. Dit laatste is met de huidige meetfrequentie echter lastig vast te stellen.

#### 5.1.1.2 Schade aan gewas bij gebruik van brak of zout irrigatiewater

Door de verhoogde concentraties van met name chloride in het oppervlaktewater bestaat de kans op schade aan het gewas wanneer dit water voor irrigatie wordt gebruikt. In de polders van de Noordwaard bestaat het landbouwkundig gebruik hoofdzakelijk uit akkerbouw (aardappelen, bieten, uien), wintertarwe en grasland (BRP 2022<sup>21</sup>).

Voor het toegepaste TGG in Bunschoten, (Römkens et al., 2019) is het risico goed in kaart gebracht. Het percentage oogstderving door brak/zout water kan berekend worden, maar daarbij is pas sprake van schade indien de concentraties in het bodemvocht hoger zijn dan 3600 mg/L chloride (Van Dam et al., 2007). In het oppervlaktewater van teensloten in de Noordwaard die gebruikt kunnen worden als irrigatiewater, wordt, gebaseerd op de huidige monitoringsdata, deze waarde niet overschreden. De gemiddelde concentratie voor de chloride ligt op 85.1 mg/l voor teensloten in dijken naast TGG en op 60.7 mg/l voor teensloten in de dijken zonder TGG en is hiermee een factor 40 – 60 lager dan de waarde in (Van Dam

<sup>21</sup> <https://www.atlasleefomgeving.nl/kaarten?config=3ef897de-127f-471a-959b-93b7597de188&gm-x=156301.08000000005&gm-y=463436.53999999999&gm-z=7&gm-1544180834512,true,1;1553094452989,true,0.8;&activateOnStart=info&deactivateOnStart=layercollection>

et al., 2007). In welke mate dergelijke concentraties in het bodemvocht bereikt worden, is op basis van de beschikbare data niet vast te stellen. Zoals in (Römkens et al., 2019) wordt aangegeven kan dit eenvoudig geschat worden door het bepalen van de chloride van het bodemvocht in de betreffende percelen zelf. Op dit moment is deze informatie echter niet voorhanden en kan er daarom geen inschatting gemaakt worden van de kans op gewasschade als gevolg van de aanwezige zoutconcentraties.

Op basis van de EC van het oppervlaktewater in teensloten bij dijken met TGG (gemiddeld 1 mS/cm en max 1,6 mS/cm) geldt dezelfde conclusie, namelijk dat deze voor de groei van het gras op basis van de concentraties niet beperkend zal zijn. De gerapporteerde effectgrenzen voor bijvoorbeeld aardappelen (3,7 mS/cm), bieten (rood = 4,5 mS/cm & suikerbiet = 5,7 mS/cm), uien (3,8 mS/cm), tarwe (8,9 mS/cm) en gras (7,3 mS/cm) liggen beduidend hoger (Stuyt et al., 2016).

Op basis van deze data is het risico dat het gebruik van het oppervlaktewater als irrigatiewater tot effecten op de gewasgroei leidt gering. Hierbij geldt echter het voorbehoud dat onbekend is wat de EC/chloride in het werkelijke bodemvocht is en in welke mate kwelwater uit de sloot tot mogelijk hogere EC waarden in de bodem zelf kan leiden. Dit is alleen vast te stellen door de EC van het bodemvocht te meten.

## 5.2 Effecten voor grondwater

Is het mogelijk om op basis van deze huidige meetgegevens uitspraken te doen over de kwaliteit van het grondwater? Dat is moeilijk, omdat het oppervlaktewater juist veel meer verdund is dan het grondwater. Aan de hand van de eerder weergegeven conceptuele uitlogingspaden, Figuur 2.3, is het waarschijnlijk dat het grondwater als bron fungeert voor de verontreiniging in oppervlaktewater. “Terugredeneren” naar de grondwaterconcentratie en flux die daarvoor als bron dient is in dit complexe systeem moeilijk. Toch kan, nu het waarschijnlijk is dat het oppervlaktewater beïnvloed wordt door de TGG, worden aangenomen dat er ook verhoogde waarden worden aangetroffen in het grondwater. In hoeverre deze verhogingen acceptabel zijn, hangt af van de toepassing en de effecten op de rest van het systeem.

Het diepere grondwater wordt -door de kwelsituatie- waarschijnlijk niet beïnvloed. Wel is het nuttig om kijken of er locaties zijn waar de aanwezigheid van TGG niet samenvalt met kwel, omdat juist hier wel een risico bestaat voor het diepere grondwater.

Overigens is het ook mogelijk zonder grondwateranalyses een betere indicatie te geven van de effecten voor grondwater (zij het sterk beperkt). Met een verblijftijdanalyse in de sloten, en met de algemene kennis over de TGG die in deze periode is toegepast is er echter wel een beeld van te vormen. Een directere en daarmee veel betrouwbaare methode is om direct het grondwater te monitoren. Dat kan met een transect van de bron (TGG) naar het ontvangende oppervlaktewater. Via peilbuizen direct onder de toegepaste thermisch gereinigde grond<sup>22</sup>, en/of met peilbuizen direct ernáást. Gecombineerd met een goede schematisatie van de bodemopbouw kan daarmee ook de flux naar het oppervlaktewater nog beter in beeld gebracht worden.

---

<sup>22</sup> Al vereist dat wel de nodige aanpassingen/zorgvuldige keuze van de boorstelling.

# 6 Conclusies en aanbevelingen

## 6.1 Conclusies

In de oppervlaktewatermeetreeks in de Noordwaard van 2019 – 2023 worden verhoogde waarden van verschillende indicatorstoffen gemeten die ook gerelateerd zijn aan TGG zoals sulfaat, bromide, arseen en barium en de verhouding bromide/chloride verhouding. Met name de aangetroffen verhoogde concentraties van zouten sulfaat, bromide en bromide-chlorideverhoudingen maken beïnvloeding van het oppervlaktewater door TGG waarschijnlijk.

Daarmee zijn ook verhoogde waarden in het grondwater onder en naast de TGG waarschijnlijk. Op die locaties wordt mogelijk ook uitspoeling van langzamer migrerende ionen gezien (zoals vanadium en molybdeen). De huidige meetreeks van oppervlaktewatermetingen kan hier geen uitspraak over doen.

Voor enkele zware metalen (o.a. arseen, strontium, mangaan en magnesium) zijn verhoogde concentraties in teensloten bij dijken met TGG t.o.v. teensloten zonder TGG vastgesteld. De verhoging van een aantal van deze stoffen kan echter ook worden veroorzaakt door andere geochemische en hydrologische processen. De systeemverandering in het gebied: de ontpoldering kan bijvoorbeeld -met name- effect hebben gehad op de mobilisatie van arseen. Vluchtige organische stoffen gerelateerd aan TGG (benzeen, toluen, fenantreen, beta-HCH en 1,2,4-trichloorbenzeen) zijn niet verhoogd aangetroffen in teensloten naast dijken met TGG t.o.v. teensloten naast dijken zonder TGG.

Qua risico inschatting van stoffen gerelateerd aan TGG zijn er enkele normoverschrijdingen van zouten en arseen waargenomen die niet in de referentiegebieden voorkomen, maar is alleen voor sulfaat in enkele polders een mogelijk verhoogd risico. Dit laatste is met de huidige meetfrequentie echter lastig vast te stellen.

Daarnaast is op basis van deze meetreeks het risico dat het gebruik van het oppervlaktewater als irrigatiewater tot effecten op de gewasgroei leidt gering.

## 6.2 Aanbevelingen

De analyse in dit rapport is gebaseerd op de methodiek “bron-pad-kwetsbaar object” voor zover dit mogelijk was met de beschikbare gegevens. Tijdens het doorlopen van de methodiek zijn verschillende witte vlekken (kennislacunes) geïdentificeerd. Deze staan hieronder samengevat:

### 6.2.1 Maatregelen milieuchemisch

Kennis lacunes:

- TGG beter in beeld krijgen: met behulp van een aantal verificatieboringen om vast te stellen of er ook daadwerkelijk TGG is toegepast de locaties waar het nu verwacht wordt. En indien dit het geval is, dan kan ook de samenstelling van de TGG worden geanalyseerd ter verificatie van de in deze rapportage gekozen indicatorstoffen
- Grondwater en bodem moeten beter in beeld gebracht worden.  
De beste manier om in beeld te krijgen óf er en zo ja waar er verontreiniging is van het grondwater direct onder de dijk, is door het uitvoeren van grondwatermonitoring. Het plan van Tauw (Wacker, 2020) biedt daarvoor voldoende aanknopingspunten.
  - Verblijftijden en verdunningen goed in beeld

- Watersysteem scherper in beeld, waardoor discussies over verschillende bronnen helderder kunnen worden. Een waterkwaliteitsmodel met verschillende scenario's kan als hulpmiddel ingezet worden om, op locaties waar een TGG signatuur waargenomen is, de impact beter te kwantificeren.
- Plaatsen van peilbuizen in de Binnen Kievitswaard, bijna 100% Theo Pouw TGG, om eventuele verschillen in de oorsprong van het TGG-materiaal (Theo Pouw en ATM) te meten.
- Plaatsen van peilbuizen in 't Kooike, hier worden in de oppervlaktewatermetingen hoge bromide:chloride verhoudingen gemeten.
- Analyse grondwaterpaden
  - Analyse of de huidige flux vanuit de bron naar het oppervlaktewater voldoende kan zijn voor de emissies van verontreinigingen naar het oppervlaktewater.



## 7 Referenties

- Brand, E., Rutgers, M., Schouten, T., Versluijs, K., Negash, A., Dijkstra, J., Comans, R., Breure, T., & Otte, P. (2021). *Toepassing van thermisch gereinigde grond. Een evaluatie en opties voor een toepassingskader. RIVM-briefrapport 2021-0168.*
- Hojtink, R., Vroege, M., & Schreuders, R. (2020). *Protocol monitoring en toestandsbeoordeling oppervlaktewaterlichamen KRW.*
- Langevoort, M., In 't Veld, M., Van der Star, W., & Van Dijk, G. (2023). *Second opinion monitoring 5 Rijkswaterstaats werken waarin TGG is toegepast. R002-1285649MLX-V02-mwl-NL.*
- Nieuwenhuis, R. H., & Lamé, F. P. J. (2005). *Analyse van ATM-gegevensbestand in het kader van het onderzoek naar het voorkomen van 'bijzondere parameters' in grond. TNO-rapport NITG 05-169-B. December 2005.*
- Osté, L., Postma, J., Roskam, G., Keijzers, R., & Van Duijnhoven, N. (2018). *Basisdocumentatie probleemstoffen KRW Rapport bij basisdocumenten 2018.*
- Projectbureau Noordwaard. (2010). *Milieueffectrapport Planstudie Ontpoldering Noordwaard. MD-EO20092057B.*
- Projectbureau Noordwaard & Consortium. (2010). *Toelichting Rijksinpassingsplan Ontpoldering Noordwaard. NW100367. www.ruimtevoorderivier.nl*
- Römkens, P., Lahr, J., & Brand, E. (2019). *Risico-evaluatie Bunschoten; Een evaluatie van ecologische en landbouwkundige risico's in de polder gelegen aan de Westdijk te Bunschoten. Rapport 2955.*
- Smit, C. E., & Verbruggen, | E M J. (2022). *Risicogrenzen voor PFAS in oppervlaktewater. Doorvertaling van de gezondheidkundige grenswaarde van EFSA naar concentraties in water. RIVM-briefrapport 2022-0074. 1–52.*
- Spijker, J. (2008). *Arseen in Nederlands grondwater Oorzaak van verhoogde arseenconcentraties. Briefrapport 607300009/2008. www.rivm.nl*
- Stuyt, L. C. P. M., Blom-Zandstra, M., & Kselik, R. A. L. (2016). *Inventarisatie en analyse zouttolerantie van landbouwgewassen op basis van bestaande gegevens. Rapport 2739. https://doi.org/10.18174/391931*
- Takens, R., Wacker, E., & Smit, L. (2019). *Inventariserend onderzoek Thermisch Gereinigde Grond in Rijkswaterstaat-werken. R004-1248710RCT-V02-nij-NL.*
- Theo Pouw. (2019). *Oplegnotitie: Kwaliteitsbeoordeling TGG Eemshaven. code: 03103m013(kwaliteit tgg-eh)(v5).*
- Van Bruchem, R., & Eversdijk, M. (2018). *Westdijk Bunschoten/Spakenburg: Toepassing Thermisch Gereinigde Grond (TGG) Aanvullend onderzoek. T&PBD9964R001F1.0 Versie: 1.0/Finale. Datum: 22 februari 2018 Projectnaam: TGG Westdijk Projectnummer: BD9964 (Vol. 9001).*
- Van Dam, A. M., Clevering, O. A., Voogt, W., Aendekerk, Th. G. L., & Van der Maas, M. P. (2007). *Zouttolerantie van landbouwgewassen. Deelrapport Leven met zout water. PPO nr. 32 340194 00. www.ppo.wur.nl*
- Van den Meiracker, R., Van der Star, W., Wesdorp, K., & Lamers, N. (2023). *Monitoring Perkpolder Jaarrapportage 2022. 11203217-000-BGS-0038.*
- Van der Star, W., Spaak, G., de Louw, P., & van der Ruyt, M. (2019). *Onderzoek naar effecten aanwezigheid van TGG in dijken van de Perkpolder. 11200482-000-GEO-0022. https://cms.deltares.nl/assets/common/downloads/Onderzoek-naar-effecten-aanwezigheid-van-TGG-in-dijken-van-de-Perkpolder-1.pdf*
- Van der Star, W., Van den Meiracker, R., & Harkes, M. (2021). *Monitoring Perkpolder. Jaarrapportage 2020. 11203217-005-BGS-0004.*
- Van der Star, W., Van den Meiracker, R., & Meshkati Shahmirzadi, E. (2022). *Monitoring Perkpolder. Jaarrapportage 2021. 11203217-000-BGS-0014.*

Wacker, E. (2020). *Monitoringsplan toepassing van thermische gereinigde grond in kaden van polders Noordwaard. R001-1277261EWC-V01-sal.*

Wacker, E. (2021). *Aanvullend vooronderzoek Noordwaard. R001-1283426EWC-V01-lhl-NL.*

# Bijlagen

# A Samenstellingsonderzoek naar samenstelling van TGG.

## **Samenstelling TGG rond 2005.** (Nieuwenhuis & Lamé, 2005)

In 2005 is een rapport gepubliceerd door TNO waarbij TGG afkomstig van Afval Terminal Moerdijk (ATM) uit de periode 2002-2003 is onderzocht. Het doel van het onderzoek was om een analyse te maken van samenstelling en de emissiewaarden in TGG. De samenstelling van TGG vóór de reiniging was echter niet bekend, dus het effect van het thermisch reinigingsproces op zowel samenstelling als emissie kon niet gekwantificeerd worden.

Uit het TNO-onderzoek kan geconcludeerd worden dat voor de geanalyseerde monsters de kans op overschrijding van de streefwaarde<sup>23</sup> sterk varieert, en dat de stoffen met de grootste overschrijdingskans, kobalt, vanadium en barium zijn. Qua uitloging is er een grote overschrijdingskans van de emissiewaarde geconstateerd voor antimoon, molybdeen, fluoride en sulfaat. Aangezien ATM vervolgens haar procesvoering sinds die tijd heeft gewijzigd (en mogelijk andere typen grond inneemt), geeft dit onderzoek geen goede inschatting van de te verwachten parameter met een verhoogde overschrijdingskans voor TGG uit 2015.

## **TGG Westdijk in Bunschoten, 2016-2017** (Römkens et al., 2019; Van Bruchem & Eversdijk, 2018)

In 2016/2017 is TGG toegepast ter versterking van de Westdijk in Bunschoten. Medio 2016 zijn in het oppervlaktewater van de aanliggende sloot van de aanberming stoffen gemeten door B-WARE (Biogeochemical Watermanagement & Applied Research on Ecosystems) in concentraties die omgevingsvreemd zijn. B-WARE heeft aangetoond dat er uitwisseling plaatsvindt tussen de stoffen in de TGG

en het grondwater. Voornamelijk de metalen molybdeen, arseen en kwik en vanadium de interventiewaarde in het grondwater overschrijden. Eveneens zijn zeer hoge concentraties gemeten voor de anionen sulfaat, bromide en chloride en de (aard)alkalimetalen natrium, kalium en calcium, daarnaast is de pH in het grondwater zeer hoog. Naar aanleiding van deze resultaten zijn er verschillende onderzoeken uitgevoerd op het toegepaste materiaal in de berm van de Westdijk (Van Bruchem & Eversdijk, 2018). Uit de onderzoeken blijkt dat de TGG hogere uitwisselbare sulfaat-, natrium-, kalium-, chloride-, bromide- en calciumconcentraties bevat. Daarnaast is de pH in de TGG opvallend hoog (pH 10,0-11,5) en zijn er verhoogde gehalten ten opzichte van de achtergrondwaarde aangetroffen van (zware) metalen waaronder cadmium, chroom, koper, lood, barium, molybdeen, nikkel, vanadium, tin en zink. In de genomen TGG monsters is een overschrijding van de emissietoetswaarde voor de elementen V, Pb en Zn. Uit een uitlogingsproef blijkt dat de vracht anionen (en dus ook kationen) zeer goed uitloopt. Ook blijkt uit de proef dat de pH van het uitgeloopte water hoog is, gemiddeld 10,2.

Tabel 7.1 laat de uitkomsten van een uitlogingsonderzoek op anionen in de TGG (kolom L/S10 en analyse van het eluaat) van een partij TGG afkomstig van ATM uit 2017 toegepast in de Westdijk. De anionen in deze TGG zijn zeer sterk verhoogd en komen in deze gehalten/concentraties zeker niet van nature voor. Zo overschrijdt bijvoorbeeld bromide 7,5 maal de norm voor het verwaarloosrisico niveau (VR) van 20 mg/kg ds.

---

<sup>23</sup> De streefwaarde is afkomstig uit de Circulaire Bodemsanering (Staatscourant, 2013), maar wordt voor grond sinds de invoering van het Besluit Bodemkwaliteit niet meer gehanteerd.

Tabel 7.1 Overzicht uitlooggegevens en gedrag anionen afkomstig van TGG van ATM, (Van Bruchem & Eversdijk, 2018)

Stof	Uitloogbaar (mg/kg ds)	Gehalte uitgangsmateriaal (mg/kg ds)
Br	170	155
Cl	620	500
F	15	22.5
SO <sub>4</sub>	3900	4850

**Perkpolder** (Van den Meiracker et al., 2023; Van der Star et al., 2019, 2021, 2022)

In Perkpolder is in 2015 een nieuw buitendijks natuurgebied aangelegd ter grootte van 55 hectare. Als gevolg van de aanleg is de zeedijk landinwaarts komen te liggen. Bij de aanleg van de nieuwe zeedijk is thermisch gereinigde grond (TGG) verwerkt als kernmateriaal. In 2018 en 2019 is onderzoek naar (het gedrag van) de TGG uitgevoerd. Uit deze onderzoeken blijkt dat het materiaal een hoge pH heeft en op diverse plekken verhoogde gehalten aan diverse zware metalen en vluchtige verbindingen (zoals benzeen en toluen) bevat. Uitloging uit de TGG leidt tot verhoogde waarden in het grondwater direct onder de TGG. Op basis van een verhoogd bromide-gehalte, de sulfaat-chloride verhouding (in zoetwater) of een verhoogde bromide-chlorideverhouding (in zout water) kon worden vastgesteld welke locaties door de TGG zijn beïnvloed. In de zeedijk bij Perkpolder wordt beïnvloeding van TGG aangetoond doormiddel van bromide-chlorideverhouding. In 2022 worden daar voor het eerst ook structureel verhoogde arseenconcentraties in het oppervlaktewater gemeten. Deze worden niet toegeschreven aan uitloging maar juist door mobilisatie van arseen, als gevolg van de ontpoldering. Mogelijk zijn ze direct aan de TGG te correleren. Ook in het buitendijkse natuurgebied zijn de arseenconcentraties verhoogd, mogelijk als gevolg van de ingreep. Een soortgelijke mobilisatie is ook voor de Noordwaard mogelijk te verwachten.

## B De ontwikkeling van de ontpoldering van Noordwaard (bron: Topotijdreis)

2011



2012



2014



2015



2017



2022



## C Stoffenlijst

Categorie	Parameter naam	Aquo_code
Anion	bicarbonaat	HCO3
Anion	bromide	Br
Anion	bromide:chloride	Br_Cl <sup>24</sup>
Anion	carbonaat	CO3
Anion	chloride	Cl
Anion	fluoride	F
Anion	fosfor totaal	Ptot
Anion	orthofosfaat	PO4
Anion	siliciumdioxide	SiO2
Anion	sulfaat	SO4
Metaal	aluminium	Al
Metaal	aluminium (nf)	Al
Metaal	arseen	As
Metaal	arseen (nf)	As
Metaal	barium	Ba
Metaal	barium (nf)	Ba
Metaal	cadmium	Cd
Metaal	cadmium (nf)	Cd
Metaal	calcium	Ca
Metaal	calcium (nf)	Ca
Metaal	chroom	Cr
Metaal	chroom (nf)	Cr
Metaal	ijzer	Fe
Metaal	ijzer (nf)	Fe
Metaal	kalium	K
Metaal	kalium (nf)	K

<sup>24</sup> Geen officiële Aquo-parameter code, maar berekend door de bromide concentratie te delen door de chloride concentratie.

<b>Metaal</b>	koper	Cu
<b>Metaal</b>	koper (nf)	Cu
<b>Metaal</b>	kwik	Hg
<b>Metaal</b>	kwik (nf)	Hg
<b>Metaal</b>	lood	Pb
<b>Metaal</b>	lood (nf)	Pb
<b>Metaal</b>	magnesium	Mg
<b>Metaal</b>	magnesium (nf)	Mg
<b>Metaal</b>	mangaan	Mn
<b>Metaal</b>	mangaan (nf)	Mn
<b>Metaal</b>	molybdeen	Mo
<b>Metaal</b>	molybdeen (nf)	Mo
<b>Metaal</b>	natrium	Na
<b>Metaal</b>	natrium (nf)	Na
<b>Metaal</b>	nikkel	Ni
<b>Metaal</b>	nikkel (nf)	Ni
<b>Metaal</b>	strontium	Sr
<b>Metaal</b>	strontium (nf)	Sr
<b>Metaal</b>	vanadium	V
<b>Metaal</b>	vanadium (nf)	V
<b>Metaal</b>	zink	Zn
<b>Metaal</b>	zink (nf)	Zn
<b>Organochloor</b>	2,4-dichloordifenyldichloorethaan	24DDD
<b>Organochloor</b>	2,4-dichloordifenyldichlooretheen	24DDE
<b>Organochloor</b>	2,4-dichloordifenyltrichloorethaan	24DDT
<b>Organochloor</b>	4,4-dichloordifenyldichloorethaan	44DDD
<b>Organochloor</b>	4,4-dichloordifenyldichlooretheen	44DDE
<b>Organochloor</b>	4,4-dichloordifenyltrichloorethaan	44DDT
<b>Organochloor</b>	aldrin	aldn
<b>Organochloor</b>	alfa-endosulfan	aedsfn
<b>Organochloor</b>	alfa-hexachloorcyclohexaan	aHCH
<b>Organochloor</b>	beta-endosulfan	bedsfn
<b>Organochloor</b>	beta-hexachloorcyclohexaan	bHCH



<b>Organochloor</b>	cis-chloordaan	cClDn
<b>Organochloor</b>	cis-heptachloorepoxide	cHpClepO
<b>Organochloor</b>	delta-hexachloorcyclohexaan	dHCH
<b>Organochloor</b>	dieldrin	dieldn
<b>Organochloor</b>	endosulfan (som alfa- en beta-isomeer)	endsfn
<b>Organochloor</b>	endosulfansulfaat	endsfSO4
<b>Organochloor</b>	endrin	endn
<b>Organochloor</b>	gamma-hexachloorcyclohexaan (lindaan)	hCH
<b>Organochloor</b>	heptachloor	HpCl
<b>Organochloor</b>	hexachloorbenzeen	HCB
<b>Organochloor</b>	hexachloorbutadieen	HxCIBtDen
<b>Organochloor</b>	isodrin	idn
<b>Organochloor</b>	pentachloorbenzeen	PeClBen
<b>Organochloor</b>	som heptachloorepoxide (som cis- en trans-)	sHpClepO
<b>Organochloor</b>	telodrin	teldn
<b>Organochloor</b>	trans-chloordaan	tClDn
<b>Organochloor</b>	trans-heptachloorepoxide	tHpClepO
<b>PAK</b>	acenafteen	AcNe
<b>PAK</b>	acenaftyleen	AcNy
<b>PAK</b>	antraceen	Ant
<b>PAK</b>	benzo(a)antraceen	BaA
<b>PAK</b>	benzo(a)pyreen	BaP
<b>PAK</b>	benzo(b)fluorantheen	BbF
<b>PAK</b>	benzo(ghi)peryleen	BghiPe
<b>PAK</b>	benzo(k)fluorantheen	BkF
<b>PAK</b>	chryseen	Chr
<b>PAK</b>	dibenzo(a,h)antraceen	DBahAnt
<b>PAK</b>	fenantreen	Fen
<b>PAK</b>	fluorantheen	Flu
<b>PAK</b>	fluoreen	Fle
<b>PAK</b>	indeno(1,2,3-cd)pyreen	InP
<b>PAK</b>	naftaleen	Naf
<b>PAK</b>	pyreen	Pyr

<b>PAK</b>	som 10 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (VROM)	sPAK10
<b>PAK</b>	som 16 polycyclische aromatische koolwaterstoffen (EPA)	sPAK16
<b>PCB</b>	2,2,3,4,4,5,5-heptachloorbifenyl	PCB180
<b>PCB</b>	2,2,3,4,4,5-hexachloorbifenyl	PCB138
<b>PCB</b>	2,2,4,4,5,5-hexachloorbifenyl	PCB153
<b>PCB</b>	2,2,4,5,5-pentachloorbifenyl	PCB101
<b>PCB</b>	2,2,5,5-tetrachloorbifenyl	PCB52
<b>PCB</b>	2,3,4,4,5-pentachloorbifenyl	PCB118
<b>PCB</b>	2,4,4-trichloorbifenyl	PCB28
<b>PFAS</b>	11-chlooreicosafloor-3-oxaundecaan-1-sulfonzuur	11CIPF3OUdS
<b>PFAS</b>	2-(perfluorbutyl)ethaan-1-sulfonzuur (4:2 FTS)	H-PFC6asfzr
<b>PFAS</b>	2-(perfluorhexyl)ethaan-1-sulfonzuur (6:2 FTS)	2PFC6yC2a1sf
<b>PFAS</b>	2-(perfluorocetyl)ethaan-1-sulfonzuur (8:2 FTS)	H-PFC10asfzr
<b>PFAS</b>	2,3,3,3-tetrafluor-2-(heptafluorpropoxy)propionzuur	FRD-903
<b>PFAS</b>	9-chloorhexadecaanfluor-3-oxanon-1-sulfonzuur	9-CI-PF3ONS
<b>PFAS</b>	ammonium 4,8-dioxa-3H-perfluornonanoaat	ADONA
<b>PFAS</b>	cis-hexadecafluor-2-deceenzuur	cF16C10ezr
<b>PFAS</b>	n-methylperfluorocetaan sulfonamidoazijnzuur	N-MeFOSAA
<b>PFAS</b>	perfluor-1-decaansulfonzuur	L_PFDS
<b>PFAS</b>	perfluor-1-heptaansulfonzuur	L_PFHpS
<b>PFAS</b>	perfluor-1-pentaansulfonzuur	PFC5asfzr
<b>PFAS</b>	perfluorbutaansulfonzuur	L_PFBs
<b>PFAS</b>	perfluorbutaanzuur	PFBA
<b>PFAS</b>	perfluordecaanzuur	PFDA
<b>PFAS</b>	perfluordodecaanzuur	PFDoA
<b>PFAS</b>	perfluorheptaanzuur	PFHpA
<b>PFAS</b>	perfluorhexaansulfonzuur	L_PFHxS
<b>PFAS</b>	perfluorhexaanzuur	PFHxA
<b>PFAS</b>	perfluornonaan-1-sulfonzuur	PFC9asfzr
<b>PFAS</b>	perfluornonaanzuur	PFNA
<b>PFAS</b>	perfluorocetaan sulfonamide	PFOSA
<b>PFAS</b>	perfluorocetaan sulfonamide(N-ethyl)azijnzuur	EtFOSAA
<b>PFAS</b>	perfluorocetaan sulfonzuur	PFOS

<b>PFAS</b>	perfluorooctaanzuur	PFOA
<b>PFAS</b>	perfluorpentaanzuur	PFPA
<b>PFAS</b>	perfluortetradecaanzuur	PFTeDA
<b>PFAS</b>	perfluortridecaanzuur	PFTDA
<b>PFAS</b>	perfluorundecaanzuur	PFUdA
<b>PFAS</b>	som lineair en vertakte perfluorhexaansulfonzuur	slinverPFHxS
<b>PFAS</b>	som lineair en vertakte perfluorooctaansulfonzuur	slinverPFOS
<b>PFAS</b>	som lineair en vertakte perfluorooctaanzuur	slinverPFOA
<b>PFAS</b>	som vertakte perfluorhexaansulfonzuur-isomeren	sverttPFHxS
<b>PFAS</b>	som vertakte PFOA-isomeren	sverttPFOA
<b>PFAS</b>	som vertakte PFOS-isomeren	sverttPFOS
<b>Veld</b>	doorzicht	ZICHT
<b>Veld</b>	droogstand watergang	DROOGSWTGG
<b>Veld</b>	geleidendheid	GELDHD
<b>Veld</b>	temperatuur	T
<b>Veld</b>	zuurgraad	pH
<b>Veld</b>	zuurstof	O2
<b>Veld</b>	zuurstof percentage	O2

## D Grondstromenoverzicht Noordwaard

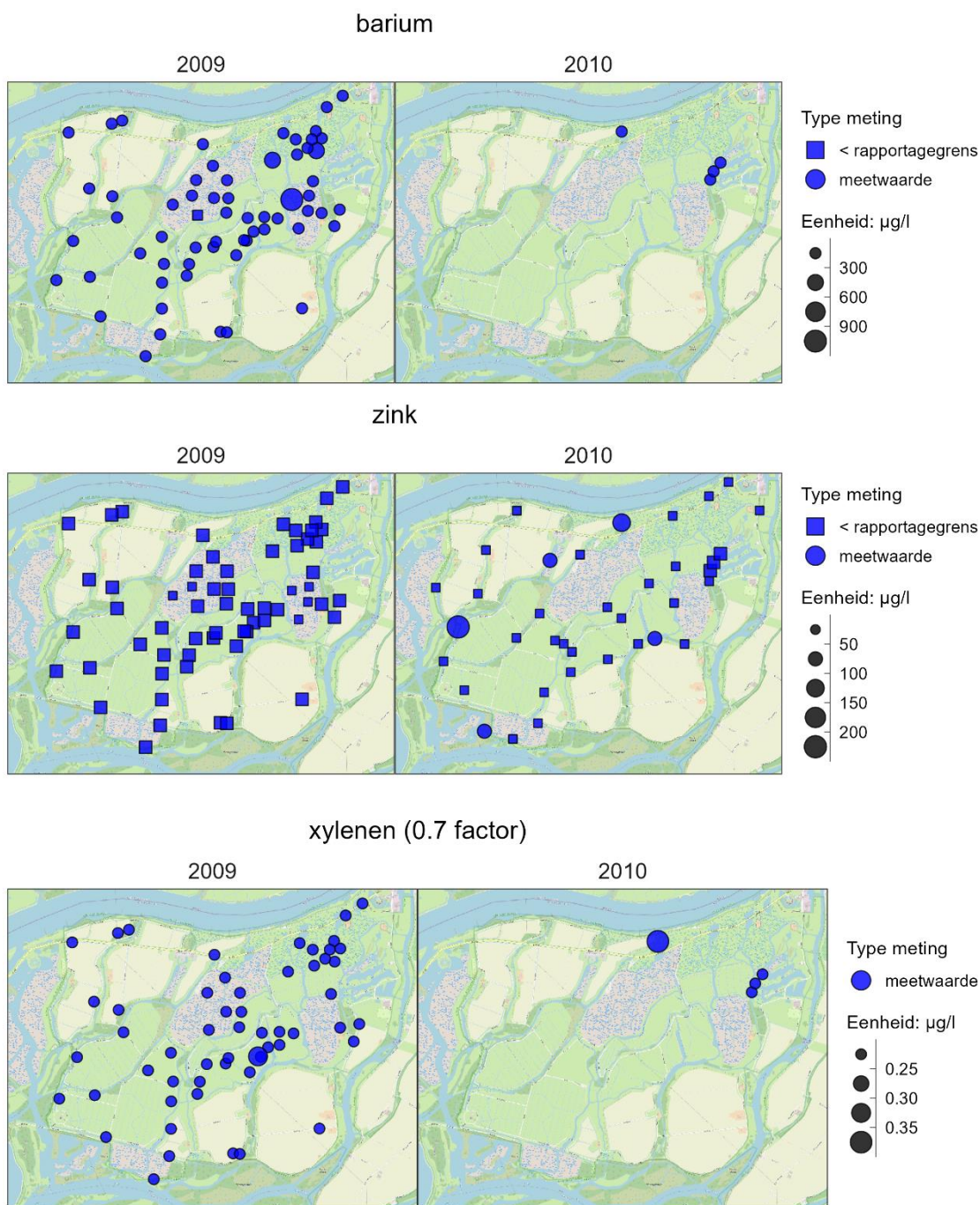
Tabel 7.2 Overzicht van aangevoerd TGG van ATM en Theo Pouw

Locatie	Sectie	ATM aanvoer (m <sup>3</sup> )	TP aanvoer (m <sup>3</sup> )	Totaal
<b>Loswal (RWS) Merwede</b>		24736		24736
Loswal Kooike Zuid		153666		153666
Loswal Merwede Nieuw		22001		22001
Achterste Kievitswaard	sectie 2	6250	651	6901
Happenhennip	sectie 1	24238	587	24825
	sectie 3	25334	2557	27891
	sectie 4		449	449
	sectie 5		14028	14028
Anna Paulowna	sectie 1	5171	1225	6396
Middelste Kievitswaard	sectie 1	13775		13775
	sectie 2	5384	24390	29774
	sectie 3	12585	18036	30621
	sectie 4	15058		15058
Binnen Kievitswaard	sectie 1		3462	3462
	sectie 2	767	15053	15820
	sectie 3		23145	23145
	sectie 4		10117	10117
Muggenwaard	sectie 1	2365		2365
<b>Totaal</b>		<b>311330</b>	<b>113700</b>	





# F Stoffen in grondwater 2009, 2010



Figuur 7.1. Overzicht van peilbuismetingen voor barium (boven), zink (midden) en xylenen (o-, m- en p-), (onder) in 2009 & 2010. De omvang van het meetpunt geeft de hoogte van de concentratie in het grondwater weer. Vierkanten geven de metingen weer waar de concentraties onder de rapportagegrens gemeten zijn.

# G Overzicht parameters hoger dan de norm gemeten in Noordwaard

Overzicht van parameters die in het oppervlaktewater hoger dan de normen zijn gemeten. AC staat voor Achtergrondconcentratie landoppervlaktewateren. Niet toetsbaar betekent dat rapportagegrens hoger dan de desbetreffende norm ligt. Alle normen zijn in µg/L weergegeven

Groepstof	Parameter	Aquocode	Hoedanigheid	Norm	Waarde	TGG ja	TGG nee	Niet toetsbaar
Anion	bromide	Br	opgelost	MTR	8,00e+03	x		
Anion	chloride	Cl	opgelost	MTR	2,00e+05	x		
Anion	sulfaat	SO4	opgelost	MTR	1,00e+05	x		
Metaal	arsen (nf)	As	opgelost	AC	5,00e-01	x	x	
Metaal	arsen (nf)	As	opgelost	JG-MKN	5,00e-01	x	x	
Metaal	arsen (nf)	As	opgelost	MAC-MKN	8,00e+00	x		
Metaal	barium (nf)	Ba	opgelost	AC	2,20e+01	x	x	
Metaal	barium (nf)	Ba	opgelost	JG-MKN	9,30e+01	x	x	
Metaal	chrom (nf)	Cr	opgelost	AC	2,00e-01	x	x	
Metaal	koper (nf)	Cu	opgelost	AC	5,00e-01	x	x	
Metaal	kwik (nf)	Hg	opgelost	AC	1,00e-02	x	x	
Metaal	kwik (nf)	Hg	opgelost	JG-MKN	7,00e-05	x	x	
Metaal	lood (nf)	Pb	opgelost	AC	2,00e-01	x	x	
Metaal	molybdeen (nf)	Mo	opgelost	AC	5,00e-01	x	x	
Metaal	nikkel (nf)	Ni	opgelost	AC	1,00e+00	x	x	
Metaal	strontium (nf)	Sr	opgelost	AC	1,10e+02	x	x	
Metaal	vanadium (nf)	V	opgelost	AC	8,00e-01	x	x	
Metaal	vanadium (nf)	V	opgelost	JG-MKN	3,50e+00	x	x	1
Metaal	zink (nf)	Zn	opgelost	AC	1,00e+00	x	x	
Metaal	zink (nf)	Zn	opgelost	JG-MKN	7,80e+00	x	x	
Metaal	zink (nf)	Zn	opgelost	JG-MKN	1,56e+01	x	x	
Organochloor	4,4-dichloordifenyiltrichloorethaan	44DDT	totaal	JG-MKN	1,00e-02	x	x	
Organochloor	endosulfan (som alfa- en beta-isomeer)	endsfn	totaal	JG-MKN	5,00e-03	x	x	1
Organochloor	endosulfan (som alfa- en beta-isomeer)	endsfn	totaal	MAC-MKN	1,00e-02	x	x	1
Organochloor	heptachloor	HpCl	totaal	JG-MKN	2,00e-07	x	x	1
Organochloor	heptachloor	HpCl	totaal	MAC-MKN	3,00e-04	x	x	1
Organochloor	hexachloorbenzeen	HCB	totaal	JG-MKN	2,60e-05	x	x	1
Organochloor	hexachloorbutadieen	HxC1btDen	totaal	JG-MKN	5,50e-04	x	x	1
Organochloor	som heptachloorepoxide (som cis- en trans-)	sHpClepO	totaal	JG-MKN	2,00e-07	x	x	1
Organochloor	som heptachloorepoxide (som cis- en trans-)	sHpClepO	totaal	MAC-MKN	3,00e-04	x	x	1
PAK	acenaftylen	AcNy	totaal	JG-MKN	1,00e-01	x	x	1
PAK	benzo(a)antracene	BaA	totaal	JG-MKN	6,40e-04	x	x	1
PAK	benzo(a)pyreen	BaP	totaal	JG-MKN	1,70e-04	x	x	1
PAK	benzo(ghi)perylene	BghiPe	totaal	MAC-MKN	8,20e-03	x	x	1
PAK	chryseen	Chr	totaal	JG-MKN	2,90e-03	x	x	1
PAK	fluorantheen	Flu	totaal	JG-MKN	6,30e-03	x	x	1
PFAS	n-methylperfluorocetaan sulfonamidoazijnzuur	N-MeFOSAA	totaal	risicogrens RIVM	7,00e-06	x	x	1
PFAS	perfluor-1-heptaansulfonzuur	L_PFHpS	totaal	risicogrens RIVM	2,00e-05	x	x	1
PFAS	perfluorbutaansulfonzuur	L_PFBS	totaal	risicogrens RIVM	3,00e+00	x	x	1
PFAS	perfluordecaanzuur	PFDA	totaal	risicogrens RIVM	3,00e-06	x	x	1
PFAS	perfluordodecaanzuur	PFDoA	totaal	risicogrens RIVM	4,00e-07	x	x	1
PFAS	perfluorheptaanzuur	PFHpA	totaal	risicogrens RIVM	9,00e-04	x	x	1
PFAS	perfluorhexaanzuur	PFHxA	totaal	risicogrens RIVM	4,00e-01	x	x	1
PFAS	perfluormonaanzuur	PFNA	totaal	risicogrens RIVM	7,00e-06	x	x	1
PFAS	perfluorocetaan sulfonamide(N-ethyl)azijnzuur	EtFOSAA	totaal	risicogrens RIVM	7,00e-06	x	x	1
PFAS	perfluorocetaan sulfonzuur	PFOS	totaal	JG-MKN	6,50e-04	x	x	
PFAS	perfluorocetaan sulfonzuur	PFOA	totaal	JG-MKN	4,80e-02	x	x	
PFAS	perfluorocetaan sulfonzuur	PFOA	totaal	risicogrens RIVM	3,00e-04	x	x	
PFAS	perfluorpentaanzuur	PFPa	totaal	risicogrens RIVM	3,00e-01	x	x	1
PFAS	perfluortetradecaanzuur	PFTeDA	totaal	risicogrens RIVM	2,00e-05	x	x	1
PFAS	perfluortridecaanzuur	PFTDA	totaal	risicogrens RIVM	9,00e-07	x	x	1
PFAS	perfluorundecaanzuur	PFUdA	totaal	risicogrens RIVM	1,00e-06	x	x	1
PFAS	som lineair en vertakte perfluorhexaansulfonzuur	slinverPFHxS	totaal	risicogrens RIVM	2,00e-04	x	x	
PFAS	som lineair en vertakte perfluorocetaan sulfonzuur	slinverPFOS	totaal	risicogrens RIVM	7,00e-06	x	x	



Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

**Deltares**

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)