

Monitoring Perkpolder

Jaarrapportage 2022



Monitoring Perkpolder

Jaarrapportage 2022

Auteur(s)

Rianne van den Meiracker

Wouter van der Star

Kees Wesdorp

Naomi Lamers

Monitoring Perkpolder

Jaarrapportage 2022

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Programma's Projecten en Onderhoud
Contactpersoon	E. Mostert
Referenties	3112622
Trefwoorden	Thermisch Gereinigde Grond, Perkpolder

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	01-11-2023
Projectnummer	11203217-000
Document ID	11203217-000-BGS-0038
Pagina's	82
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Rianne van den Meiracker	
	Wouter van der Star	
	Kees Wesdorp	
	Naomi Lamers	

Samenvatting

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. De dijk is afgedekt met een leeflaag.

Naast het natuurgebied is -op het voormalige veerplein- een terp aangelegd tot een hoogte van 10 m boven NAP. In de terp is aan de noordzijde een kering verwerkt ter hoogte van de Koppeldijk. In de kern van deze kering is eveneens TGG verwerkt. De kering is afgedekt met een harde asfaltbekleding waarop een leeflaag is aangebracht.

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. Bovendien wordt via zijwaartse afstroming de kwelsloot beïnvloed.

In 2020 is een meerjarig monitoringsprogramma gestart waarin de waterbodemplaat van de kwelsloot, het grondwater (in de directe omgeving van de dijk), de grasbekleding en het oppervlaktewater (de kwelsloot en het buitendijks natuurgebied) periodiek worden gemonitord. In 2021 is het meetnet uitgebreid met extra peilfilters zodat over 7 raaien het grondwater en oppervlaktewater in de directe omgeving van de dijk kan worden gemonitord. In 2022 is het netwerk gelijk gebleven en gemonitord in 3 monitoringsrondes. Tevens is op diverse locaties gekeken naar de waterstanden om vast te stellen of de TGG onder water komt te staan.

Op basis van een verhoogd bromide-gehalte, de sulfaat-chloride verhouding (in zoetwater) of een verhoogde bromide-chlorideverhouding (in zout water) kan worden vastgesteld welke locaties door de TGG zijn beïnvloed. Het grondwater direct onder de TGG en in de peilbuis direct naast de kwelsloot (aan de dijkzijde) worden beïnvloed door de TGG. Dat blijkt uit verhoogde bromide-gehalten en een verhoogde bromide-chloride verhouding op deze locaties. Langs de westelijke dijk is een trend te zien van steeds hogere bromide-chloride-gehalten direct onder de TGG.

De aanwezigheid van TGG leidt hier tot hoge arseengehalten en tot verhoogde gehalten aan vanadium, molybdeen en chroom. De hoge waarden van arseen in het grondwater zijn opvallend want deze waarden zijn de afgelopen 3 jaar hoger dan in 2020 en 2021 structureel hoger dan vastgesteld in de periode 2017-2018 en op enkele plekken ver boven de interventiewaarde.

Het binnendijkse oppervlaktewater bij de locaties van de westelijke dijk (de kwelsloten) worden niet of beperkt beïnvloed door TGG, wat te zien is aan een slechts licht verhoogde bromide-chloride verhoudingen ten opzichte van zeewater. Langs de zuidelijke dijk is in het oppervlaktewater is op basis van de bromide-chlorideverhouding een beïnvloeding zichtbaar, die echter niet hoger is dan in eerdere jaren. In 2022 worden voor het eerst structureel verhoogde arseenconcentraties in het oppervlaktewater gemeten. Deze worden veroorzaakt 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.

Van andere locaties of componenten is niet direct duidelijk of ze kunnen worden toegeschreven aan de aanwezigheid van de TGG. In de waterbodem van de kwelsloot, het diepere grondwater en het buitendijks natuurgebied is geen effect van de aanwezigheid van de TGG waargenomen.

Piëzometer metingen op diverse plekken direct onder de TGG bevestigen dat de TGG grotendeels boven de grondwaterspiegel ligt. Op diverse plekken ligt echter een gedeelte eronder. Het grondwater dat daar direct met de TGG in aanraking komt is beperkt beïnvloed door het getij, waardoor er geen dagelijkse cycli van vernatting optreden die uitloging kunnen versnellen.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Aanleiding, achtergrond en doel onderzoek	9
1.1	Aanleiding	9
1.2	Historie	10
1.3	Doel	11
1.4	Bestaande rapportages	12
2	Gebiedsomschrijving	14
2.1	Omstandigheden gebied	14
2.2	Bodemopbouw	15
2.3	Hydrologie binnendijks	17
2.4	Kwelvoorziening	18
2.5	Buitendijks natuurgebied	19
2.6	Gebiedsontwikkeling najaar 2022	20
3	Meetnet	22
3.1	Wijzigingen meetnet	22
3.2	Meetlocaties	22
4	Aanpak onderzoek	28
4.1	Benadering	28
4.2	Onderdelen van de periodieke monitoring	29
4.2.1	Oppervlaktewater intergetijdengebied, kwelsloot en het Weeltje	29
4.2.2	Waterbodem kwelsloot	29
4.2.3	Grondwater in de omgeving van de TGG	29
4.2.4	Onderzoeksvragen grondwater, waterbodem en oppervlaktewater	30
4.2.4.1	Landbouwgebied en buitendijks gebied	30
4.2.4.2	Bovenstrooms en benedenstrooms oppervlaktewater	30
4.2.5	Grasonderzoek	30
4.3	Bemonstering en analyses en periodieke monitoring	30
4.3.1	Bemonstering	30
4.3.2	Tijdstip	31
4.3.3	Meetpakketten	31
4.3.3.1	Oppervlaktewater intergetijdengebied en kwelsloot	31
4.3.3.2	Analyses Grondwater	31
4.3.3.3	Analyses Waterbodem kwelsloot	32
4.4	Onderdelen incidenteel onderzoek	32
4.4.1	Onderzoek naar waterstand TGG	32
4.5	Normen	32
4.5.1	Normen voor grondwater	32

4.5.2	Normen voor waterbodem	33
4.5.3	Normen voor oppervlaktewater	33
4.5.3.1	PFAS oppervlaktewater	34
5	Resultaten periodieke monitoring 2022	35
5.1	Toetsing	35
5.2	Resultaten	41
5.2.1	Westelijke dijk	42
5.2.1.1	Oppervlaktewater	42
5.2.1.2	Grondwater	43
5.2.2	Zuidelijke dijk	45
5.2.2.1	Oppervlaktewater	45
5.2.2.2	Grondwater	45
5.2.3	Koppeldijk	46
5.2.3.1	Grondwater	46
5.2.4	Natuurgebied	47
5.2.4.1	Oppervlaktewater	47
5.2.4.2	Grondwater	47
5.2.5	Grondwater buiten kwelsloot	48
5.2.6	Landbouwgebied	48
5.2.7	Oppervlaktewater benedenstrooms	49
5.2.8	PFAS	49
5.2.9	Waterbodem	52
5.3	Discussie	52
5.3.1	Bromide-chloride verhouding	52
5.3.2	Arseen	54
5.3.3	PFAS	54
5.4	Conclusie	55
6	Grasbekledingsonderzoek	56
6.1	Inleiding	56
6.2	Toetsing	56
6.3	Resultaten	56
6.4	Conclusie	56
7	Resultaten aanvullend onderzoek	58
7.1	Onderzoek naar waterstand TGG	58
7.1.1	Inleiding	58
7.1.2	Resultaten	58
7.1.3	Conclusie	60
8	Aanbevelingen	61
9	Referenties	62
	Bijlagen	64
A	Monitoring grondwater, oppervlaktewater en waterbodem	65
A.1	Monitoringsrapportages Antea	65

A.1.1	Meetronde 7 (rapportage meetresultaten Antea)	65
A.1.2	Meetronde 8 (rapportage meetresultaten Antea)	65
A.1.3	Meetronde 9 (rapportage meetresultaten Antea)	65
A.2	Grondwater: Overzicht stoffen en toetsing per peilfilter en per meetronde	66
A.3	Oppervlaktewater: Overzicht stoffen en toetsing per locatie	67
A.4	Waterbodem: Overzicht stoffen en toetsing	68
A.5	Normen	69
A.6	PFAS: gemeten verbindingen	72
A.7	Grondwater en oppervlaktewater: overzicht stoffen en toetsing per meetronde	74
A.8	Monsternamelocaties en aantal metingen.	75
A.9	Normen voor PFAS	78
A.9.1	Normen voor PFAS in grondwater	78
A.9.2	Normen voor PFAS in waterbodem	78
B	Memo grasonderzoek	80
C	Resultaten onderzoek naar waterstand TGG	81

1 Aanleiding, achtergrond en doel onderzoek

1.1 Aanleiding

In 2015 is in Perkpolder een nieuwe zeedijk aangelegd. In de kern van deze dijk is Thermisch Gereinigde Grond (TGG)¹ toegepast: grond waaruit door verhitting organische verontreinigingen zijn verwijderd. Deltares heeft in voorgaand verkennend onderzoek (Deltares, 2016) en uitgebreider onderzoek (Deltares, 2019) gekeken naar de effecten van het gebruik van de TGG op deze locatie.

Uit het onderzoek is gebleken dat de TGG, in vergelijking met de omgeving, verhoogde waarden bevat aan diverse zware metalen, sulfaat en bromide. Deze stoffen worden door verhitting niet afgebroken. Ook worden meetbare concentraties van diverse vluchtige organische verbindingen aangetroffen en is de pH hoger dan in de omgeving. Een bijkomend risico van TGG is dat de mineralen ontstaan zijn bij hoge temperatuur, en door contact met water kunnen ververen. Hierbij kunnen nieuwe mineralen gevormd worden die tot een andere bodemstructuur en verkitting kunnen leiden. Dit beïnvloedt de geotechnische eigenschappen van de dijk. Verkitting van de TGG is tot dusverre niet waargenomen.

De TGG ligt grotendeels² boven het grondwater en in veel gevallen blijkt een klei-, veenlaag onder de TGG aanwezig te zijn, die als weerstandsbiedende laag fungeert. Uit geohydrologisch onderzoek is gebleken dat het ondiepe grondwater voornamelijk richting de kwelsloot stroomt en een eventuele verspreiding van stoffen afkomstig van de TGG beperkt lijkt tot de kwelsloot en de ondiepe ondergrond direct onder de TGG.

In het kader van het Deltares onderzoek van 2017-2018 heeft er een monitoring naar milieuvreemde stoffen in het grondwater en oppervlaktewater in de directe omgeving van de dijk plaatsgevonden. De monitoring vond plaats over een tijdsperiode van 2 jaar. Tijdens deze monitoring zijn er (nog) geen sterke trends in de tijd waargenomen, maar er zijn wel verhoogde waarden aangetroffen van milieuvreemde stoffen zoals arseen in het grondwater in het gebied direct onder de dijk. Deze verhoogde waarden kunnen worden gerelateerd aan de aanwezigheid van TGG in de dijk. Rijkswaterstaat heeft daarop besloten om de monitoring uit voorzorg door te zetten. Het project "Vervolg monitoring Perkpolder" loopt tot 2024 en bestaat uit de monitoring van grondwater, oppervlaktewater, waterbodembodem en de grasbekleding op de dijk. Inmiddels is de duur van de monitoring zes jaar.

¹ Zie kader voor een algemene beschrijving van TGG. De hier gebruikte TGG was een mengsel van TGG en TAG (teerhoudend asfaltgranulaat). Voor de helderheid wordt hier de term TGG gebruikt. Mogelijk is tevens extractief gereinigde grond toegepast in de nieuwe zeedijk. Daarop richt dit onderzoek zich niet.

² In de zuidelijke (deelgebied A) en westelijke dijk (deelgebied C) ligt ca 9 meter TGG, waarvan in enkele gevallen ca 1 meter onder het grondwater ligt. Ter plaatse van de Koppeldijk (Deelgebied D) ligt de TGG altijd enkele meters boven het grondwater.

Thermisch gereinigde 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 -na certificatie- als grond in ophoogmateriaal bij civiele werken mag worden toegepast.

Principe van de techniek³

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. Deze verwijdering wordt tot stand gebracht door de temperatuur in beide secties te verhogen tot boven de temperatuur waarbij de evenwichts dampspanning van de verontreinigende stof hoger is dan één atmosfeer. In de praktijk wordt de verdamping gerealiseerd bij atmosferische druk. Indien de evenwichts dampspanning boven één atmosfeer komt is de verdamping onafhankelijk van de concentratie in de gasfase en zal alle verontreinigende stof verdampen.

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 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 niet langer een afvalstof en gereed voor hergebruik in een nuttige toepassing.

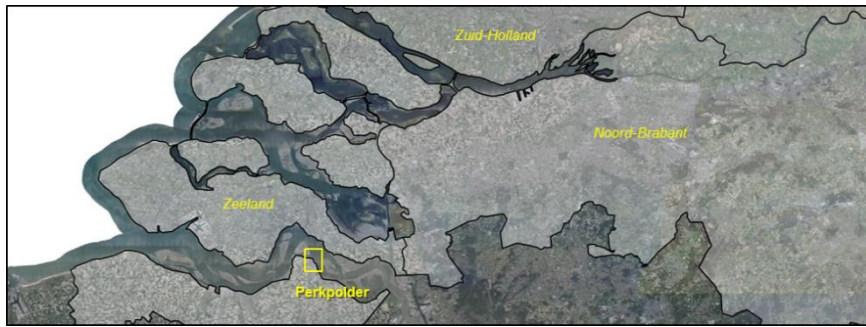
Thermische reiniging is geschikt voor reiniging van alle organische verontreinigende stoffen, evenals enkele anorganische stoffen zoals cyaniden, kwik en kwikverbindingen. Thermische reiniging is in staat vastgestelde eindconcentraties te bereiken onafhankelijk van de ingangconcentraties, maar is niet in staat alle verontreinigingen (met name metalen) te verwijderen.

Verdere informatie over toepassingsgebied, validatie en kosten kunnen geraadpleegd worden op <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d2-thermische-reiniging/factsheet-thermische-reiniging-grond>.

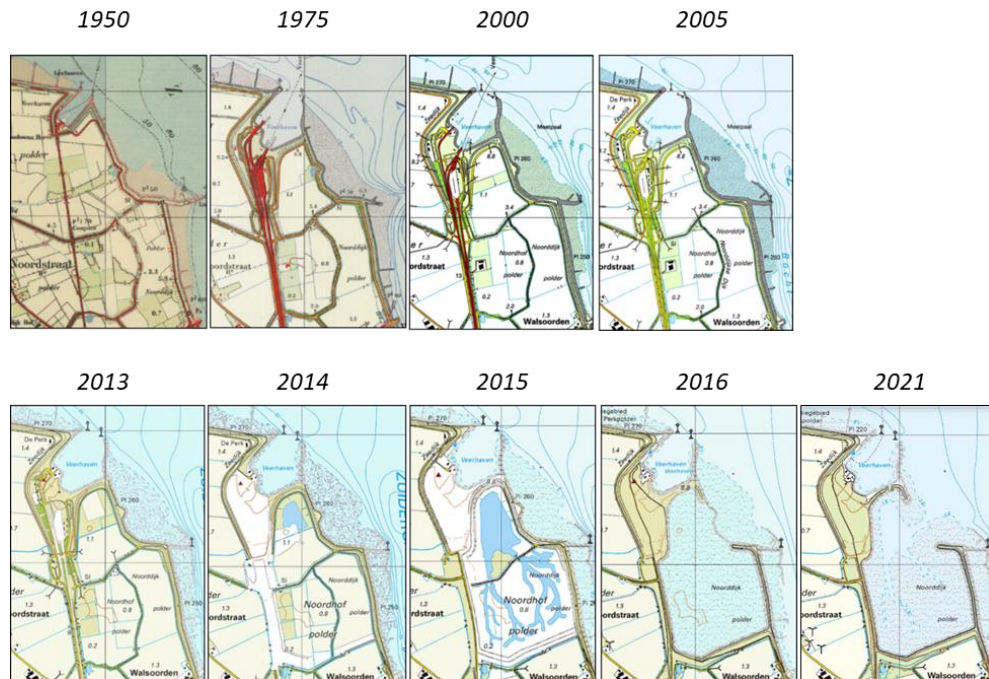
1.2 Historie

In het project Natuurcompensatie Perkpolder is een getijdengebied ingericht in de Oostelijke Perkpolder, gelegen in de gemeente Hulst (Zeeuws-Vlaanderen), zie Figuur 1. Voor deze herinrichting van het gebied is de zeedijk binnenwaarts verplaatst. Het inrichten van een getijdengebied als mitigerende maatregel komt voort uit verplichtingen rondom de tweede verdieping van de Westerschelde. Afspraken hierover zijn vastgelegd in het Natuurcompensatieprogramma Westerschelde uit 1998 (Kramer, 2008). Op 25 juni 2015 is de bestaande dijk doorgestoken en is het getijdegebied in werking getreden (Figuur 2). In deze figuur staat de ontwikkeling van het gebied weergegeven gedurende de periode 1950 tot 2021.

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



Figuur 1. Locatie Perkpolder in Zeeland. (<https://satellietdataportaal.nl/>)



Figuur 2: Locatie en kaarten van Perkpolder voor de periode 1950-2021 (overgenomen van <http://topotijdreis.nl/>).

In een deel van deze nieuwe zeedijk is in de kern thermisch gereinigde grond⁴ (TGG) gebruikt, zie voor meer informatie over de TGG paragraaf 2.1 en voor de locaties waar TGG is toegepast Figuur 4 op pagina 15. De TGG is afgedekt met een toplaag. Ter hoogte van de zuidelijke en westelijke dijk bestaat deze toplaag uit klei, die is vrijgekomen tijdens de realisatie van het natuurgebied. Ter hoogte van de Koppeldijk bestaat de toplaag uit een asfaltbekleding met daar bovenop zand. De toplaag is aan de bovenzijde steeds voorzien van een graszode.

1.3 Doel

Het doel van het onderzoek 'vervolgmonitoring Perkpolder' is om inzicht te krijgen in de lange termijn effecten van de toegepaste TGG op de kwetsbare objecten in de omgeving: het natuurgebied, het binnendijkse watersysteem en het (grond)water. Hiervoor is een meerjarig monitoringsplan (2020-2023) opgesteld in opdracht van Rijkswaterstaat. Na twee jaar volgt

⁴ Verontreinigde grond kan gereinigd worden door behandeling bij een hoge temperatuur. Vluchtige verontreinigende stoffen dampen daarbij uit en worden verbrand. Wat over blijft is thermisch gereinigde grond (TGG), dat na toetsing van de milieukundige en geotechnische kwaliteit als ophoogmateriaal bij civiele werken mag worden toegepast als grond.

een tussenevaluatie en wordt de strategie van monitoring voor daaropvolgende jaren (2022-2023) bepaald. Dit rapport betreft de tussenevaluatie en beschrijft, onder andere, aanpassingen in het oorspronkelijke meetnet.

1.4 Bestaande rapportages

In de afgelopen jaren zijn diverse rapportages verschenen over Perkpolder, waar in deze rapportage naar wordt verwezen. Voor het overzicht zijn de betreffende rapportages in Tabel 1 weergegeven.

Tabel 1. Overzicht rapportages (tot en met 2022) gerelateerd aan de zeedijk bij Perkpolder.

Titel	Ondertitel	Rapport nummer	Datum verschijnen	Partij	Citatie
Thermisch gereinigde grond Natuurcompensatie Perkpolder		1209989-000-GEO-0003	Mei 2014	Deltares	(Deltares, 2014)
Analyse TGG Perkpolder	Eindrapportage	1220438-000-GEO-0012	Mei 2016	Deltares	(Deltares, 2016)
Onderzoek naar effecten aanwezigheid van TGG in dijken van de Perkpolder	Eindrapportage	11200482-000-GEO-0022_v3.0	April 2019	Deltares	(Deltares, 2019)
Grondwateronderzoek primaire kring Perkpolder	<i>Bijlagerapport A</i> bij Eindrapportage TGG in dijken Perkpolder	11200482-013-GEO-0002	April 2019	Deltares	(Deltares, 2019a)
Milieuchemische analyses Perkpolder	<i>Bijlagerapport B</i> bij Eindrapportage TGG Perkpolder	11200482-000-GEO-0015	April 2019	Deltares	(Deltares, 2019b)
Onderzoeksresultaten geotechnische analyses TGG-materiaal Perkpolder	<i>Bijlagerapport C</i> bij Eindrapportage TGG Perkpolder	11200482-000-GEO-0008	April 2019	Deltares	(Deltares, 2019c)
Vervolgmonitoring Perkpolder	Plan van Aanpak	11203217-005-BGS-0002	April 2020	Deltares	(Deltares, 2020)
Perkpolder Tidal Restoration	Final report		April 2019	COE Delta Technology	(Centre of Expertise Delta Technology (COE), 2019)
Risicobeoordeling van het gebruik van thermisch gereinigde grond in Perkpolder (Zeeland)		2018-0063	Juni 2018	RIVM	(RIVM, 2018a)
Vervolgmonitoring Perkpolder	Jaarrapportage 2020	11203217-005-BGS-0004	Maart 2021	Deltares	(Deltares, 2021)
Vervolgmonitoring Perkpolder	Jaarrapportage 2021	11203217-000-BGS-0014	Mei 2022	Deltares	(Deltares, 2022)
Toepassing van thermisch gereinigde grond. Een evaluatie en opties voor een toepassingskader		2021-0168	November 2021	RIVM	(RIVM, 2021)
Milieurendementsonderzoek TGG Perkpolder	Conceptueel model (samenvattend hoofdrapport)	BH7547-MI-RP-220428-1557	Mei 2022	Royal Haskoning DHV	(Royal Haskoning DHV, 2022a)
Milieurendementsonderzoek TGG Perkpolder	Uitwerking maatregelen	BH7547-IB-RP-220404-2202	Mei 2022	Royal Haskoning DHV	(Royal Haskoning DHV, 2022b)
Zicht op de zeedijk	Belevingsonderzoek Zeedijk in Perkpolder	2022-0037	Mei 2022	RIVM	(RIVM, 2022a)
Risicoschatting TGG voor de omgeving van de zeedijk Perkpolder (Zeeland). Evaluatie 2021		2022-0079	Mei 2022	RIVM	(RIVM, 2022b)
Uitloogbaarheid van extractief gereinigd zand in waterkering Perkpolder			November 2021	Edinsi	(Edinsi, 2022)

2 Gebiedsomschrijving

De hieronder uitgewerkte gebiedsomschrijving is gebaseerd op de uitwerking in het Deltares rapport uit 2019 (Deltares, 2019). Zie deze rapportage voor meer details.

2.1 Omstandigheden gebied

Het gebied bestaat uit de voormalige veerhaven van het veer Kruiningen – Perkpolder, en een nieuw aangelegd (buitendijks) natuurgebied. Het natuurgebied staat in verbinding met het open water van de Westerschelde omdat een deel van de oorspronkelijke bodem, maar ook een dijk, is afgegraven en een nieuwe dijk is aangelegd. Het natuurgebied staat nu onder invloed van het getij, want de Westerschelde is een getijwater en het natuurgebied overstroomt tweemaal per dag met zout water (Figuur 3).



Figuur 3. Ligging van het gebied van de oude veerhaven en het buitendijkse natuurgebied.

In het nieuw aangelegde natuurgebied moest, voor de bescherming van het achterland, een nieuwe dijk (primaire kering) worden aangelegd. TGG is gebruikt als kernmateriaal in twee nieuwe dijken. Ook voor het verbeteren van een bestaande dijk is TGG als kernmateriaal toegepast. In de dijken waarin TGG is toegepast, is de TGG vervolgens afgedekt conform de regels die horen bij een grootschalige bodemtoepassing (GBT). Naast het natuurgebied is op het voormalige veerplein een terp aangelegd waarin aan de noordzijde ter hoogte van de Koppeldijk een kering is verwerkt. In de kern van deze kering is eveneens TGG verwerkt. De kering is afgedekt met een harde asfaltbekleding waarop een leeflaag is aangebracht. De dijkdelen waarin TGG is toegepast zijn delen van de Koppeldijk, westelijke dijk en zuidelijke dijk (Figuur 4).



Figuur 4. TGG is toegepast in delen van de Koppeldijk, westelijke dijk en zuidelijke dijk.

In dit rapport worden de resultaten besproken aan de hand van verschillende objecten, zoals beschreven in paragraaf 3.2. De naamgeving van deze objecten is echter in de loop der tijd gewijzigd, en door verschillende partijen zijn verschillende terminologieën gebruikt. Om duidelijk te maken hoe de verschillende gebieden zich tot elkaar verhouden is hieronder een overzicht van de benamingen van de verschillende gebieden opgenomen, daarbij zijn voor de volledigheid ook de benamingen van Van Oord gebruikt.

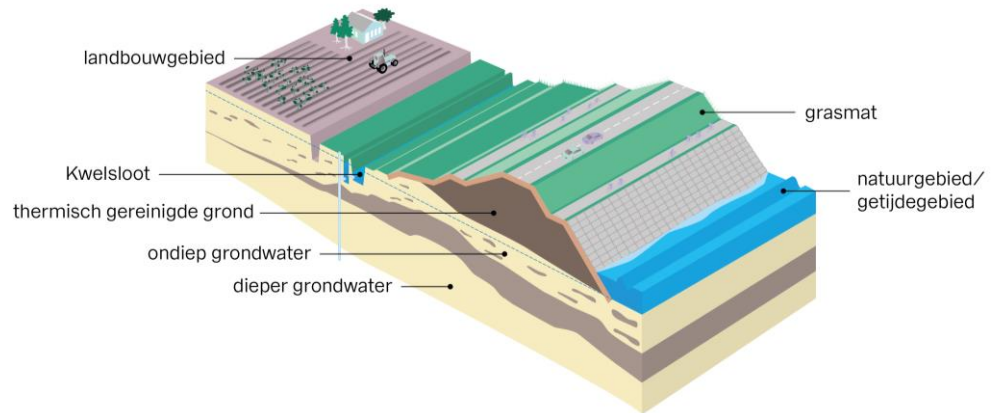
Tabel 2: Overzicht benamingen gebieden Perkpolder.

Objectnaam	Aanduiding voor aanleg en in eerdere Deltares rapportages (Deelgebieden)	Aanduiding tijdens aanleg (Van Oord, 2014)
Zuidelijke dijk	A	B
Westelijke dijk	C	C en D
Koppeldijk	D	E en F
Natuurgebied		
Gebied buiten kwelsloot		
Benedenstrooms gebied		

2.2 Bodemopbouw

De ondergrond van de zuidelijke en westelijke dijk bestaat uit een afwisseling van zand, klei en veen, zoals blijkt uit de boringen die genomen zijn in deze deelgebieden. Zie de

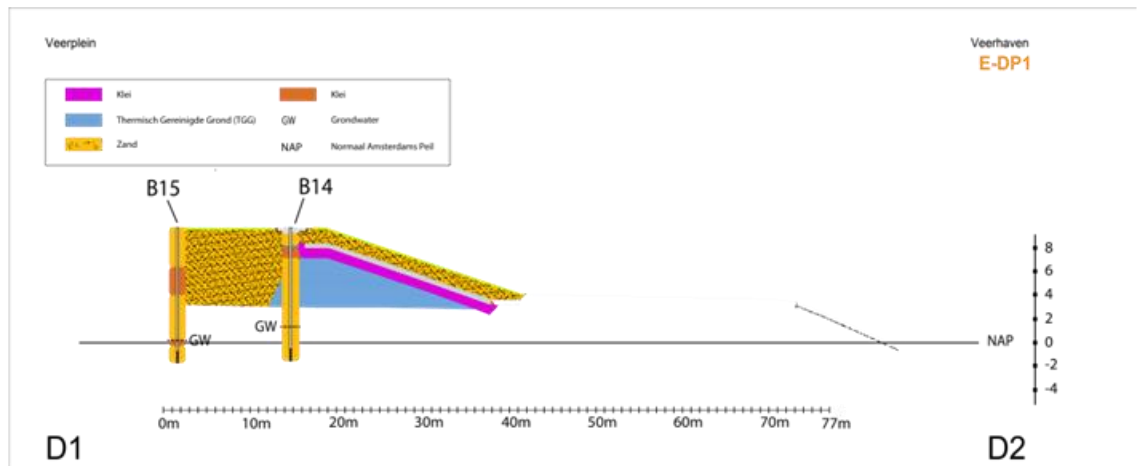
schematisatie van de bodemlagen in de ondergrond van deze dijkdelen hieronder (Figuur 5). Onder de TGG is, waarschijnlijk in een groot gebied waarin de TGG is toegepast, een ondiepe laag, bestaande uit voornamelijk klei en hier en daar veen, te zien. Deze laag is slecht waterdoorlatend en zal de reistijd van in water oplosbare stoffen vertragen. De aanleg van de nieuwe dijk zorgt voor belasting van de bodemlagen in de ondergrond. De klei en veenlagen zullen door deze belasting ook zetting ondergaan.



Figuur 5. Schematische weergave van de zeedijk bij de zuidelijke en westelijke dijk met de locaties van de kwetsbare objecten, de aanwezigheid van thermisch gereinigde grond (TGG) en grondlagen: geel = zand, rood-bruin = klei en donkerbruin = veen.

Grontmij (2008) en Fugro (2012) hebben grondonderzoek uitgevoerd voorafgaand aan aanleg van de dijk, waarin relevante informatie is opgedaan over de bodemopbouw. Voor dit grondonderzoek zijn zowel handboringen als mechanische boringen uitgevoerd en een aantal van deze boringen bevinden zich op de locaties waar later TGG is toegepast. Direct onder de zuidelijke TGG dijk (zie Figuur 4) is een kleilaag aangetroffen van ongeveer 0,10 tot 6,40 m dik (op de diepte 0-10 m onder NAP). In handboringen van een profiel loodrecht op de westelijke TGG dijk (zie Figuur 4) treffen we ook een kleilaag aan van 0,15–0,20 m dik. Uit enkele boringen in het zuidelijke deel van westelijke dijk blijkt echter dat op sommige locaties geen kleilaag aanwezig is. Op deze locaties grenst het TGG materiaal mogelijk aan een zandpakket. Deze locatie is nader geanalyseerd in hoofdstuk 5 en Bijlage D.

Ter hoogte van de Koppeldijk (zie Figuur 4) is de bodemopbouw anders. Hier is TGG aangebracht als onderdeel van de waterkering aan de noordzijde van een eveneens in 2015 aangelegde terp. De TGG ligt hier op circa 4-9 m boven NAP, afgedekt aan de bovenkant met een asfaltbekleding. De asfaltbekleding is vervolgens afgedekt met zand en een grasbekleding. Een schematische weergave van de bodemopbouw op deze locatie is weergegeven in Figuur 6. In 2020 is de toplaag en de aanwezigheid van waterremmende lagen boven de hoogstgelegen zandlaag van de Koppeldijk onderzocht, de resultaten van dit onderzoek zijn besproken in de jaarrapportage van 2020 (Deltares, 2021).



Figuur 6. Schematische weergave TGG bij de Koppeldijk met aan de noordzijde (D2) de haven en aan de zuidzijde de nieuw aangelegde terp op het voormalige veerplein. Direct boven de TGG is een kleilaag (paars) en daarboven een asfaltbekleding aangebracht, die is afgedekt met zand.

2.3 Hydrologie binnendijks

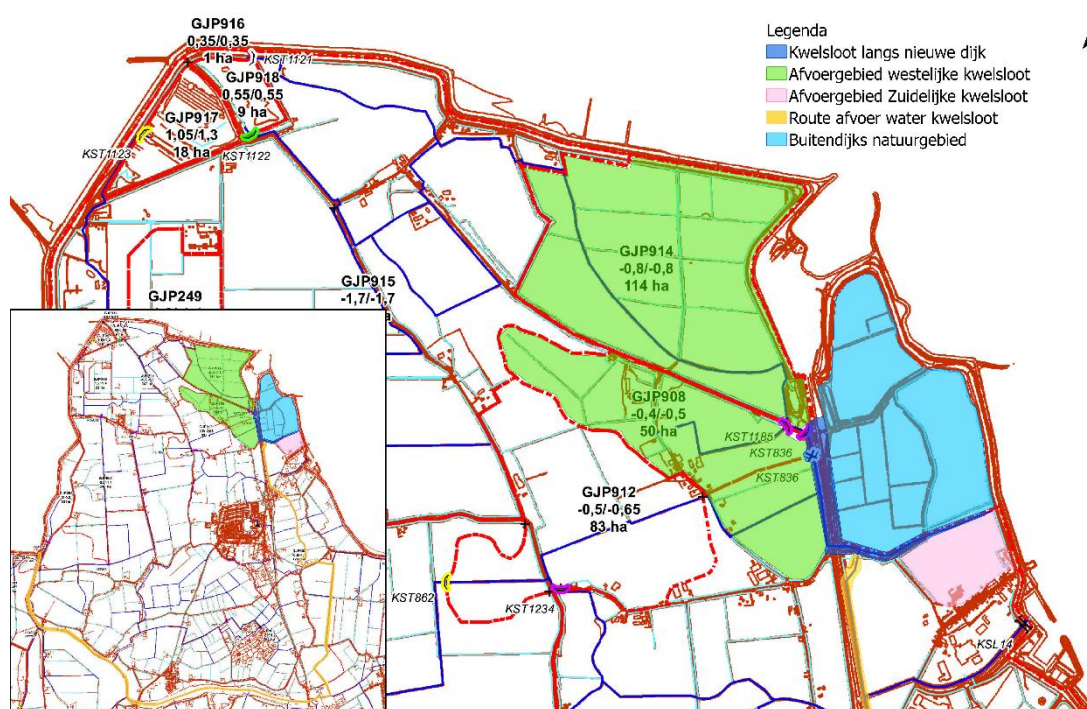
Bij de nieuwe zeedijk ter hoogte van zuidelijke dijk ligt binnendijks een kwelsloot. Deze zuidelijke kwelsloot behoort tot het noordelijk deel van Peilgebied GJP903 (Waterschap Scheldestromen, 2016).

De westelijke kwelsloot loopt parallel aan de nieuwe zeedijk in westelijke dijk en ligt ook in het noordelijk deel van Peilgebied GJP903⁵. De sloot wordt gevoed door het peilgebied Westelijke Perkpolder (GJP914), het ten zuiden van de Oostelijke Perkpolder gelegen peilgebied (GJP908) en de landbouwpercelen die direct aan de kwelsloot zijn gelegen. Het totale afwaterende oppervlak is daarmee 197 ha. De ligging van de gebieden is weergegeven in Figuur 7.

De afwatering van beide kwelsloten (Figuur 7) vindt plaats in de zuidwesthoek en loopt via stuw Dreefken, via natuurgebied De Vogel uiteindelijk naar uitwateringsgemaal Campen (Waterschap Scheldestromen, 2016).

TGG is ook toegepast aan de noordzijde van het Veerplein (Koppeldijk), maar hier is geen kwelsloot aanwezig, omdat hier door de bodemopbouw en de afstand tussen het landbouwgebied en de Westerschelde geen kwelsysteem nodig is.

⁵ TGG is ook toegepast aan de noordzijde van het Veerplein (Koppeldijk; Deelgebied D), maar hier is geen kwelsloot aanwezig.

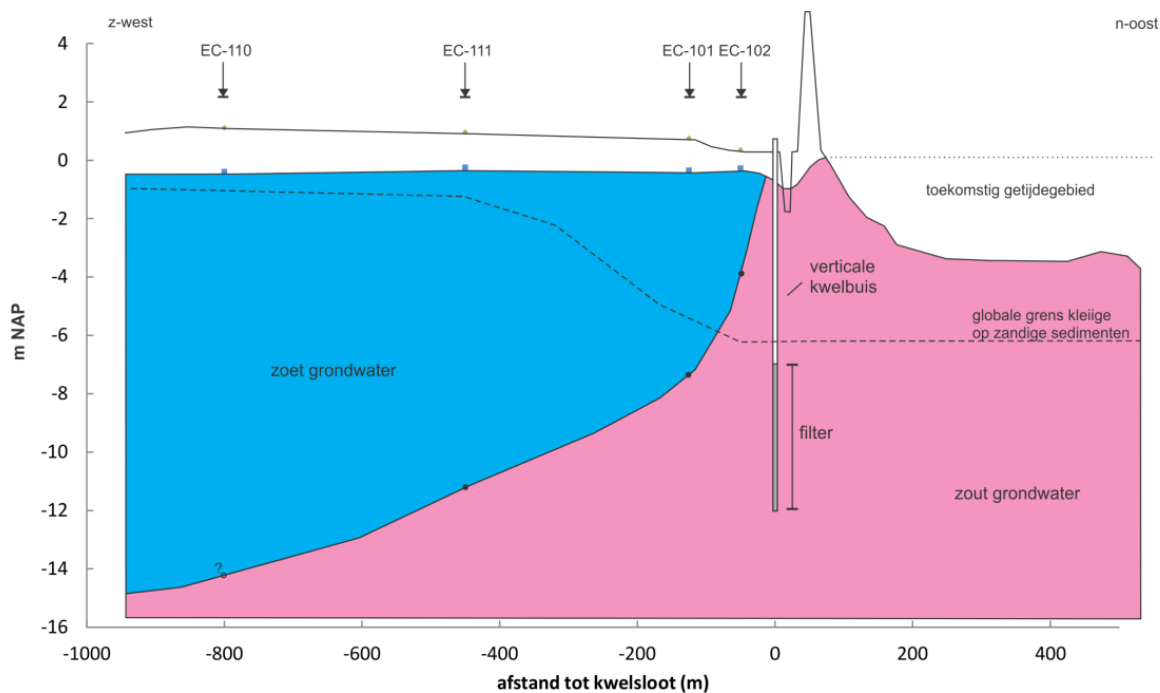


Figuur 7. Afwaterend oppervlak (groen) via kwelsloot (donker blauw). De route van de afwatering van het hele gebied is naar de Westerschelde (inzet, route in geel). Het ontpollerde gebied is weergegeven in licht blauw.

2.4 Kwelvoorziening

Het gebied van de Perkpolder grenst aan de Westerschelde. Het oppervlaktewater van de Westerschelde is zout. Het waterpeil in de sloten van de landbouwpercelen, gelegen in de Perkpolder, ligt lager dan het gemiddeld peil in de Westerschelde en dus vindt infiltratie vanuit de Westerschelde en binnendijkse kwel van zout grondwater plaats. Het water in de watergang naast de dijk waarin TGG is toegepast is dus zout en niet geschikt voor veedrenking of beregening van agrarische gronden. De watergang fungeert daarom ook als een kwelsloot. Als aanvullende bescherming voor de landbouw (die zoet grondwater nodig heeft) is direct naast de dijk een kwelscherm, ook wel kwelvoorziening⁶ genoemd, gerealiseerd. Het kwelscherm bestaat uit verticale putten voor het draineren van zout grondwater en een kwelsloot (Figuur 8). Het gedraineerde (zoute) water wordt onder vrij verval afgevoerd naar de kwelsloot.

⁶ Strikt gesproken is de kwelsloot ook een kwelvoorziening. In deze rapportage wordt met de term kwelvoorziening echter alleen het kwelscherm aangeduid.



Figuur 8. Bij de westelijke dijk is voor het landbouwgebied een schets gemaakt van de verdeling tussen zoet (blauw) en zout (roze) grondwater, inclusief de verticale kwelbuis van de kwelvoorziening, waarmee de kweldruk wordt verlaagd en de horizontale afstroming naar het zoete grondwater wordt verhinderd. Links is het landbouwgebied en rechts het getijdegebied. Deze schets is gebaseerd op metingen uitgevoerd in verschillende peilfilters (dieptelocaties niet aangegeven) in de westelijke dijk in 2018. De op de meeste plekken aanwezige klei/veenlaag is met een stippellijn indicatief aangegeven.

De ontwikkeling van het getijdegebied heeft ervoor gezorgd dat deze zoetwaterbel dicht bij de nieuwe zeedijk is komen te liggen en is daardoor kwetsbaar geworden voor verzilting. Het kwelscherm is in 2015 geïnstalleerd en is aanwezig over de gehele lengte van zuidelijke dijk en westelijke dijk (Figuur 7) waar TGG onder andere is toegepast in de Perkpolder. Bij de koppeldijk is de afstand tussen landbouwgebied en Westerschelde groter en is een kwelvoorziening niet nodig, daarom is deze hier niet aanwezig.

Uit voorgaande metingen van 2014 en 2015 blijkt dat de effecten van het nieuwe getijdegebied zich duidelijk manifesteren in de stijghoogte op de rand van het landbouwgebied, op korte afstand van het getijdegebied (< 100 m) en dat de kwelvoorziening goed werkt. Dagelijkse getijden en tweewekelijkse springtij-doodtij cycli hebben een grote invloed op de stijghoogte in de omgeving van het getijdegebied. De grondwaterstroming kan daarmee zeer dynamisch zijn en binnen een dag sterk variëren, (Deltares, 2016a), hoewel dit niet het geval is in het grondwater op veel delen van de dijk (Deltares, 2022).

2.5 Buitendijks natuurgebied

Het buitendijks natuurgebied is ontstaan door de ontgraving van de bestaande zeedijk in 2015 (zie Figuur 2). Het is een zout intergetijdengebied met een omvang van 65 ha, dat tweemaal per dag overstroomt. Enkele kreken vallen met eb in het algemeen niet droog (Figuur 9). Het gebied is inmiddels opgenomen in de ecotopenkaart van Zeeland (Rijkswaterstaat, 2019).



Figuur 9. Het intergetijdengebied bij hoog (luchtfoto 2022) en laag water, waarin de kreken duidelijk zichtbaar zijn (luchtfoto 2023).

2.6 Gebiedsontwikkeling najaar 2022

Ten noordwesten van het gebied is er een gebiedsontwikkeling gestart in het najaar van 2022: voor het bouwproject 'Waterzande' worden werkzaamheden uitgevoerd in de Westelijke Perkpolder (ophoging tot 12 meter) (Figuur 10). Bovendien wordt binnenkort gestart met de aanleg van een woonwijk boven het voormalige veerplein (het terrein aangrenzend aan de aanlegzone).

Er leek interactie te zijn met referentiepunt O20.2, maar dit is tot nu toe niet het geval: voor de ophoging is drainage aangelegd die afwatert naar de noord-oostzijde van de ophoging.



Figuur 10. Het referentiepunt O20.2 (onderste figuur), ten opzichte van de ophogingslocatie (bovenste figuur).

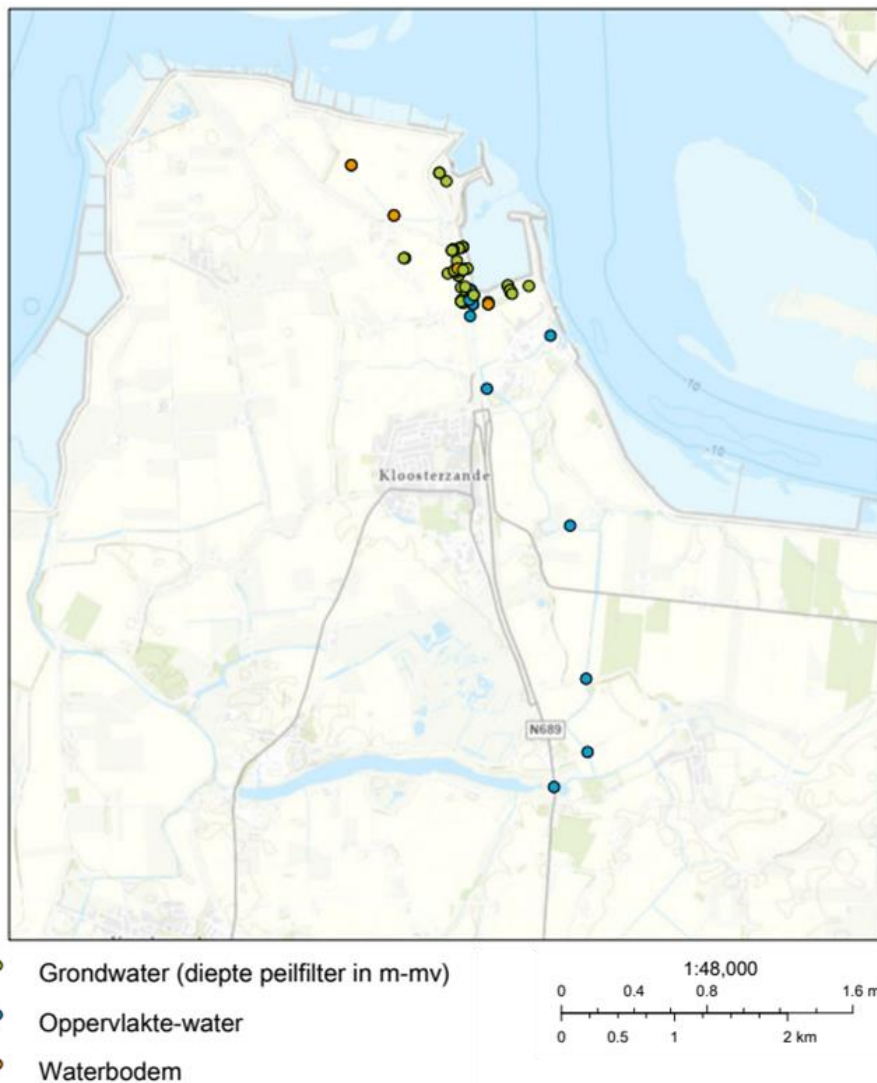
3 Meetnet

3.1 Wijzigingen meetnet

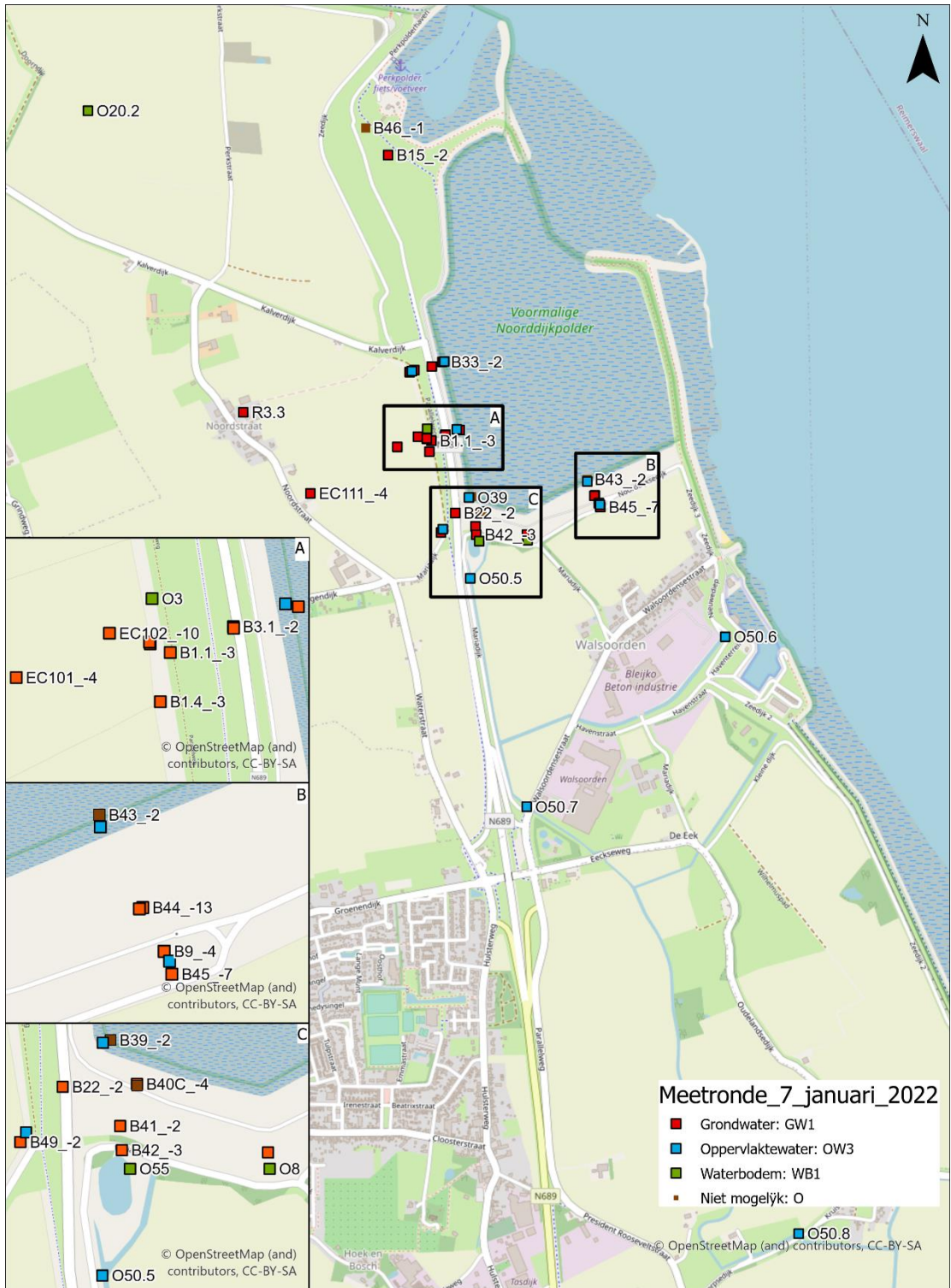
Tussen 2020 en 2023 vindt jaarlijks monitoring van de kwaliteit van het oppervlaktewater van de binnendijkse sloot en het grondwater plaats. Voor de monitoring van grondwater worden tijdens elke monitoringsronde voor de monsternamen de grondwaterstanden gemeten. Om eventuele variatie over seizoenen en tussen natte en droge periodes te onderzoeken, wordt de monitoring drie keer uitgevoerd in de periode rond januari, mei en september. In de maand januari is het vaak nat en in de maanden mei/september van de afgelopen jaren was het overwegend droog, afhankelijk van de regenval. Daarnaast wordt eenmaal per jaar ook gemonitord in de waterbodem. Het meetnet is gelijk aan dat van 2021. Daarbij moet opgemerkt worden dat er in 2021 enkele wijzigingen zijn doorgevoerd in de meetlocaties van het meetnet ten opzichte van de start van de monitoring in 2020, deze zijn toegelicht in de jaarrapportage van het jaar 2021 (Deltares, 2022).

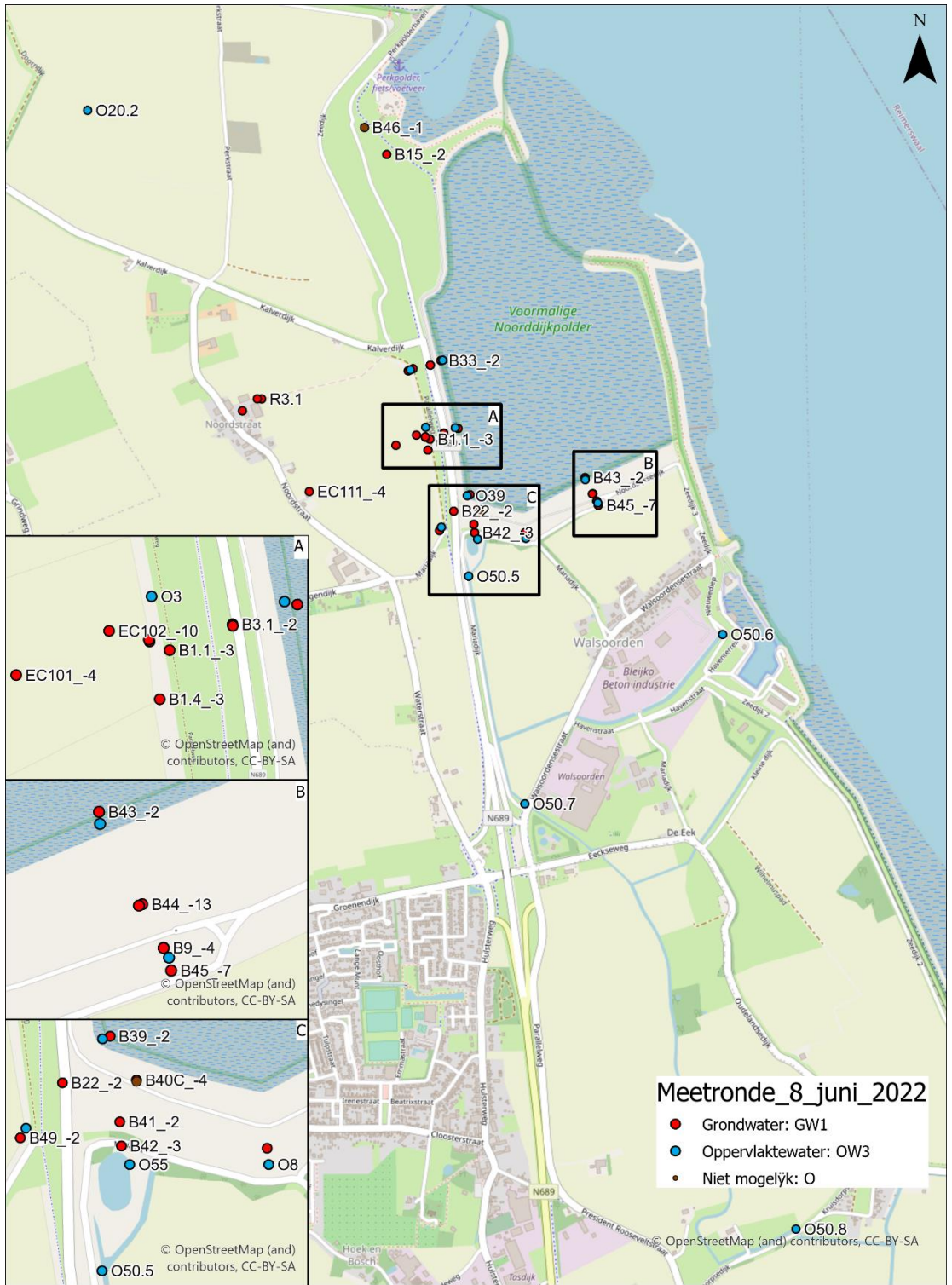
3.2 Meetlocaties

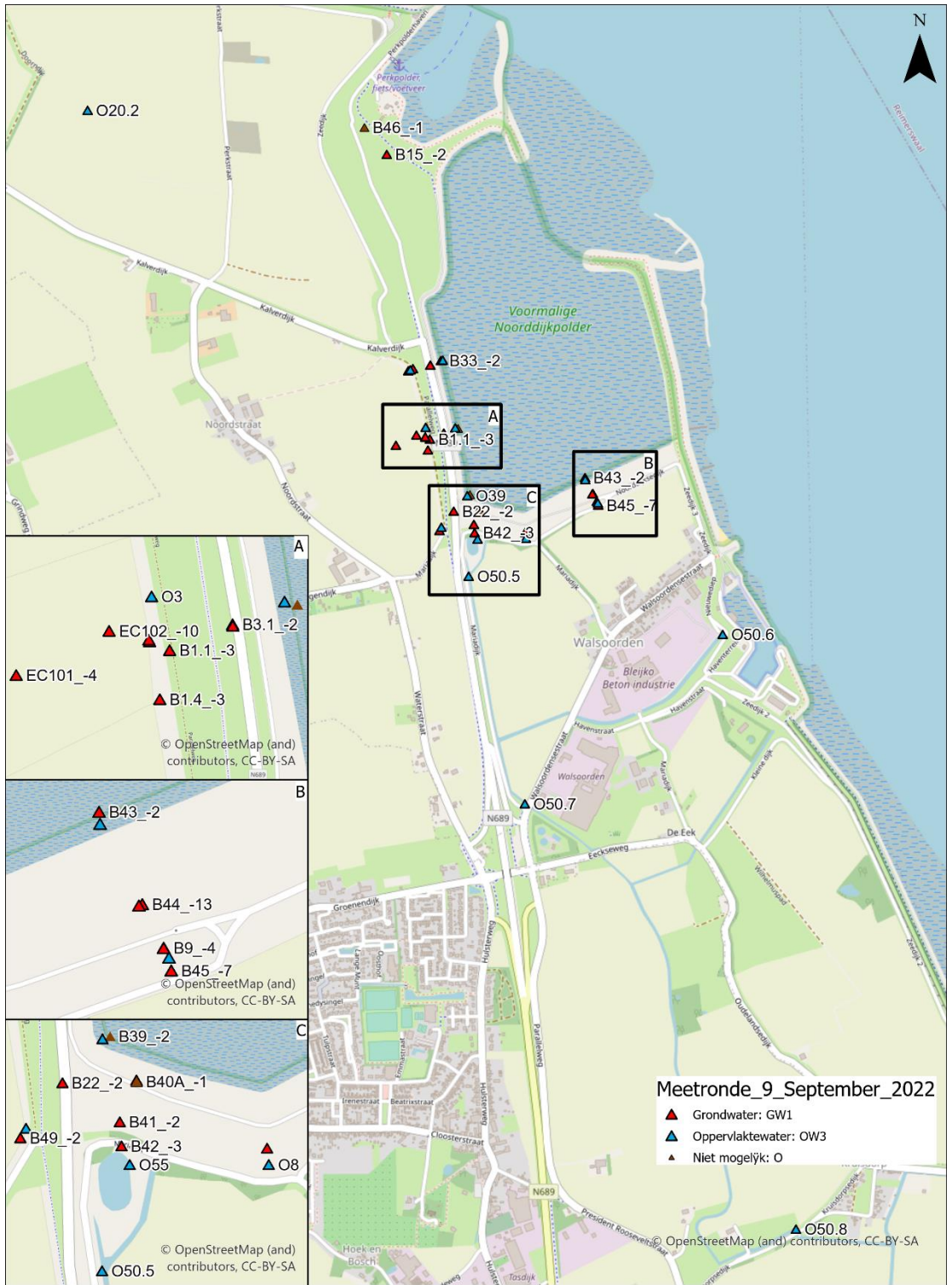
Het doel van het onderzoek 'Vervolgmonitoring Perkpolder' is om inzicht te krijgen in de lange termijn effecten van de toegepaste TGG op de kwetsbare objecten in de omgeving: het natuurgebied, het binnendijkse watersysteem en het (grond)water. Alle meetpunten zijn gekoppeld aan een object, namelijk: de westelijke dijk, zuidelijke dijk, koppeldijk, natuurgebied, oppervlaktewater benedenstrooms en grondwater buiten de kwelsloot (zie Bijlage A.8). Zie Figuur 5 voor meer informatie over de verschillende kwetsbare objecten. In Figuur 11 is een overzichtskaart weergegeven met de locaties van de grondwater- en oppervlaktewaterlocaties. Figuur 12 betreft een ingezoomde kaart van de grondwater- en oppervlaktewater locaties, inclusief de meetraaien en locatie van de verschillende objecten. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de zes verschillende objecten.

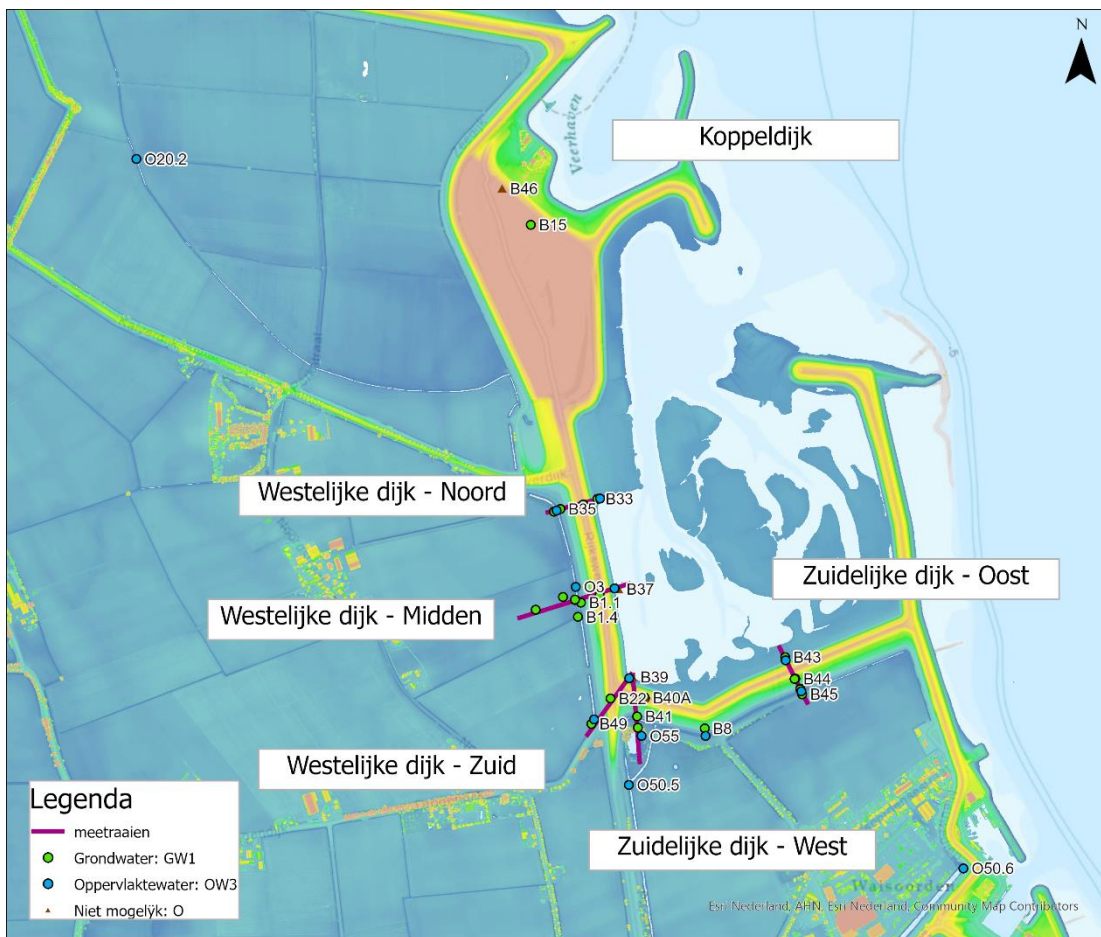


Figuur 11: Overzichtskaart Perkpolder met grondwater-, oppervlaktewater en waterbodemplacaties. (voor benaming placaties bij de verschillende objecten, zie volgende figuren).









Figuur 12: Overzichtkaart Perkpolder met grondwater- en oppervlaktewater locaties, meetraaien, hoogteprofiel (dijk is zichtbaar in oranje) en benaming van de verschillende objecten in het gebied (namen horen bij de meetraaien).

4 Aanpak onderzoek

De aanpak van het onderzoek is beschreven in het Plan van Aanpak (Deltares, 2020). De verschillende onderdelen worden hieronder weergegeven en in de volgende paragrafen kort toegelicht.

- Periodieke (3 maal per jaar) oppervlaktewatermetingen (kwelsloten en getijden natuurgebied) om effecten van effecten van verschillende perioden in het jaar goed in beeld te krijgen en snel te kunnen acteren bij anomalieën.
- Periodieke (3 maal per jaar) grondwatermetingen (onder de TGG en in de directe omgeving; ondiep en diep, waaronder ook de regelput kwelscherm en kwelsloten) om effecten van effecten van verschillende perioden in het jaar goed in beeld te krijgen en snel te kunnen acteren bij anomalieën.
- Periodiek (jaarlijks) waterbodemonderzoek van de kwelsloten om eventuele invloed van TGG vast te stellen.
- Periodiek (jaarlijks) grasbekledingsonderzoek om te kijken of er invloed is van de TGG op de grasbekleding, en of de bekleding zijn erosiebestendige afschermingsfunctie van de TGG vervult.
- Eenmalig controleboringen (jaar) ten behoeve van het aantonen van mogelijke verkitting⁷

Naast de in het Plan van Aanpak beschreven onderdelen kunnen er ook incidentele onderzoeken uitgevoerd worden. Dat is het geval voor de volgende onderzoeken in 2022: Onderzoek naar de waterstand in grond- en oppervlaktewater rondom de dijk. Deze analyses zijn niet vooraf in het Plan van Aanpak opgenomen.

Bij de aanpak en de analyse wordt gebruik gemaakt van de opzet van de diverse onderzoeken die plaats hebben gevonden in de afgelopen jaren (zie ook Tabel 1).

4.1 Benadering

Als benadering wordt de bron-pad-object benadering toegepast. De bron is de TGG, dat via het pad (de ondiepe en wellicht diepere ondergrond direct onder de TGG) zich verplaatst naar de kwelsloot. Tevens wordt gekeken naar kwetsbare objecten in de omgeving: het buitendijks intergetijden-natuurgebied, het landbouwgebied, en het oppervlaktewater benedenstrooms van de kwelsloot. Omdat TGG een complexe chemische samenstelling heeft, en het uitlooggedrag afwijkt van grond, wordt uit voorzorg een uitgebreid monitoringspakket gekozen gebaseerd op de stoffen die (soms) in de TGG voorkomen en daar uitloggen. Het gaat dan met name om metalen (en meer in het bijzonder arseen, molybdeen en vanadium), vluchtige stoffen (met name benzeen, toluen, alfa- en beta HCH), zouten (met name bromide en sulfaat) en PFAS (met name PFBA). Voor diverse stoffen geldt dat ze in de omgeving ook al voorkomen en dat dus uit de analyse van een aantal stoffen samen moet blijken in hoeverre ze beïnvloed worden door de TGG. Daarbij wordt ook gebruik gemaakt van de bromide-chloride-verhouding, deze verhouding is in zout zeewater namelijk zeer constant (Magazinovic RS, 2004; Stuyfzand, 1992). Afwijkingen in de bromide-chloride verhouding in zeewater kunnen wijzen op beïnvloeding van het plaatselijke systeem (de TGG is verrijkt in bromide). De verhouding bromide-chloride is in zoet water anders en kan zelfs zo laag zijn, dat de bromide-chlorideverhouding geen betekenis heeft. In dat geval kan er gekeken worden naar de sulfaat-chloride-verhouding (de TGG is tevens verrijkt in sulfaat).

⁷ Ten opzichte van de oorspronkelijke scope is het aantal analyses hiervan uitgebreid.

4.2 Onderdelen van de periodieke monitoring

Het periodieke onderzoeksprogramma richt zich op oppervlaktewater, waterbodembodem, grondwater en de grasbekleding en bestaat uit monitoring met een frequentie van 1 tot 3 maal per jaar met als doel het ontdekken van trendontwikkelingen. De doelen van elk van de waterlichamen zijn hieronder beschreven.

4.2.1 Oppervlaktewater intergetijdengebied, kwelsloot en het Weeltje

Het oppervlaktewater wordt gemonitord in de directe omgeving van de TGG. Het gaat hier om de kwelsloot (de zuidelijke: O8, O9 en de westelijke: O3.3A, O3 en O3.5), het intergetijdengebied (O4c, O33, O39, O43) en het Weeltje (een wiel ontstaan tijdens een historische dijkdoorbraak), O55. Bovendien wordt een aantal locaties stroomafwaarts gemeten (O50, O50.6, O50.7, O50.8, O50.9, O60 en O70).

Het voorgaand onderzoek heeft uitloging aangetoond naar de kwelsloot van in ieder geval bromide en arseen, maar niet is aangetoond dat dat heeft geleid tot verhoogde concentraties in de kwelsloot. Door het oppervlaktewater te monitoren wordt gekeken of de waterkwaliteit inderdaad niet negatief wordt beïnvloed. Daarbij wordt gekeken of normoverschrijdingen plaatsvinden, en -indien dat het geval is- deze kunnen worden toegeschreven aan uitloging uit de TGG. Als referentie wordt een locatie aangehouden in de westelijke perkpolder, bovenstrooms van de kwelsloot (O20.2). De resultaten worden beschreven in hoofdstuk 4.

4.2.2 Waterbodembodem kwelsloot

De hoofdvraag bij het waterbodembodemonderzoek is de (ontwikkeling) van de kwaliteit van de sliblaag. Door eventuele uitloging uit de TGG kan ook de waterbodembodemkwaliteit worden beïnvloed. Daarom wordt de kwaliteit van het slib gemeten en getoetst. Daarvoor zijn in de zuidelijke (S8) en de westelijke (S3) kwelsloot bemonsteringslocaties vastgesteld. Als referentie wordt dezelfde locatie aangehouden als voor het oppervlaktewater (S20.2). De resultaten worden beschreven in hoofdstuk 4.

4.2.3 Grondwater in de omgeving van de TGG

Uit voorgaand onderzoek is gebleken dat het grondwater vlak onder de dijk en het grondwater tussen de dijk en de kwelsloot verhoogde concentraties aan bepaalde stoffen bevat die ook zijn aangetroffen zijn in de TGG (o.a. arseen, barium en bromide). Hydrogeologisch onderzoek toont aan dat het ondiepe grondwater voornamelijk richting de kwelsloot stroomt. Om de lange termijn effecten te monitoren wordt het grondwater op de volgende locaties bemonstert:

1. ondiep onder de dijk (zie Figuur 5): om uitloging uit de TGG te monitoren aangezien hier de hoogste concentraties van o.a. arseen zijn aangetroffen. In de TGG zelf zijn geen peilfilters geplaatst die te bemonsteren zijn, omdat uit deze lagen grondwater slecht toestroomt en ze grotendeels boven het grondwater zijn gelegen.

2. diep onder de dijk (zie Figuur 5): om te onderzoeken wat de baseline is mocht en of er gedurende het project daadwerkelijk enig transport naar het diepe grondwatersysteem plaatsvindt;

3. ondiep voor de kwelsloot: om het transport van stoffen in de TGG richting de kwelsloot in kaart te brengen. Indien er grondwater uitloopt uit de TGG naar de kwelsloot zal op deze locatie een verhoging worden aangetroffen.

4. diep na de kwelsloot: als referentiepunt voor grondwater niet beïnvloed door de toegepaste TGG.

5. regelput kwelscherm: om mogelijk transport naar diep grondwater te onderzoeken en zo de bescherming van de zoetwaterbel en het diepere (zoute) grondwater te monitoren. Grondwatermonitoring ter hoogte van de Koppeldijk is tevens van belang om de risico's te beoordelen als er geen kwelsloot aanwezig is. Zonder kwelsloot zal de neerwaartse stroming,

en daarbij verspreiding van stoffen naar het diepe grondwatersysteem, een grotere rol spelen. De resultaten worden beschreven in hoofdstuk 4.

4.2.4 **Onderzoeksvragen grondwater, waterbodem en oppervlaktewater**

In het plan van aanpak zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd wat betreft Perkpolder. Omdat deze vragen vaak een relatie hebben met meerdere metingen, worden ze hieronder gezamenlijk weergegeven. De vragen kunnen niet allemaal in de jaarlijkse monitoring beantwoord worden, omdat daarvoor langjarige meetreeksen nodig zijn.

- Wat zijn de effecten van TGG op ondiep en diep grondwater (o.a. om de bescherming van de zoetwaterbel te monitoren, zie uitleg regelput kwelscherm hierboven);
- Wat zijn de effecten van TGG op oppervlaktewater (kwelsloot en zeewater);
- Welke chemische processen en interactie is er tussen de kwelsloot en de waterbodem;
- In hoeverre moeten er maatregelen getroffen worden op basis van de gemeten effecten .
- Bestaat de mogelijkheid dat stoffen uitgelogen via het diepe grondwater onder de kwelsloot door.

4.2.4.1 **Landbouwgebied en buitendijks gebied**

Aan de westelijke en zuidelijke dijk grenzen landbouwgebieden. Tussen deze gebieden en de dijk is een kwelvoorziening en een weg aanwezig. Over 1 raai is ook in het landbouwgebied gemonitord, om op die manier ook eventuele effecten buiten de dijk in beeld te brengen.

4.2.4.2 **Bovenstrooms en benedenstrooms oppervlaktewater**

Het oppervlaktewater is dat langs de westelijke dijk stroomt is afkomstig vanuit de Westelijke Perkpolder. Om die reden is daar (bovenstrooms) een referentiepunt voor oppervlaktewater aanwezig (O20.2). Om te zien of effecten van uit de TGG logend grondwater in het oppervlaktewater te zien, is een aantal monsterpunten aanwezig benedenstrooms van de dijk. Het betreft reguliere meetpunten van het waterschap, die in de 4-maandelijkse oppervlaktewatermetingen zijn meegenomen. Het meest benedenstroomse punt ligt bij Natuurgebied de Vogel.

4.2.5 **Grasonderzoek**

De dijk is afgedekt met een grasbekleding die na aanleg is ingezaaid. Bij eerder onderzoek was te zien dat de grasmat nog jong was en vanwege droogte onvolkomenheden vertoonde. Daarom is het onderzoek doorgezet met een jaarlijkse inspectie van de grasbekleding. In 2022 zijn op de dijkstrekking 11 locaties onderzocht, aangevuld met twee proefvakken nabij locatie 11 (op binnen- en buitentalud). Er is gekeken naar de voorkomende gras- en kruidensoorten in samenhang met substraat, beheervorm en de ontwikkelfase van de grasmat. Ook is de grasmat beoordeeld volgens de methode van het WBI2017 (Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium, (ILT, 2017)), zowel visueel als het op enkele plekken steken van een plag voor de beoordeling van het wortelnet.

4.3 **Bemonstering en analyses en periodieke monitoring**

4.3.1 **Bemonstering**

Bemonstering vindt plaats conform de daarvoor geldende systematiek. Dat betekent dat grondwaterbemonstering conform de BRL2000 (inclusief protocol 2002) plaatsvindt (BRL2000, 2013) (BRL2002, 2013). Voor waterbodemonsters wordt een monster genomen door steken op 1 locatie door middel van een zuigerboor van de bovenste 20 cm, waarbij zorg wordt gedragen dat geen onderliggend zand wordt meegenomen bij de bemonstering. Gewerkt wordt verder conform BRL2000 (inclusief protocol 2003).

Oppervlaktewaterbemonstering vindt plaats conform NEN6600 (NEN, 2019).

4.3.2 Tijdstip

De reguliere jaarlijkse monitoringsrondes voor oppervlaktewater en grondwater zijn uitgevoerd in januari (meetronde 7), mei (meetronde 8) en september (meetronde 9) en het jaarlijkse grasonderzoek in mei. In de periode van juni 2021 tot juli 2022 is er met behulp van piëzometers ook data verzameld op enkele locaties in het grond- en oppervlaktewater.

4.3.3 Meetpakketten

De meetpakketten voor grondwater, oppervlaktewater en waterbodembodem zijn samengesteld op basis van de in de TGG en het grondwater in eerder onderzoek aangetroffen stoffen. In de eerdere rapportage (Deltares, 2019b) is met een veel uitgebreider pakket gestart. Stoffen die niet zijn aangetroffen in de TGG, of niet toegeschreven konden worden aan de TGG (zoals chloorfenolen, dioxines en PAK's) zijn hier niet opgenomen.

Bovendien zijn enkele metingen opgenomen die bij de interpretatie of toetsing van belang zijn (zoals organische stofgehalte in de waterbodembodem).

De pakketten zijn hieronder weergegeven:

4.3.3.1 Oppervlaktewater intergetijdengebied en kwelsloot

Het pakket voor het onderzoeken van de samenstelling van het *oppervlaktewater* bestaat, zoals bepaald in het Plan van Aanpak (Deltares, 2020), uit:

- 16 Metalen (totaal en opgelost)⁸ (Antimoon (Sb), Arseen (As), Barium (Ba), Cadmium (Cd), Chroom (Cr), Kobalt (Co), Koper (Cu), Kwik (Hg), Nikkel (Ni), Molybdeen (Mo), Lood (Pb), Seleen (Se), Tin (Sn), Vanadium (V), IJzer (Fe), Zink (Zn));
- Anionen (chloride, bromide, sulfaat, fluoride);
- PFAS⁹ (tabel A.6-2 in Bijlage A.6);
- pH, turbiditeit (NTU) en geleidbaarheid (veldmetingen¹⁰);
- Chloorbenzenen (mono-, di-, tri-, tetra-, penta- en hexa-)¹¹;
- 3 kationen (kalium, natrium, calcium)

4.3.3.2 Analyses Grondwater

Het pakket voor het onderzoeken van de samenstelling van het grondwater bestaat, zoals bepaald in het Plan van Aanpak (Deltares, 2020), uit¹²:

- 15 Metalen (totaal en opgelost) (Antimoon (Sb), Arseen (As), Barium (Ba), Cadmium (Cd), Chroom (Cr), Kobalt (Co), Koper (Cu), Kwik (Hg), Nikkel (Ni), Molybdeen (Mo), Lood (Pb), Seleen (Se), Tin (Sn), Vanadium (V), Zink (Zn));
- Anionen (chloride, bromide, sulfaat, fluoride);
- 8 vluchtige aromatische koolwaterstoffen: benzeen, toluene, ethylbenzeen, som-xylenen (som o-, m-, p-), styreen, naftaleen en fenol, cresolen (o-, m-, p-);
- PFAS (zie ook tabel A.6-2 in Bijlage A.6)
- pH, turbiditeit (NTU) en geleidbaarheid (veldmetingen);

⁸ Over een 0,45 µm glasfilter

⁹ Tevens is in de eerste monitoringsronde GenX gemeten. Dit is niet aangetroffen en daarom vervallen.

¹⁰ Waar de geleidbaarheid boven de 20 mS/cm is in de veldmeting (en dus boven het meetbereik gaat), wordt een labmeting aangevraagd.

¹¹ Het plan van Aanpak noemt alleen mono-, di- en trichloorbenze(e)n(en). Trichloorbenzenen worden uitgevoerd als onderdeel van het pakket "chloorbenzenen (minder vluchtig)", waarin ook de overige chloorbenzenen zijn meegenomen.

¹² In de eerste meetronde is met een voorlopig meetpakket gewerkt, aangezien het Plan van Aanpak nog niet definitief was vastgesteld. Daarbij is tevens de klasse vluchtige organische halogeenkoolwaterstoffen gemeten: dichloorethanen (1,1 en 1,2), dichloorethenen (1,1, cis-1,2 en trans-1,2), trichloorethaan (1,1,1 en 1,1,2), trichlooretheen, tetrachlooretheen, dichloorpropanen (1,1, 1,2 en 1,3)) Deze zijn in 2022 vervallen.

- Chloorbenzenen (mono-, di-, tri-, tetra-, penta- en hexa-)¹¹
- 3 kationen (kalium, natrium, calcium)

4.3.3.3 Analyses Waterbodern kwelsloot

Het pakket voor het onderzoeken van de samenstelling van de *waterbodem* bestaat, zoals bepaald in het Plan van Aanpak (Deltares, 2020), uit:

- 15 metalen (Antimoon (Sb), Arseen (As), Barium (Ba), Cadmium (Cd), Chroom (Cr), Kobalt (Co), Koper (Cu), Kwik (Hg), Nikkel (Ni), Molybdeen (Mo), Lood (Pb), Seleen (Se), Tin (Sn), Vanadium (V), IJzer (Fe), Zink (Zn));
- Anionen (chloride, bromide, sulfaat, fluoride);
- 8 vluchtige aromatische koolwaterstoffen: benzeen, toluen, ethylbenzeen, som-xylenen (som o-, m-, p-), styreen, naftaleen, en fenol, cresolen (o-, m-, p-);
- GENX en PFAS (zie ook tabel A.6-1 in Bijlage A.6);
- pH, turbiditeit en elektrische geleidbaarheid (veldmetingen);
- Organische stofgehalte en lutumgehalte;
- Droge stofgehalte en gloeirest;
- Chloorbenzenen (mono, di, tri)¹³;
- 3 kationen (kalium, natrium, calcium).

Tijdens de eerste monitoringsronde zijn per abusievelijk tevens gehalogeneerde koolwaterstoffen gemeten. Deze zijn echter niet opgenomen in de analysepakketten en zullen in latere monitoringsrondes dan ook niet gemeten worden.

4.4 Onderdelen incidenteel onderzoek

Onderzoeken die alleen in 2022 zijn uitgevoerd zijn hieronder nader beschreven.

4.4.1 Onderzoek naar waterstand TGG

In 2021 is er met behulp van uitgehangen piëzometers onderzoek gedaan naar de grondwaterstand op locaties waar TGG is toegepast om uit te zoeken of de TGG soms in contact komt met (grond)water. Daarvoor zijn piëzometers (Diver) afgehangen, met een logfrequentie van elke 10 of 20 minuten. Uit de metingen blijkt dat de TGG op sommige locaties soms in contact komt met water.

Daarnaast zijn piëzometers uitgehangen in enkele oppervlaktewateren, namelijk het getijdegebied, kwelsloot en het Weeltje.

Zie voor meer informatie paragraaf 7.1.

4.5 Normen

In deze paragraaf worden de voor grondwater, oppervlaktewater en waterbodern gehanteerde normen toegelicht. In hoofdstuk 4 worden de monitoringsgegevens van 2022 getoetst aan deze normen.¹⁴

4.5.1 Normen voor grondwater

Een toetsing is uitgevoerd om de gemeten concentraties te beoordelen. .

¹³ In de eerste bemonsteringsronde is gebruik gemaakt van een voorlopig pakket waarbij wel de minder vluchtige chloorbenzenen (trichloorbenzenen, tetrachloorbenzenen, pentachloorbenzenen en hexachloorbenzenen), maar niet mono- en dichloorbenzenen zijn meegenomen.

¹⁴ Omdat voor PFAS de wettelijke basis van de normen vaak afwijkend is van andere stoffen, is deze apart vermeld in Bijlage A.9.

Voor grondwater wordt getoetst aan de hand van de circulaire bodemsanering uit 2013 (Circulaire Bodemsanering, 2013) en wordt de toetsing uitgevoerd met behulp van de Bodem Toets- en Validatieservice (BoToVa). Bij de toetsing worden gemeten concentraties vergeleken met wettelijk vastgestelde grenswaarden.

Bij grondwater worden de volgende normen onderscheiden:

- Streefwaarde (SW).
- Interventiewaarde (IW).

De streefwaarde geeft de overgang weer tussen 'schoon' grondwater (niet beïnvloed door menselijke activiteiten) en een verontreinigde grondwater.

4.5.2 Normen voor waterbodem

In het besluit bodemkwaliteit zijn Maximale Waarden gekoppeld aan de klassen A en B. De Maximale Waarden voor klasse A zijn afgeleid van het herverontreinigingsniveau van de Rijntakken. Hiermee wordt een onderscheid gemaakt tussen het huidige licht verontreinigde sediment en het oudere zwaarder verontreinigde sediment. Bij waterbodem worden de volgende normen onderscheiden (Tabel 2 van Bijlage B, Regeling Bodemkwaliteit):

- Achtergrondwaarde (AW).
- Klasse A.
- Klasse B/Interventiewaarde.

Naast deze normen zijn er ook normwaarden indien baggerspecie wordt toegepast op landbodem en dus het kader voor grond van toepassing is. Voor landbodem gelden onder anderen de maximumwaardes voor de bodemfunctieklasse/kwaliteitsklasse Wonen en Industrie (Tabel 1 van Bijlage B, Regeling Bodemkwaliteit), afhankelijk van de toepassingslocatie.

De toetsing is uitgevoerd met behulp van BoToVa. De normen voor de in 2022 gemeten stoffen zijn weergegeven in Bijlage A.5. PFAS worden getoetst volgens het Handelingskader PFAS (Pagina 6 en 7, Handelingskader PFAS).

4.5.3 Normen voor oppervlaktewater

Voor oppervlaktewater wordt getoetst aan het Besluit kwaliteitseisen monitoring water (Bkmw) 2009 (Rijksoverheid, 2009) en de regeling monitoring kaderrichtlijn water (Rijksoverheid, 2010), afgekort Rmkw. Daarbij worden twee normen onderscheiden:

- Jaargemiddelde Milieukwaliteitseis (JG-MKE)
- Maximaal aanvaardbare concentratie milieukwaliteitseis (MAC-MKE)

Voor metalen gaat het hier om gefilterde monsters⁸, voor overige parameters om ongefilterde monsters.

Bij de toetsing wordt het zeewater en de kwelsloot gekwalificeerd als "andere oppervlaktewateren". De keuze voor deze indeling (en niet: land oppervlaktewateren) komt omdat het zout water gedomineerde wateren zijn en landoppervlaktewateren daar minder op van toepassing zijn.

Ook het KRW lichaam Campen waar het oppervlaktewater uit de kwelsloot geen onderdeel van uitmaakt, maar waar het water wel in uitstroomt is brak: het gehele waterlichaam wordt getoetst als "licht brak" (M30), met delen (met name bij de stuw bij Dreefken) die als sterk brak (M31) zouden kunnen worden beoordeeld. De normen voor de in 2021 gemeten stoffen zijn weergegeven in Bijlage A.5. De toetsing vindt plaats door het vergelijken van elke

meetwaarde met de MAC-MKN, en de gemiddelde meetwaarde (meestal dus het gemiddelde over 3 meetrondes) met de JG-MKE¹⁵. Gemakshalve is ook getoetst aan de MAC-MKE.

4.5.3.1 PFAS oppervlaktewater

Momenteel is enkel voor PFOS, PFOA en GenX een JG-MKE bepaald. Het RIVM heeft in september 2022 daarnaast risicowaarden voor PFAS in oppervlaktewater afgeleid op basis van door EFSA (European Food Safety Authority) bepaalde gezondheidskundige grenswaarde (RIVM, 2022c). Het gaat hier om risicowaarden en dus niet om normen. Vanwege het grote verschil tussen de huidige geldende normen voor (enkele) PFAS verbindingen en de risicogrenswaarden wordt in de resultaten ook hier en daar verwezen naar de risicogrenswaarden. In de tabel hieronder is het verschil tussen de geldende JG-MKE en de risicogrenswaarde voor PFOS, PFOA en GenX opgenomen. In het onderzoek rondom Perkpolder is GenX niet in het huidige meetpakket opgenomen, omdat deze stof in eerder onderzoek niet werd aangetroffen.

Tabel 3: Verschil tussen de geldende JG-MKE en de nieuw afgeleide risicogrenswaarde voor PFOS, PFOA en GenX.

	JG-MKE (landwateren) (ng/l)	Risicogrenswaarde (ng/l)
PFOS	0,65	0,007
PFOA	48	0,3
GenX	118	10

¹⁵ De normen worden soms ook aangeduid als MKN (milieukwaliteits-norm). Deze term is afkomstig oorspronkelijke versie van de Rmkw (tot 2015) en drukt het karakter van de milieu*norm* beter uit. In de Richtlijn prioritare stoffen (2013/39/EU), de huidige Rmkw en Bkmw gebruiken echter de term MKE. We kiezen in deze rapportage om aan te sluiten bij de wettelijk gebruikte termen.

5 Resultaten periodieke monitoring 2022

5.1 Toetsing

De meetresultaten (en voor waterbodembodem ook gestandaardiseerde gehalten) zijn weergegeven in Bijlages A.2, A.3 en A.4, met de toetsing aan de in de vorige paragrafen genoemde normen. Bij de toetsing van de regelput in het kwelscherm (DP4) is getoetst aan grondwater, omdat dat de bron is van het uitstromende water. De overschrijdingen van de normen van de grondwater, oppervlaktewater en waterbodemonsters aan de in bovengenoemde paragrafen genoemde normen is (per monitoringsronde) samengevat weergegeven in respectievelijk Tabel 4, Tabel 5 en Tabel 6. In Tabel 4 zijn ook stoffen weergegeven waarbij de overschrijding uitsluitend wordt veroorzaakt door toetsing van de rapportagegrens. Deze stoffen zijn weergegeven in een lichte grijze kleur en aangegeven met **. Deze stoffen zijn niet daadwerkelijk aangetroffen.

In maart 2022 zijn locaties Pb2a (11.0-12.0) en EC102 (3.5-4.5) herbemonsterd, vanwege sterk afwijkende bromide gehalten. De overschrijdingen van de streefwaarde en interventiewaarde van deze herbemonstering zijn weergegeven in Tabel 7.

Tabel 4: Overschrijdingen van de streefwaarde (>SW) en interventiewaarde (>IW) in grondwater (bij waarden met ** is de stof niet aangetroffen, maar de rapportagegrens hoger dan de streefwaarde).

Peilbuis (filter, m -mv)	monitoringsronde 7, januari 2022			monitoringsronde 8, juni 2022			monitoringsronde 9, september 2022		
	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie
	> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk	
B1.1 (2.5-3.5)	Arseen, Barium, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		>SW	Arseen, Barium, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Arseen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B1.4 (2.0-3.0)	Chroom, Kwik, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Barium	> IW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Kwik, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B1.4 (7.0-8.0)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		>SW	Barium, Chroom, Cadmium, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Kwik, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B3.1 (9.9-10.9)	Chroom, Kwik, Seleen*, Vanadium, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		>SW	Barium, Chroom, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen	> IW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen	> IW
B3.1 (16.5-17.5)	Barium, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen	> IW	Chroom, Zink, Seleen*, Vanadium*, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chroom, Vanadium*, Seleen*, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW

Peilbuis (filter, m -mv)	monitoringsronde 7, januari 2022			monitoringsronde 8, juni 2022			monitoringsronde 9, september 2022		
	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie
	> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk	
B8 (3.5-4.5)	Chroom, Koper, Nikkel, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		>SW	Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Lood, Nikkel, Molybdeen, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B9 (4.0-5.0)	Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		>SW	Barium, Cadmium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Kwik	> IW	Arseen, Barium, Chroom, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B9 (8.0-9.0)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		>SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B11 (1.5-2.5)	Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen	> IW	Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen	> IW	Chroom, Kwik, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B15 (11.0-12.0)	Barium, Lood, Nikkel, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen, Chroom	> IW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen	> IW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen	> IW
Pb2a (7.0-8.0)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen	Kwik	> IW
Pb2a (11.0-12.0)	Koper, Zink, Seleen*, Vanadium*, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Seleen*, Vanadium*, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Cadmium, Chroom, Koper, Kwik, Molybdeen, Nikkel, Lood, Antimoon, Seleen*, Tin, Vanadium*, Chloride, Fenol**, Cresolen		> SW
DP4	Barium, Chroom, Koper, Zink, Seleen*, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Seleen*, Vanadium*, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Arseen, Cadmium, Chroom, Koper, Molybdeen, Nikkel, Lood, Antimoon, Seleen*, Tin, Vanadium*, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen		> SW
B22 (10.0-11.0)	Barium, Chroom, Nikkel, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Cadmium, Kwik, Lood, Nikkel, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Chroom	> IW	Arseen, Barium, Chroom, Cadmium, Kwik, Nikkel, Lood, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B23 (3.0-4.0)	Arseen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Arseen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Arseen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW

Peilbuis (filter, m -mv)	monitoringsronde 7, januari 2022			monitoringsronde 8, juni 2022			monitoringsronde 9, september 2022		
	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie
	> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk	
B23 (11.0-12.0)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B33 (1.7-2.7)	Arseen, Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B34B (12.0- 13.0)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Arseen, Barium, Nikkel, Zink, Chloride, Fenol**, Chroom m Cresolen (som)**	> IW	
B35 (7.5-8.5)	Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**, som tri- hexachloorbenzenen, som trichloorbenzenen, som tetrachloorbenzenen, pentachloorbenzeen, hexachloorbenzeen		> SW	Barium, Chroom, Kwik, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B35 (2.0-3.0)	Arseen, Naftaleen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen	> IW	Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen	> IW
B36 (1.5-2.5)	Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**, som tri- hexachloorbenzenen, som trichloorbenzenen, som tetrachloorbenzenen, pentachloorbenzeen, hexachloorbenzeen		> SW	Barium, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B36 (7.0-8.0)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Kwik, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
B37 (1.1-2.1)	Arseen, Cadmium, Chroom, Koper, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Lood	> IW	Barium, Chroom, Molybdeen, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW			
B39 (1.6-2.6)				Chroom, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW			

Peilbuis (filter, m -mv)	monitoringsronde 7, januari 2022			monitoringsronde 8, juni 2022			monitoringsronde 9, september 2022		
	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie
	> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk	
B40C (12.0-13.0)	Barium, Lood, Nikkel, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen, Chroom	> IW	Arseen, Barium, Chroom, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chroom, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	> SW	
B41 (2.0-3.0)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Kwik	> IW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	> SW	
B41 (7.5-8.5)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Cadmium, Kobalt, Koper, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen, Barium, Chroom, Kwik, Lood, Nikkel	> IW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	> SW	
B42 (2.0-3.0)	Arseen, Barium, Chroom, Lood, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW				Arseen, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen	> SW	
B42 (3.0-4.0)				Cadmium, Kobalt, Koper, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen, Barium, Chroom, Kwik, Lood, Nikkel	> IW			
B42 (7.0-8.0)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Cadmium, Kobalt, Koper, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen, Barium, Chroom, Kwik, Lood, Nikkel	> IW	Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen	> SW	
B43 (2.0-3.0)				Arseen, Chroom, Naftaleen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Arseen, Cadmium, Chroom, Nikkel, Benzeen, Chloride, Fenol**, Cresolen	> SW	
B44B (7.0-8.0)	Barium, Cadmium, Chroom, Lood, Nikkel, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Arseen, Barium, Chroom, Kwik, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Arseen, Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen	> SW	
B44 (16.0-17.0)	Chroom, Koper, Lood, Zink, Seleen*, Vanadium, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Barium	> IW	Chroom, Seleen*, Vanadium, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chroom, Koper, Nikkel, Lood, Seleen*, Vanadium*, Zink	> SW	
B45 (7.0-8.0)	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Cadmium, Kobalt, Koper, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**	Arseen, Barium, Chroom, Kwik, Lood, Nikkel	> IW	Barium, Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen	> SW	

Peilbuis (filter, m -mv)	monitoringsronde 7, januari 2022			monitoringsronde 8, juni 2022			monitoringsronde 9, september 2022		
	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie	Overschrijdingen		Con- clusie
	> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk		> SW	> IW (i > 1) sterk	
B46 (9.8-10.8)				Chroom, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW			
B49 (2.0-3.0)	Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chloride, Fenol**, Cresolen		> SW
B49 (6.5-7.5)	Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW				Barium, Cadmium, Chroom, Lood, Chloride, Fenol**, Cresolen		> SW
B49 (16.5-17.5)				Barium, Chroom, Lood, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW			
EC101 (3.5-4.5)	Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chloride, Fenol**, Cresolen		> SW
EC102 (3.5-4.5)	Barium, Chroom, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chroom, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chroom, Kwik, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen		> SW
EC102 (9.0- 10.0)	Chroom, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Cadmium, Koper, Lood, Zink, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Barium, Chroom, Kwik, Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen		> SW
EC111 (3.5-4.5)	Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW			
EC111 (9.1- 10.1)	Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW			
R3.1	Molybdeen, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW	Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW			
R3.2				Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW			
R3.3				Molybdeen, Chloride, Fenol**, Cresolen (som)**		> SW			

Tabel 5: Overschrijdingen van de JG-MKE en MAC-MKE in oppervlaktewater.

Monsterpunt	monitoringsronde 7, januari 2022		monitoringsronde 8, juni 2022		monitoringsronde 9, september 2022		Jaargemiddelde 2022
	Overschrijdingen		Overschrijdingen		Overschrijdingen		Overschrijdingen
	> JG-MKE	> MAC-MKE	> JG-MKE	> MAC-MKE	> JG-MKE	> MAC-MKE	> JG-MKE
O3	Opgelost: Zink, PFOS		PFOS	Opgelost: Arseen	PFOS	Opgelost: Arseen, Koper, Kwik	Opgelost: Arseen, Kwik, Zink, PFOS
O3.3A	PFOS		Opgelost: Chroom, Zink, PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Zink, PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Arseen, Chroom, Zink, PFOS
O3.5A/O50.4	PFOS		Opgelost: Zink, PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Zink, PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Arseen, Zink, PFOS
O4C	Opgelost: Koper, Zink, PFOS		Opgelost: Zink, PFOS		Opgelost: Zink, PFOS	Opgelost: Koper, Kwik	Opgelost: Kwik, Zink, PFOS
O8	Opgelost: Zink, PFOS		Opgelost: Zink, PFOS		PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Arseen, Zink, PFOS
O9	PFOS		Opgelost: Chroom, PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Zink, PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Arseen, Chroom, Zink, PFOS
O20.2	Opgelost: Zink, PFOS		Opgelost: Chroom, Koper, Nikkel, Lood, Zink, PFOS	Opgelost: Antimoon, Arseen, Cadmium, Kobalt, Kwik, Seleen	PFOS		Opgelost: Zink, PFOS
O33	Opgelost: Koper, Zink, PFOS		PFOS		PFOS		Opgelost: Zink, PFOS
O39	Opgelost: Koper, Zink, PFOS		PFOS		PFOS		Opgelost: Zink, PFOS
O43	Opgelost: Koper, Zink, PFOS		PFOS		Opgelost: Chroom, PFOS		Opgelost: Chroom, Zink, PFOS
O50.5	PFOS		PFOS		Opgelost: Zink, PFOS		Opgelost: Zink, PFOS
O50.6	PFOS		<i>niet gemeten</i>		Opgelost: Chroom, PFOS		Opgelost: Chroom, PFOS
O50.7	PFOS		Opgelost: Nikkel, Zink, PFOS		PFOS		Opgelost: Zink, PFOS
O50.8	Opgelost: Zink, PFOS		Opgelost: Zink, PFOS	Opgelost: Arseen	PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Arseen, Zink, PFOS
O50.9	Opgelost: Zink, PFOS		PFOS	Opgelost: Arseen	PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Arseen, Zink, PFOS
O55	PFOS		PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Zink, PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Arseen, Zink, PFOS
O60	PFOS		PFOS	Opgelost: Arseen	PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Arseen, Zink, PFOS
O70	Opgelost: Chroom, Zink, PFOS		Opgelost: Chroom	Opgelost: Arseen	Opgelost: Chroom, PFOS	Opgelost: Arseen	Opgelost: Arseen, Chroom, Zink, PFOS

Tabel 6: Overschrijdingen van de achtergrondwaarde in waterbodemmonsters (meetronde januari 2022).

Monsterpunt	Klasse A	Klasse B
S3		
S8	Molybdeen, Minerale olie totaal (C10-C40)	
S20.2		Molybdeen
S50.3		

Tabel 7: Overschrijdingen van de streefwaarde (>S) en interventiewaarde (>I) in grondwater (bij waarden met ** is de stof niet aangetroffen, maar de rapportagegrens hoger dan de streefwaarde) in de extra meetronde voor 2 peilfilters.

monitoringsronde 7.1, maart 2022			
Peilbuis (filter, m -mv)	Overschrijdingen		Conclusie
	> S	> I (i > 1) sterk	
Pb2a (11.0-12.0)	Fenol**, Cresolen (som)**		> SW
EC102 (3.5-4.5)	Fenol**, Cresolen (som)**		> SW

5.2 Resultaten

In de volgende paragrafen zijn de resultaten van de monitoring in 2022 per object toegelicht. Daarbij zijn alleen opvallende observaties, zoals overschrijdingen of verhoogde concentraties/waarden toegelicht. De monitoring in 2022 bestaat uit meetronde 7 t/m 9. Naast het voorkomen van stoffen is onder andere gekeken naar de pH, de troebelheid van het water en de verhouding van bromide en chloride. Hieronder worden deze parameters verder toegelicht.

Bromide, chloride en sulfaat in het gebied zijn afkomstig van twee bronnen: het zeewater (via de Westerschelde) en de grootschalige bodemtoepassing (TGG). Het zeewater manifesteert zich via instroming in het buitendijks natuurgebied, en door zoute kwel. Eventuele uitloging van stoffen afkomstig uit de TGG is af te leiden uit de peilfilters die gezet zijn in het grondwater direct onder de TGG en direct naast de kwelsloot. Omdat sprake is van twee verschillende bronnen van deze drie stoffen wordt het maken van onderscheid bemoeilijkt. Onderscheidend voor de in Perkpolder toegepaste TGG is echter de hoeveelheid bromide ten opzichte van de chloride. Bij de boringen uitgevoerd in 2021 (Deltares, 2022) was de verhouding tussen deze twee gemiddeld 0,11 g/g. Daarom wordt de bromide-chloride-verhouding ten opzichte van deze verhouding in zeewater gebruikt als een indicatie van de bron. Bij zeewater is de verhouding gemiddeld 0,0035 g/g en daarmee ruim 30 keer lager dan die in de TGG (Magazinovic RS, 2004). Indien de bromide-chloride verhouding ruim

hoger is dan 0,0035 g/g dan wijst dat daarom mogelijk op verontreiniging vanuit de TGG. Bij een structurele verhoging boven 0,0045 is dat (in zout water) het geval. In zoet water kunnen bromide-gehalten zo laag zijn, dat de bromide-chlorideverhouding geen betekenis heeft. In dat geval wordt naar de absolute waarde van het bromide-gehalte gekeken.

Een verhoogde troebelheid kan in sommige gevallen leiden tot een overschatting van de gehalten aan PAK, PCB, OCB, dioxines of andere matig/slecht oplosbare organische parameters. Op een aantal plaatsen is bij de zware metalen zowel een ongefiltreerd als ook een gefiltreerd monster geanalyseerd. Bij de beoordeling is uitgegaan van de gefiltreerde monsters (conform de geldende normen).

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) (RIVM, 2022c). Daar waar PFOS de JG-MKE overschrijdt, geldt ook dat diverse PFAS de risicogrenswaarden overschrijden.

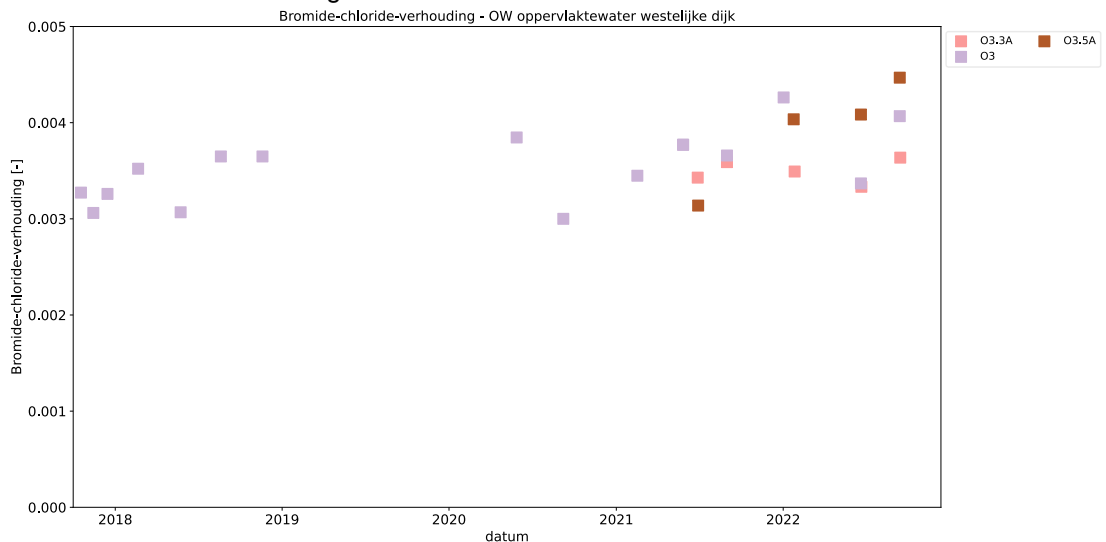
Uitloging vanuit de TGG kan leiden tot een verhoogde pH van tot wel 11 direct uit de TGG. In grond worden dergelijk hoge waardes echter niet of nauwelijks aangetroffen, door bufferende werking en verdunning.

In deze analyse wordt met name ingegaan op de vraag óf grondwater, oppervlaktewater en waterbodembodem beïnvloed is door de TGG, en of er sprake is van verhoogde waardes. Daarbij wordt met name gekeken naar arseen, vanadium en molybdeen. Waardes waarvoor geen verhoogde waarde wordt aangetroffen, zijn niet besproken. PFAS wordt voor het gehele gebied afzonderlijk besproken in paragraaf 5.3.3.

5.2.1 Westelijke dijk

5.2.1.1 Oppervlaktewater

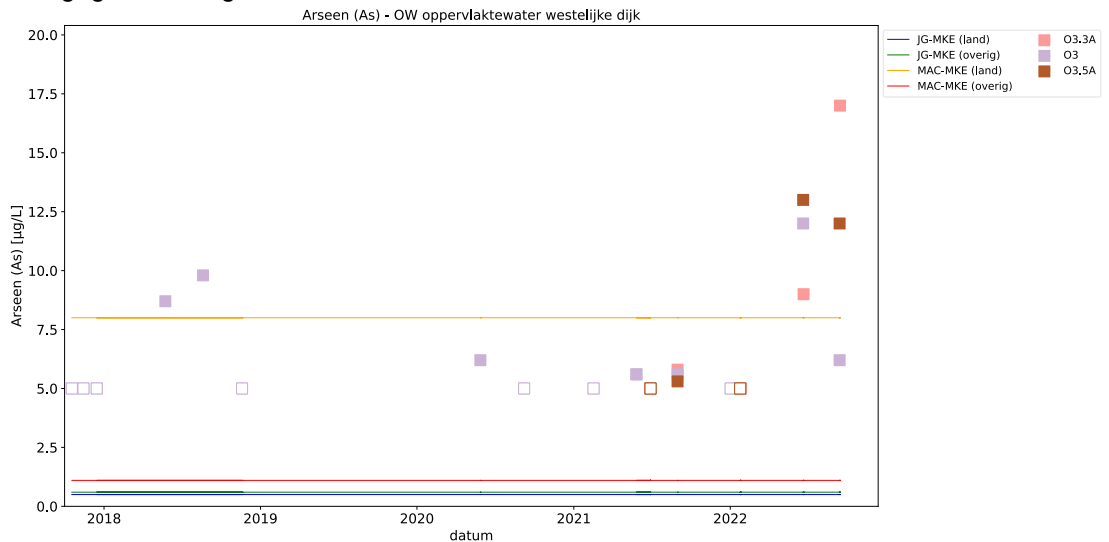
De locaties worden niet of beperkt beïnvloed door TGG, wat te zien is aan licht verhoogde bromide-chloride verhoudingen van 0.0043.



Figuur 13: Bromide-chlorideverhouding in oppervlaktewater van de westelijke dijk.

In het oppervlaktewater langs de Westelijke dijk is in de het afgelopen jaar een verhoging zichtbaar van arseen, tot boven de MAC-waarde voor landoppervlaktewateren. De verhoging van arseen is zichtbaar in de 8^e en 9^e monitoringsronde, maar niet in de 7^e ronde en

weergegeven in Figuur 14.

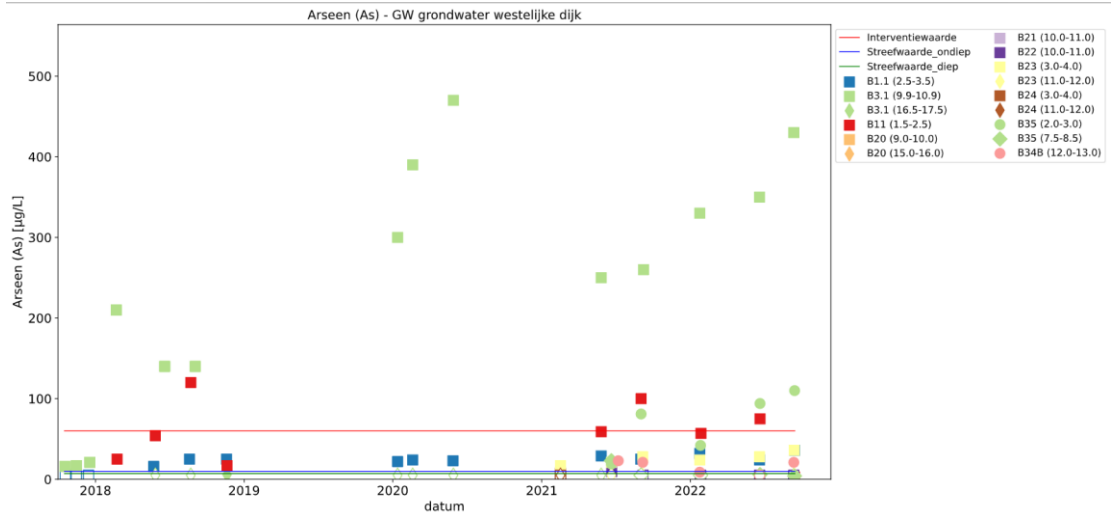


Figuur 14: Arseen in oppervlaktewater van de westelijke dijk (ingekleurde iconen geven een waarde boven de rapportagegrens aan, niet ingekleurde iconen geven de rapportagegrens weer).

5.2.1.2 Grondwater

Er is op de westelijke dijk langs drie verschillende meetraaien gemeten, langs een noordelijk gelegen meetraai, een zuidelijk gelegen meetraai en een meetraai daar tussenin (midden). Op verschillende locaties langs de zuidelijke, middelste en noordelijke meetraai worden overschrijdingen van de streefwaarde voor barium, chroom, koper, molybdeen, vanadium en zink waargenomen. Op locatie B3.1 (9,9-10,9) worden gedurende alle meetrondes in 2022 overschrijdingen van de interventiewaarde voor arseen van 60 µg/L waargenomen met concentratie oplopend tot 430 µg/l. Op locatie B35 (2,0-3,0) wordt tijdens ronde 8 en 9 een overschrijding van de interventiewaarde voor arseen waargenomen met concentraties van respectievelijk 94 µg/l en 110 µg/l, tijdens ronde 7 werd enkel de streefwaarde overschreden met een concentratie van 42 µg/l. Daarnaast wordt ook op locatie B11 (1,5-2,5) wordt tijdens ronde 8 eenmalig de interventiewaarde voor arseen overschreden met een concentratie van 75 µg/l, eerder werd hier tijdens ronde 7 al een verhoogde arseen concentratie van 57 µg/l waargenomen (overschrijding streefwaarde). Op locaties B1.1 (2,5-3,5) en B23 (3,0-4,0) worden gedurende geheel 2022 overschrijdingen van de streefwaarde voor arseen waargenomen.

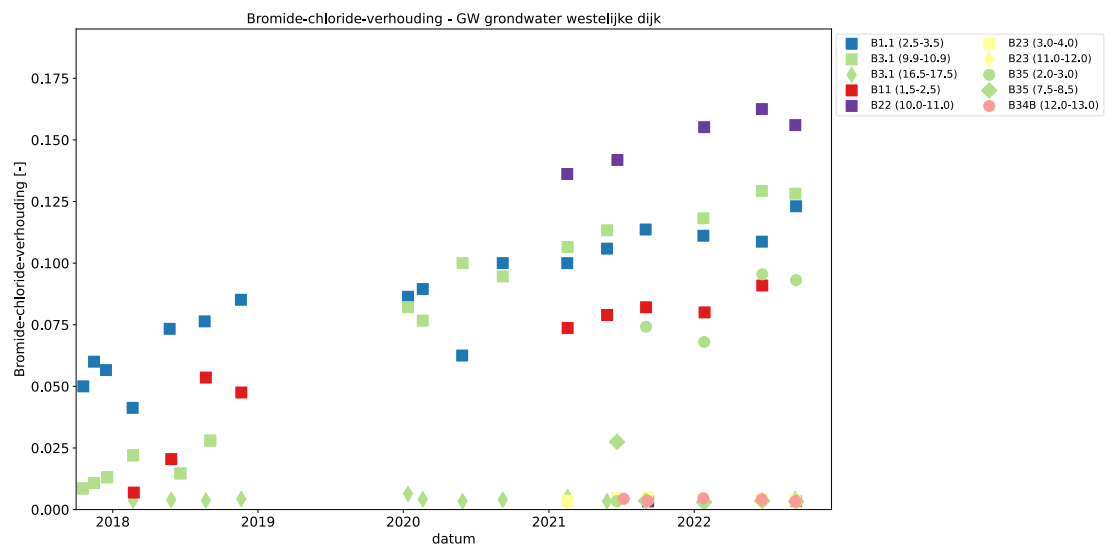
Uit Figuur 15 blijkt dat de concentratie arseen langs de westelijke dijk al sinds 2018 regelmatig de streefwaarde en op enkele plekken de interventiewaarde overschrijden. De interventiewaarde wordt met name overschreden op de dijk bij locatie B3.1 (9,9-10,9) (onder TGG) en aan de binnenzijde van de kwelsloot op locaties B11 (1,5-2,5) en B35 (2,0-3,0). Voor de locatie B3.1 (9,9-10,9) geldt dat de waarde structureel hoog is en sterk fluctueert.



Figuur 15: Arseen in grondwater van de westelijke dijk (ingekleurde iconen geven een waarde boven de rapportagegrens aan, niet ingekleurde iconen geven de rapportagegrens weer).

Tolueen wordt aangetroffen op locatie B49 (6,5-7,5) tijdens ronde 8 en 9 en tijdens ronde 8 ook op locatie B1.4 (7,0-8,0), daarbij worden echter geen normen overschreden. Ook fenol en naftaleen worden eenmalig aangetroffen tijdens ronde 7 op locatie B35 (2,0-3,0) (ronde 7) Naftaleen eenmalig aangetroffen op locatie B35 (2,0-3,0) (ronde 7) in een concentratie boven de interventiewaarde.

De hoogste bromide-chloride verhoudingen worden gedurende geheel 2022 waargenomen in de Zuidwesthoek aan de binnenzijde van de kwelsloot op locatie B22 (10,0-11,0) met waarden van 0,155-0,163 g/g. Op locatie B3.1 (9,8-10,8) op het middelste deel van de westelijke dijk worden het gehele jaar verhoogde bromide-chloride verhoudingen van 0,1182-0,1293 g/g waargenomen. Ook op locatie B35 (2,0-3,0) in het noorden van de westelijke dijk worden gedurende het hele jaar verhoogde bromide-chloride verhoudingen van 0,68-0,095 g/g waargenomen. Er is hier duidelijk sprake van een trend waarin de bromide-chlorideverhouding toeneemt. Zoals in de vorige paragraaf is opgemerkt, is dit niet terug te zien in de in het ernaast gelegen oppervlaktewater.



Figuur 16: Bromide-chlorideverhouding (g/g) in grondwater bij de Westelijke dijk.

Langs de westelijke dijk is locatie B49 (2,0-3,0) met een chloride concentratie van rond de 30 mg/l de enige zoete locatie. Op locatie B3.1 (9,8-10,8) worden gedurende het hele jaar 2022

hoge bromide concentraties van 780-910 mg/l waargenomen. Op locatie B22 (10,0-11,0) worden gedurende het hele jaar 2022 hoge bromide concentraties van 450 mg/l (ronde 7) en 390 mg/l (ronde 8 en 9).

5.2.2 Zuidelijke dijk

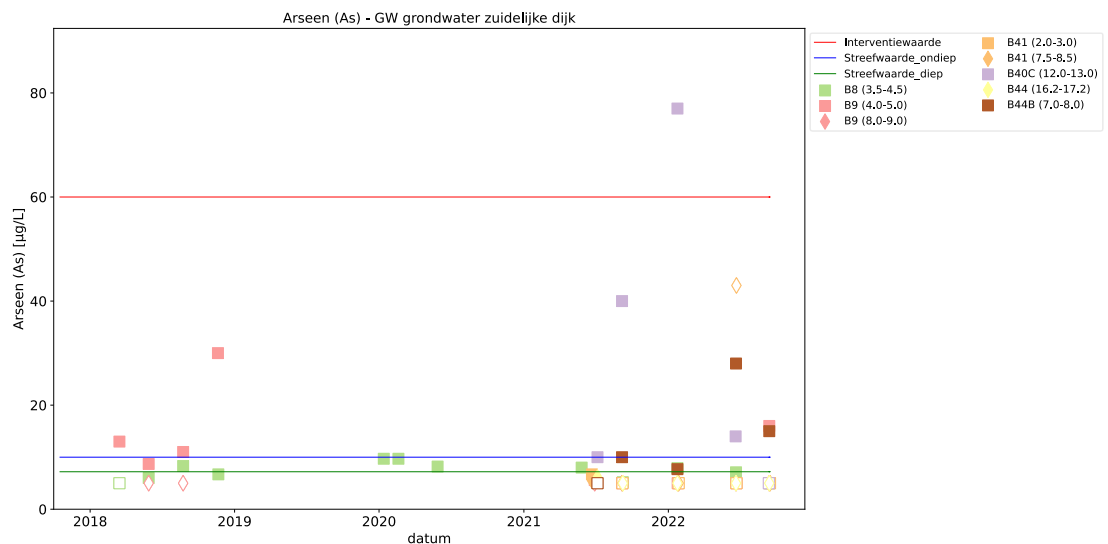
5.2.2.1 Oppervlaktewater

Langs de zuidelijke dijk is in het oppervlaktewater is op basis van de bromide-chlorideverhouding een beïnvloeding zichtbaar (0.006-0.008), die echter niet hoger is dan eerdere jaren. In 2 van de 3 meetperiodes is ook arseen meetbaar aanwezig (10-15 µg/L). Vanadium is aanwezig (3-4.5 µg/L) rond de MAC waarde voor landoppervlaktewateren.

De chloridegehalten in grondwater en oppervlaktewater zijn bijna overal boven de normale waarden voor zoet water en bevestigen de status van de kwelsloot als een zoute kwelsloot. De overschrijding van de streefwaarde voor chloride is hier dan ook niet van betekenis.

5.2.2.2 Grondwater

Er is op de zuidelijke dijk langs twee verschillende meetraaien gemeten, langs een westelijk gelegen en een oostelijk gelegen raai. Op locatie B40C (12,0-13,0) (westelijke raai) zijn tijdens de 7^e meetronde overschrijdingen van de interventiewaarde waargenomen voor arseen en chroom, terwijl de waardes in de 8^e en 9^e ronde weer aanmerkelijk lager lagen Figuur 17.



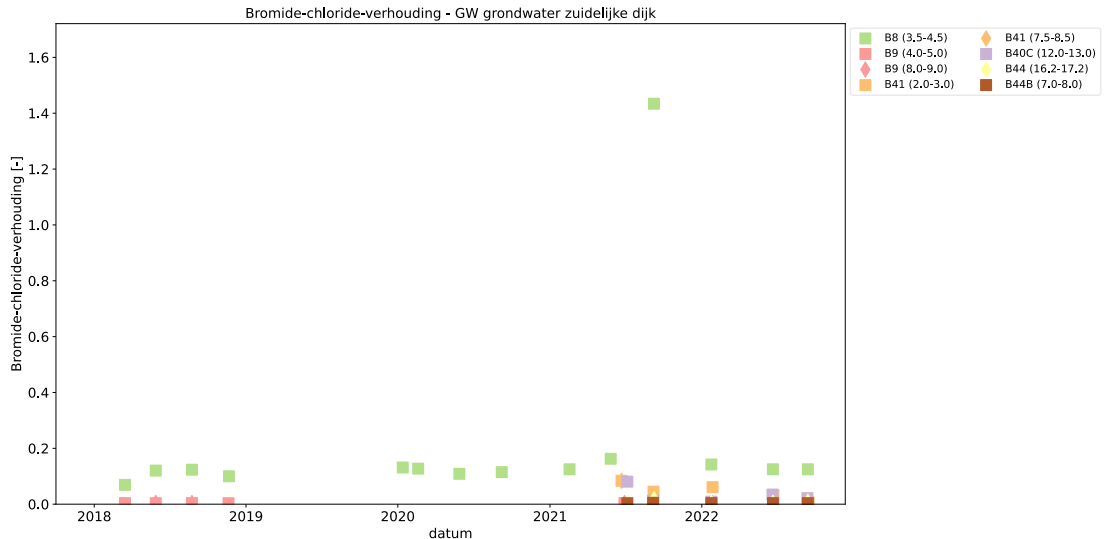
Figuur 17: Arseen in grondwater van de zuidelijke dijk (ingekleurde iconen geven een waarde boven de rapportagegrens aan, niet ingekleurde iconen geven de rapportagegrens weer).

Verder worden er op alle verschillende locaties overschrijdingen van de streefwaarde waargenomen, voor barium, chroom, chloride, kobalt, molybdeen, nikkel, seleen en vanadium.

Op locatie B43 (2,0-3,0) in het buitendijks natuurgebied is eenmalig naftaleen (ronde 8) aangetroffen en een ronde later eenmalig benzeen (ronde 9). Fenol is tijdens ronde 8 op twee plekken aangetroffen, namelijk locatie B39 (1,6-2,6), B43 (2,0-3,0) en B9 (4,0-5,0).

Langs de oostelijke meetraai van de zuidelijk dijk is de bromide op 74 mg/l (ronde 9) waargenomen op locatie B44 (16,2-17,2).

Langs de westelijke meetraai van de zuidelijke dijk is de bromide-chloride verhouding (Figuur 18) op locatie B8 (3,5-4,5) sterk verhoogd tot 0,13-0,14 (meetronde 9). Daarnaast is de bromide-chloride verhouding enkele keren verhoogd op locatie B41 (2,0-3,0) tot 0,061 (ronde 7) en 0,007 (ronde 9) en op locatie B40C (12,0-13,0) tot 0,009 (ronde 9). De laagste chloride concentraties worden waargenomen op locatie B8 met waarden van 160-200 mg/l, waarmee deze locatie dus niet als sterk zout kan worden bestempeld. Op alle andere locaties langs deze raai zijn de chloride concentraties een factor 10 hoger. De hoogste bromide concentratie van 390 mg/l wordt waargenomen op locatie B41 (2,0-3,0) (ronde 7), gevolgd door een concentratie van 240 mg/l opnieuw op locatie B41 (2,0-3,0) (ronde 8) en een concentratie van 200 mg/l op locatie B40C (12,0-13,0).



Figuur 18: Bromide-chlorideverhouding (g/g) in grondwater bij de Zuidelijke dijk. Het meetpunt voor B8 (3,5-4,5) van >1 in meetronde 6 is waarschijnlijk een uitbijter.

De verhoogde bromide-chloride verhouding in combinatie met hoog chloride en hoog bromide is een aanwijzing dat op locaties B40C (12,0-13,0), B41(2,0-3,0) en B44 (16,2-17,2) uitloging vanuit de TGG plaatsvindt. Voor B8 (3,5-4,5) geldt dat de bromide concentratie zo hoog is dat (los van het zoutgehalte) beïnvloeding kan worden aangenomen.

5.2.3 Koppeldijk

5.2.3.1 Grondwater

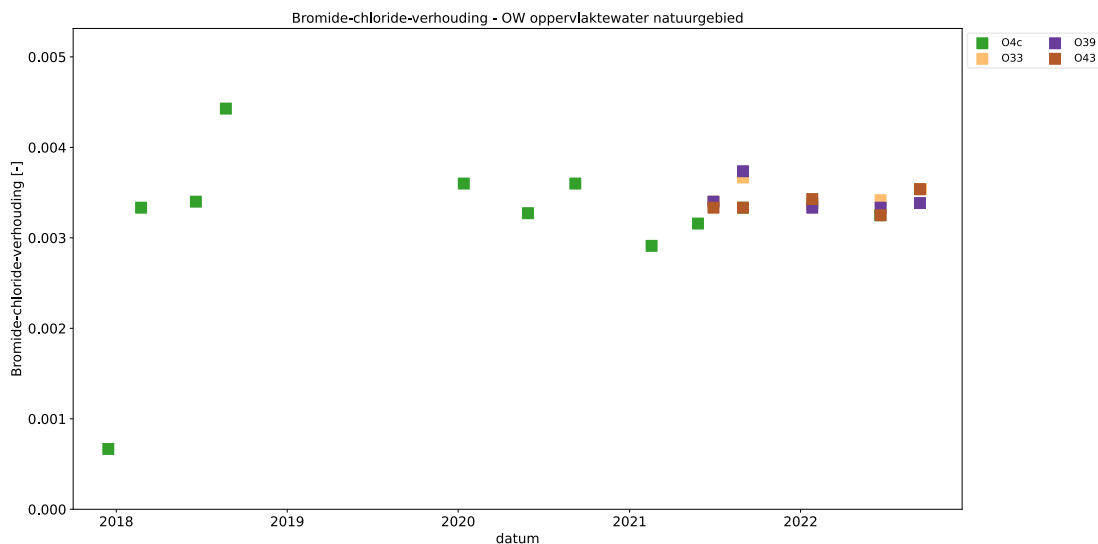
Op locatie B15 (11,0-12,0) worden tijdens alle meetrondes in 2022 overschrijdingen van de interventiewaarde voor arseen waargenomen. De arseen concentraties variëren gedurende het jaar van 120-210, maar er lijkt geen duidelijke trend zichtbaar, in eerdere jaren werden namelijk al vergelijkbare concentraties arseen aangetroffen. Op locatie B15 (11,0-12,0) worden ook het gehele jaar door overschrijdingen van de streefwaarde voor barium aangetroffen. Op locatie B46 (9,8-10,8) wordt eenmalig de streefwaarde voor zink overschreden.

Op locatie B15 (11,0-12,0) varieert de chloride concentratie tussen 2000-27000 mg/l, het gaat dus om zout grondwater. Locatie B46 (9,8-10,8) daarentegen had in ronde 8 een chloride concentratie 78 mg/l (deze locatie kon alleen tijdens ronde 8 bemonsterd worden), het gaat hier dus om zoet grondwater. Op locatie B46 (9,8-10,8) wordt een iets verhoogde bromide-chloride verhouding waargenomen (0,0079 g/g), maar gezien het zoete karakter heeft deze waarde weinig betekenis. De bromide concentratie op locatie B46 (9,8-10,8) is 0.62 mg/l.

5.2.4 Natuurgebied

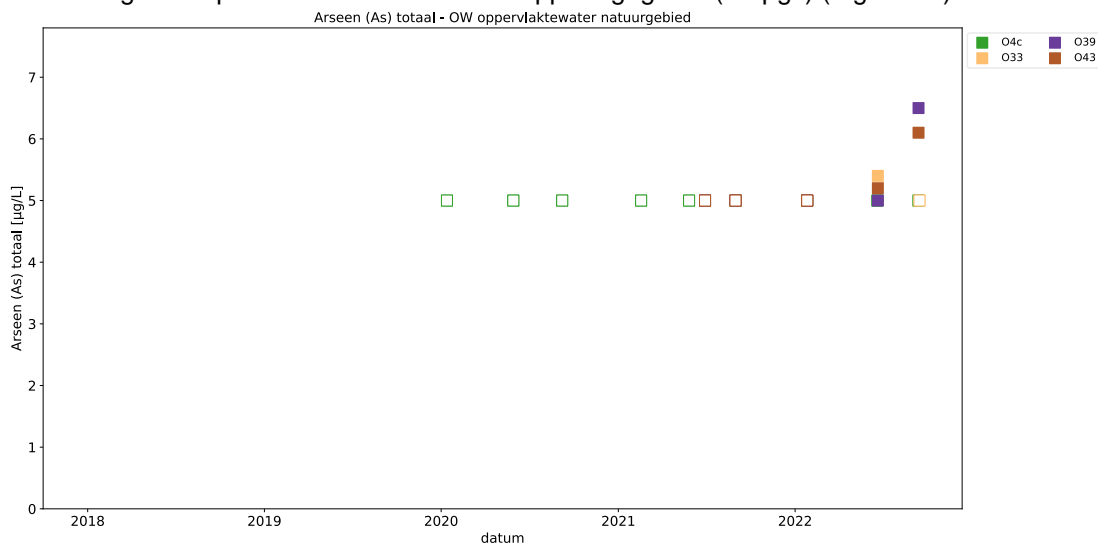
5.2.4.1 Oppervlaktewater

In het oppervlaktewater van het buitendijks natuurgebied wordt op basis van bromide-chloride-verhouding geen aanwijzingen aangetroffen voor invloed van de TGG. Dat is, gezien de waarden in het grondwater (zie onder) en de grote uitwisseling met de schelde (waarvan 2 keer per dag met het getij het water komt) ook niet te verwachten.



Figuur 19: Bromide-chlorideverhouding (g/g) in oppervlaktewater van het buitendijks natuurgebied (ingekleurde iconen geven een waarde boven de rapportagegrens aan).

Ook in dit gebied is echter meetbaar arseen aangetroffen net boven de rapportagegrens (5-7 µg/l). Hoewel deze waarden in de omgeving ook worden aangetroffen, waren de waarden in de voorgaande periode steeds onder de rapportagegrens (<5 µg/l) (Figuur 20).



Figuur 20: Arseen in oppervlaktewater van het buitendijks natuurgebied (ingekleurde iconen geven een waarde boven de rapportagegrens aan, niet ingekleurde iconen geven de rapportagegrens weer).

5.2.4.2 Grondwater

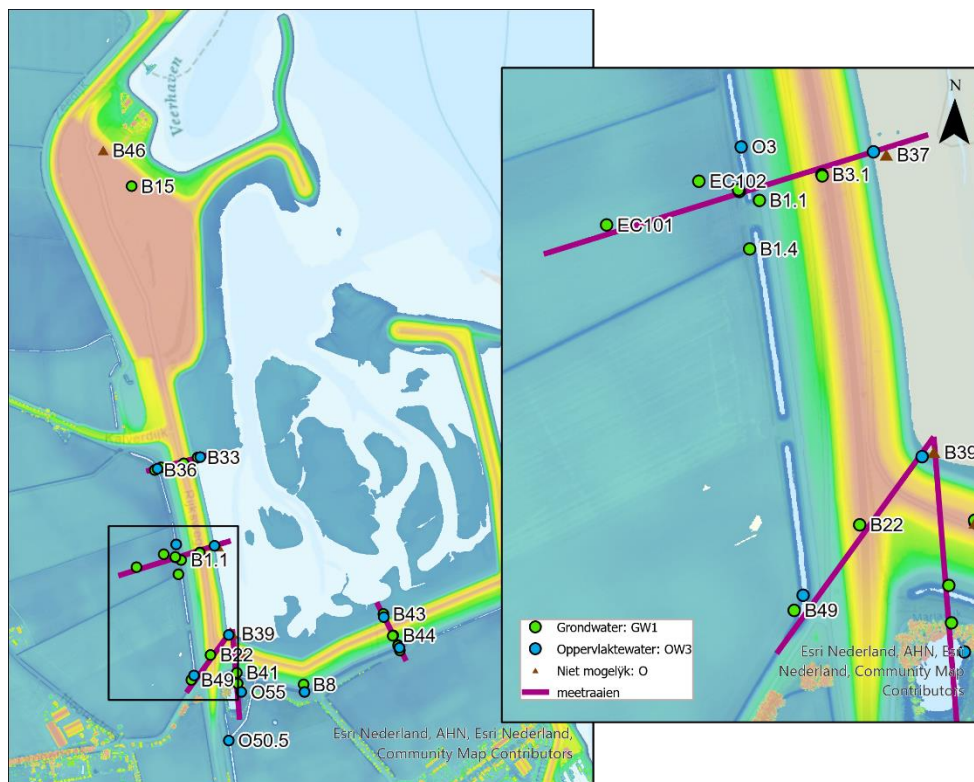
In het grondwater van het natuurgebied worden sporadisch overschrijdingen van de streefwaarde aangetroffen voor barium, chroom, molybdeen en nikkel. Tijdens meetronde 9 is op locatie B43 (2,0-3,0) eenmalig tolueen aangetroffen in een concentratie van 0,27 µg/l,

waarmee de streefwaarde werd overschreden. Naftaleen werd tijdens meetronde 8 eerder al aangetroffen in een concentratie van 0,12 µg/l, waarmee de streefwaarde werd overschreden.

Er is geen verhoogde bromide-chloride verhouding waarneembaar. De hoogste bromide concentratie is 38 mg/l op locatie B33 (1,7-2,7).

5.2.5 Grondwater buiten kwelsloot

Het grondwater buiten de kwelsloot is op verschillende locaties langs verschillende meetraaien bemonsterd. De meeste locaties zijn dus ook hierboven al (kort) besproken. Om te kijken naar de kwelsloot als geheel wordt hier daarom nog kort aandacht besteed aan deze locaties (figuur 18). Enkele van de grondwaterlocaties buiten de kwelsloot zijn zoet, zo varieert de chlorideconcentratie op locatie B49 (2,0-3,0) rond de 30 mg/l, EC101 (3,5-4,5) 43-50 mg/l en zijn ook de locaties langs de Noordstraat zoet met een maximale chloride concentratie van 100 mg/l op locatie R3.3. De bromide-chloride verhouding is op deze locaties daarom niet indicatief voor uitloging vanuit de TGG. De hoogste bromide concentraties worden gemeten op locatie B1.4 (7,0-8,0) met waarden van 39-42 mg/l.



Figuur 21 Grondwater over raaien die tot buiten de kwelsloot lopen

5.2.6 Landbouwgebied

In het landbouwgebied is in 2022 aanvullend onderzoek gedaan op een aantal locaties:

- Horizontale drainage buizen R3.1 en R3.2;
- Kleine put met elektrische pomp aan de Noordstraat: R3.3;
- Peilbuis met filters op twee dieptes aan de Noordstraat: EC111 (3,5-4,5) en EC111 (9,1-10,1).

Deze locaties zijn bemonsterd om meer inzicht te krijgen in de situatie in het landbouwgebied.

In de kleine put aan de Noordstraat (R3.3) wordt tijdens beide bemonsteringen in 2022 molybdeen aangetroffen boven de streefwaarde in concentraties van 9,5 µg/l en 14 µg/l. De chloride concentratie komt op geen van deze locaties boven de 100 mg/l uit en daarmee zijn alle locaties zoet.

Daarnaast zijn locaties EC101 en EC102, gelegen langs de middelste meetraai van de westelijke dijk, ook gelegen in het landbouwgebied. Fenol en cresol zijn eenmalig aangetroffen op locatie EC102 (3,5-4,5) tijdens meetronde 7, bij her-bemonstering zijn deze stoffen niet opnieuw aangetroffen.

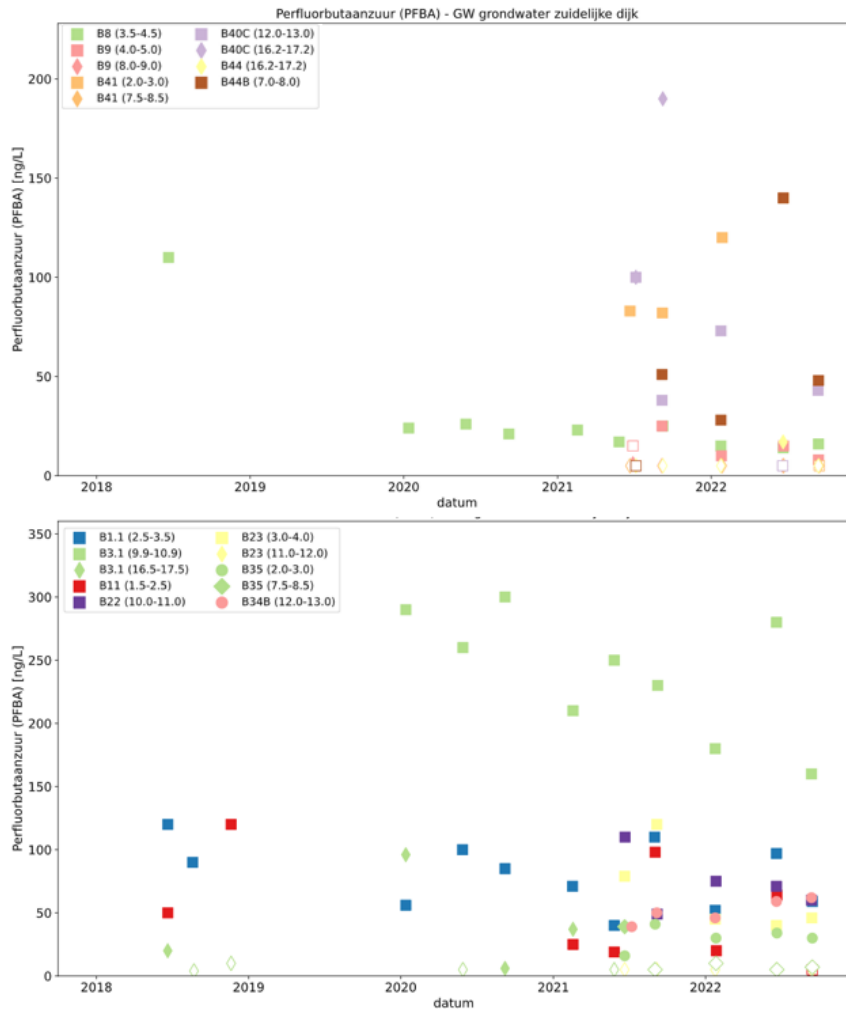
5.2.7 Oppervlaktewater benedenstrooms

In het oppervlaktewater benedenstrooms is richting natuurgebied de Vogel een verlaging zichtbaar van het zoutgehalte, door toestroom van andere waterstromen in de omgeving. Er worden geen aanwijzing getroffen voor beïnvloeding van TGG.

5.2.8 PFAS

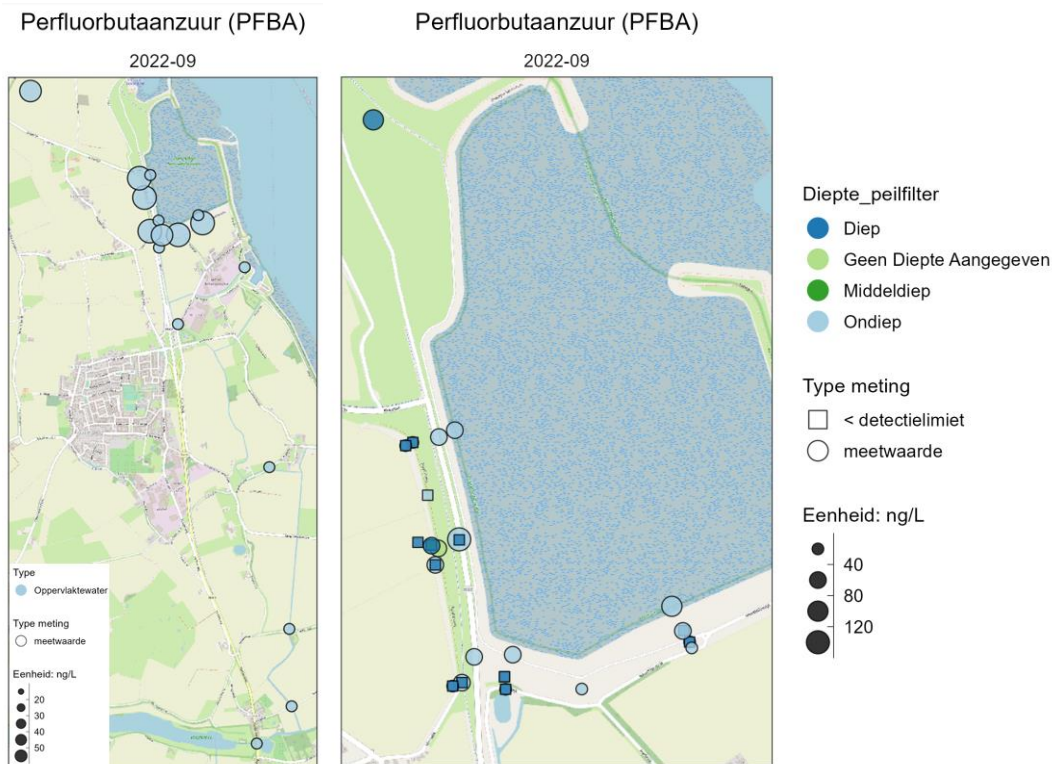
Diverse PFAS worden aangetroffen in grondwater en oppervlaktewater. Vooral de PFAS met 8 en 4 koolstofatomen (PFOS, PFBS en PFBA) worden vaak aangetroffen, zowel direct onder de TGG, als in het worden hier -in afwijking van de systematiek van de paragrafen hierboven- als stofgroep besproken.

PFBA en PFBS komen concentraties voor van circa 50 respectievelijk ng/L in het buitendijks natuurgebied; en deze waarden dalen het afgelopen jaar. In het grondwater komen veel hogere waarden voor (tot 300 ng/L PFBA bij B3.1 (9,9-10,9)) en is de variatie sterk (Figuur 22).



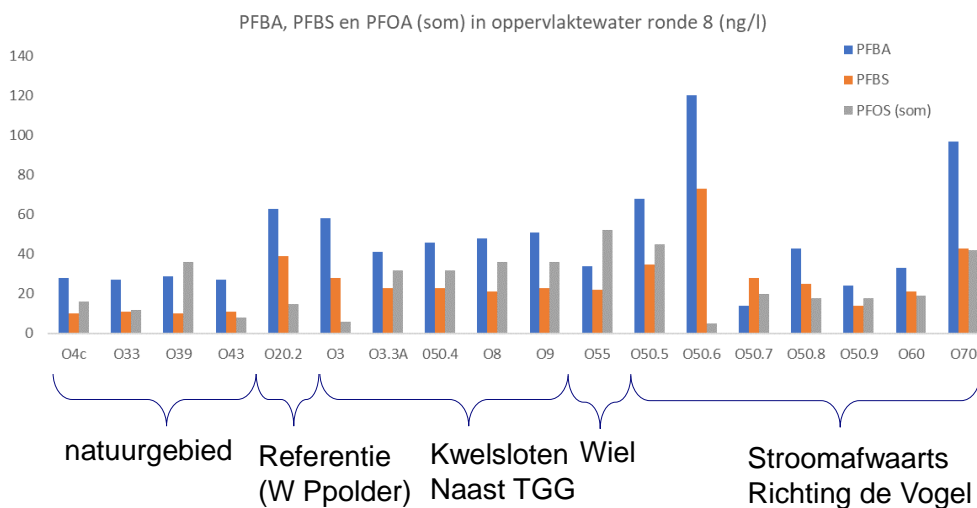
Figuur 22 PFBA in het grondwater in de zuidelijke (onder) en westelijke (boven) dijk

Ook in de Westerschelde kwamen in het verleden veel hogere waarden voor. In het binnendijkse oppervlaktewater komen PFBA en PFBS in vergelijkbare mate voor in de bovenstroomse referentie en in de kwelsloot (Figuur 12). Richting de Vogel dalen de waarden sterk.



Figuur 23 PFBA in de 9^e ronde in het grondwater en oppervlaktewater (de indicatie ondiep betekent uitsluitend dat het om het meest ondiep gelegen filter gaat)

Dit beeld van verhoogde waarden in het oppervlaktewater bovenstrooms én ter hoogte van de kwelsloot geldt voor PFBS, PFBA en (in mindere mate) voor PFOS. In Figuur 24 is het verloop over 1 meetronde (meetronde 8) weergegeven.



Figuur 24: PFBA, PFBS en PFOS (som) in het oppervlaktewater in de 8^e meetronde. De volgorde van links naar rechts volgt eerst het buitendijks natuurgebied, en vervolgens de stroomrichting van het water.

5.2.9 Waterbodem

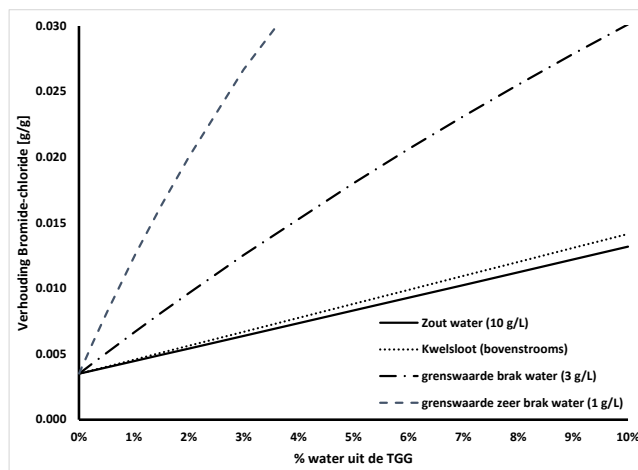
De waterbodem nabij Perkpolder is in 2022 eenmaal gemonitord. Bij deze monitoring werd op twee van de vier locaties verhoogd molybdeen aangetroffen: in de zuidelijke kwelsloot leidt verhoogd molybdeen tot een overschrijding van de maximale waarden van klasse A (S8), in de bovenstroomse referentie locatie (S20.2) leidt een verhoogd molybdeen gehalte tot een overschrijding van klasse B/interventiewaarde. Op locatie S50.3 (Weeltje) werden in 2021 enkele zware metalen verhoogd aangetroffen, dat was in 2022 niet het geval.

5.3 Discussie

De resultaten van de meetrondes 7 tot en met 9 zijn per deelgebied besproken in de resultaten. In deze discussie worden de belangrijkste stoffen verder gebiedsbreed besproken. Omdat het hier om de jaarmonitoringsrapportage gaat is die analyse beperkt: in de eindrapportage zal er dieper op worden ingegaan.

5.3.1 Bromide-chloride verhouding

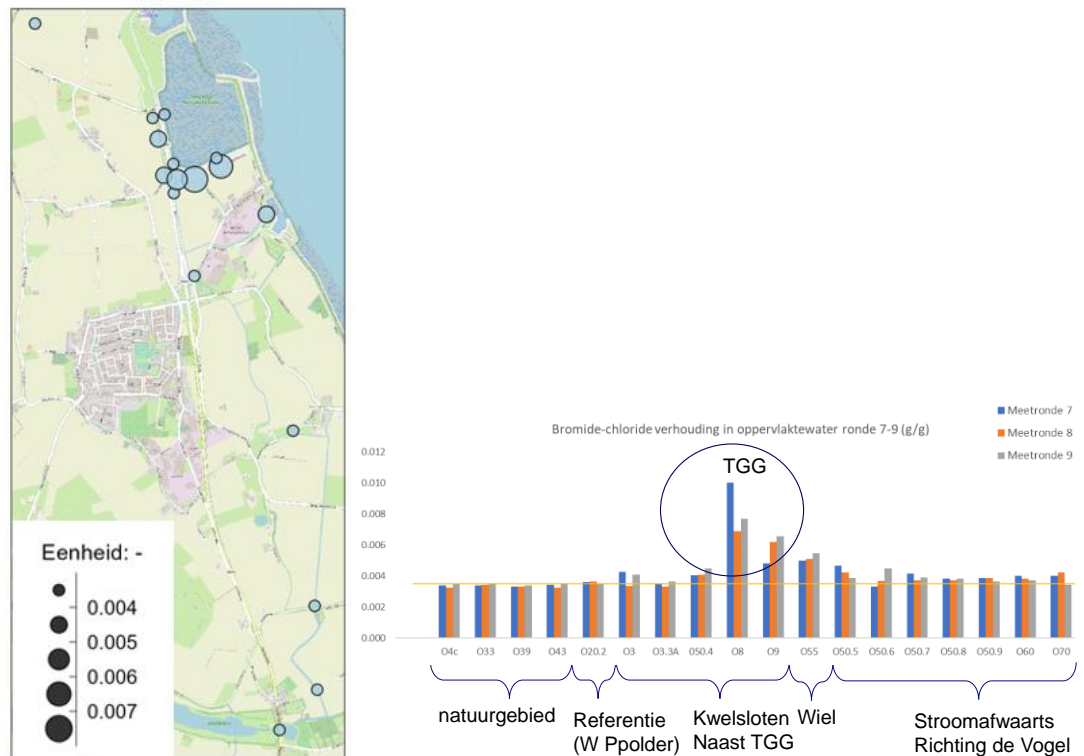
De bromide-chloride-verhouding is een belangrijke indicator om te zien of een gebied wordt beïnvloed door de TGG. Daarmee is niet gezegd of deze beïnvloeding negatief is: bromide zelf is -zeker in deze brakke en zoute omgeving- geen punt van zorg. De aangetroffen verhouding is (in combinatie met het zoutgehalte van de watergang) een indicatie in hoeverre het uit het TGG stromend materiaal verdund is. In onderstaande figuur is te zien hoe water uit de TGG effect heeft op de bromide-chloride verhouding. Het effect is sterker in zoet water.



Figuur 25: Effect van mengen met water uit de TGG op de bromide-chloride-verhouding bij verschillende chloridegehaltes.

Bromide-chloride-verhouding

2022-09



Figuur 26: Bromide-chloride-verhouding in het oppervlaktewater in de 9^e meetronde (links); en over de afgelopen 3 meetrondes (7, 8, 9: rechts). De volgorde van links naar rechts volgt eerst het buitendijks natuurgebied, en vervolgens de stroomrichting van het water.

De verhoogde waarden zijn een indicatie van een groot aandeel van uit TGG logend water in de kwelsloot: 5-10% van het water lijkt afkomstig te zijn van de TGG. Voor de locaties met de hoogste waarde is dat gedeeltelijk te verklaren door de beperkte doorstroming: de zuidelijke ringsloot verzamelt immers het water van een zeer beperkt gebied (zie bijlage E van de jaarrapportage 2020 (Deltares, 2021) van 8 hectare, terwijl het afstromend oppervlak voor de westelijke dijk 197 hectare betreft. Toch kan ook niet worden uitgesloten dat de verhoogde waarde niet geheel karakteristiek is voor de gehele watergang omdat de monsters genomen zijn aan de dijkzijde, en wellicht lager zijn midden in de watergang. Het beeld is overigens niet afwijkend van de andere jaren.

De bromide-chloride-verhouding in het grondwater zijn op diverse locaties onder de dijk en aan de dijk-zijde van de kwelsloot verhoogd als gevolg van uitloging uit de TGG. Ter plaatste van de verhoogde oppervlaktewater-locaties is de verhouding niet hoger dan in andere jaren. Een verhoging in het grondwater is juist wel waar te nemen aan de westelijke dijk, maar daar is geen effect te zien in het grondwater. Dat heeft mogelijk te maken met de ligging van de TGG: in de zuidelijke dijk ligt die (ook) in de teen van de dijk, en is de route van oppervlakkige afstroming naar het grondwater waarschijnlijker. In de westelijke dijk zijn de meest waarschijnlijke routes naar de kwelsloot via dieper grondwater, waardoor die nog niet verwacht worden (Royal Haskoning DHV, 2022b).

Op grond van de gemeten waarden wordt geen uitlogingseffect gezien in de gebieden buiten het gebied van de kwelsloot.

5.3.2 Arseen

Verhoogde arseenwaarden (boven de rapportagegrens van 5 µg/L) werden in eerdere jaren incidenteel aangetroffen in het oppervlaktewater, maar zijn dit jaar vaker aangetroffen. Dat geldt zowel voor de waarden in de kwelsloot, als benedenstrooms. In de referentie (O20.2) werden geen verhoogde waarden aangetroffen Figuur 27. In het grondwater werd vaker direct onder de TGG arseen aangetroffen, en deze waarden vergelijkbaar met eerder jaren. In Zeeland komt arseen vaker verhoogd voor in het grondwater, maar de waarden direct onder de TGG zijn hoger dan de waarden die daar gebruikelijk zijn (zie bij voorbeeld jaarrapportage 2020 (Deltares, 2021)). De gehalten arseen in de TGG zelf zijn beperkt, en ook uitlogingsproeven laten geen grote arseen uitloging uit de TGG zien (zie (Deltares, 2019b) en (Deltares, 2022)). De arseen in het grondwater daarom waarschijnlijk gemobiliseerd als het gevolg van de ingreep (RIVM, 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 in dit gebied is niet goed te zien zonder verdere mechanistische analyse.

De gemeten arseenwaarden benedenstrooms worden waarschijnlijk niet door de ingreep veroorzaakt, omdat daar tussenin juist waarden liggen die niet verhoogd zijn en omdat de verhoogde waarden juist voorkomen als het water al zeer sterk verdund is door toestroming benedenstrooms.



Figuur 27: Arseenconcentratie in oppervlaktewater (links) en grondwater (rechts).

5.3.3 PFAS

Er zijn diverse bronnen van PFAS in de omgeving: concentraties in de Westerschelde zijn de afgelopen jaren hoog geweest van met name PFBA en PFOS en dalen nu langzaam. Omdat voor PFBA ook in de bovenstroomse referentie veel PFBA wordt aangetroffen lijkt de meest waarschijnlijke bron in het oppervlaktewater de zoute kwel. De PFBA is daarmee indirect

afkomstig uit de Westerschelde. Omdat de concentraties daar hoger waren, dan nu het geval is, zijn ook de concentraties in (opkwellend) grondwater hoger. Onder de TGG worden diverse PFAS in hogere waarden aangetroffen. Juist op plekken die zeer sterk beïnvloed worden door de TGG (zoals B3.1 (9,90-10,90, dat er direct onder ligt) is de TGG een relevante oorzaak. Overigens werden de PFAS die in deze analyse worden genoemd niet aangetroffen bij samenstellingsonderzoek van de TGG, waarschijnlijk vanwege de relatief hoge rapportagegrenzen die worden gehanteerd. Het is wel aannemelijk dat PFAS sterk mobiel zijn in thermisch gereinigde grond, omdat er weinig mogelijkheden bestaan voor absorptie zoals dat bij klei of veen het geval is.

5.4 Conclusie

Uit de TGG logend materiaal is -net als in voorgaande jaren- aangetoond onder de dijk, en naast de dijk en -bij de zuidelijke dijk- in de kwelsloot. Het betreft hier voornamelijk het aantonen van uit de TGG afkomstig bromide, dat als gidsstof fungeert. Deze stof leidt (in deze omgeving) niet tot een verslechterde situatie. Buiten de kwelsloot wordt geen invloed van de TGG gemeten.

Dit jaar is voor het eerst een verhoging van arseen te zien in de kwelsloot en in het buitendijks natuurgebied. Dit arseen wordt gemobiliseerd door grondwaterprocessen als gevolg van de ingreep in het gebied. Of TGG daarvoor verantwoordelijk is, vereist een nadere analyse. Van de overige stoffen zijn de waardes vergelijkbaar met eerdere waarden: enige beïnvloeding is zichtbaar direct in de buurt van de TGG.

PFAS in het oppervlaktewater is afkomstig van opkwellend zeewater en de bron is dus (indirect) de Schelde. In het grondwater onder de TGG kan (een combinatie van) zowel de TGG als de Westerschelde de bron zijn.

6 Grasbekledingsonderzoek

De resultaten van dit onderzoek, zie 4.2.5, zijn verwerkt in een memo, dat is bijgevoegd als Bijlage B van dit onderzoek.

6.1 Inleiding

Conform het Plan van Aanpak zal er in de periode van 2020-2023 jaarlijkse een visuele inspectie worden uitgevoerd om de kwaliteit en sterkte van de grasmat op het dijklichaam in kaart te brengen. Door middel van deze inspectie wordt in kaart gebracht in hoeverre sprake is van scheurvorming in de toplaag en afwijkingen in de ontwikkeling van de grasmat. De inspectie van 2021 is vergeleken met de inspectie in 2018 en 2020.

Uit het onderzoek uit 2018, bijlage I van bijlagerapport B (Deltares, 2019b) blijkt dat de ontwikkeling van de grasmat niet significant afwijkt van de normale situatie van gras op een relatief nieuwe dijk. Er is vrijwel overal sprake van een gesloten graszode, met uitzondering van enkele zandige plekken. Geconcludeerd wordt dat de jonge grasmat lijdt onder de droogte. De inspectie werd uitgevoerd in de droge zomer van 2018 (midden juli). De monitoring van 2022 vond plaats in mei, net voor dat er gemaaid werd, omdat onder deze omstandigheden de inspectie het meest effectief is. Daarbij zijn ook enkele bodemonsters genomen. De resultaten worden hieronder besproken en zijn in detail weergegeven in Bijlage B.

6.2 Toetsing

Voor het grasonderzoek zijn dezelfde 11 locaties als in 2018 en 2020 onderzocht, evenals de twee proefvakken die in 2021 zijn toegevoegd. Daarnaast is een extra proefvak toegevoegd op een plek met een al redelijk soortenrijke dijkvegetatie. Op zeven van de 14 locaties zijn de voorkomende gras- en kruidensoorten in samenhang met substraat onderzocht door middel van een vegetatieopname. Aanvullend zijn vegetatieopnamen genomen in twee nieuwe proefvakken. De grasmat is beoordeeld volgens de methode van het WBI2017 (ILT, 2017).

6.3 Resultaten

De vegetatie op de dijk vertoont nog steeds een vrij grote variatie. De dijk lijkt zich te ontwikkelen richting glanshaverhooiland. Er zijn in 2022 twee zoutminnende soorten waargenomen. Op een andere locatie zijn twee Rode Lijst 2012 soorten waargenomen, namelijk Bijenorchis (TNB-3) en Klavervreter (bremraap) (KW-6).

6.4 Conclusie

De grasbekleding van de dijk is nog steeds in ontwikkeling en bestaat voor een steeds kleiner deel uit voornamelijk Rood zwenkgras. Hoog opgaande grassoorten als Glanshaver, Rietzwenkgras, Kroppaar en Kweek, die horen bij het toegepaste maaibeheer (tweemaal maaien met afvoer van het maaisel), spelen een steeds grotere rol in de dijkvegetatie. De grasbekleding lijkt zich te ontwikkelen richting glanshaverhooiland waarin glanshaver de dominante grassoort is. Het lutumgehalte is zowel op het binnen- als buitentalud aan de lage kant waardoor de mogelijkheid zich voordoet om hier de soortenrijke variant van het glanshaverhooiland te ontwikkelen. In 2022 zijn op de plek waar ze van bekend waren slechts twee zoutminnende of zouttolerante plantensoorten aangetroffen. Over het algemeen is er sprake van een gesloten graszode met een dichte doorworteling (conform WBI2017). Alleen op een aantal kleine plekken waar de grasbekleding relatief

slecht ontwikkeld is als gevolg van uitval door verdroging is de grasbekleding visueel open en de doorworteling open tot soms fragmentarisch. Dit speelt met name op enkele delen van het binnentalud waar slechts een dunne toplaag aanwezig die bovendien op een onderlaag ligt die bestaat uit een zandsoort die op grof bouwzand lijkt. Dit zand zorgt voor extra uitdroging van de toplaag en voor een slechts zeer ondiepe dorworteling aangezien er voor de planten in dit type zand nauwelijks iets te halen is. Afhankelijk van de kans op belasting van deze plekken door golfoverslag kan dit een probleem zijn bij de veiligheidsbeoordeling van de dijk en maatregelen in het beheer of herstel van de toplaag noodzakelijk maken.

De gehele dijk, met uitzondering van 100 m binnentalud, is in mei 2021 gespoten met een chemisch bestrijdingsmiddel dat verschillende planten, i.e. kruiden, doodt. Tijdens het veldbezoek op 21 mei 2021 vertoonden vrijwel overal op de dijk de kruiden tekenen van gebruik van het agressieve groeimiddel. In vrijwel alle proefvakken is het soortenaantal in 2022 licht gedaald waardoor de soortenrijkdom op veel locaties is verschoven van matig soortenrijk naar soortenarm.

In 2018 bestond er enige zorg voor het voortbestaan van de grasbekleding als gevolg van de hoge temperaturen en de droogte. Ook in mei 2022 is er al verdroging geconstateerd, met name op de delen van de dijk waar Rood zwenkgras nog steeds de dominante grassoort is. Wanneer er ook in 2022 weer (grote) open plekken ontstaan in de grasbekleding als gevolg van de droogte komt de erosiebestendigheid in het stormseizoen in gevaar. Daarom is het aan te bevelen de ontwikkeling van de grasmat later in de zomer en in het najaar goed in de gaten te houden. Een veldbezoek in september kan hierover uitsluitsel geven.

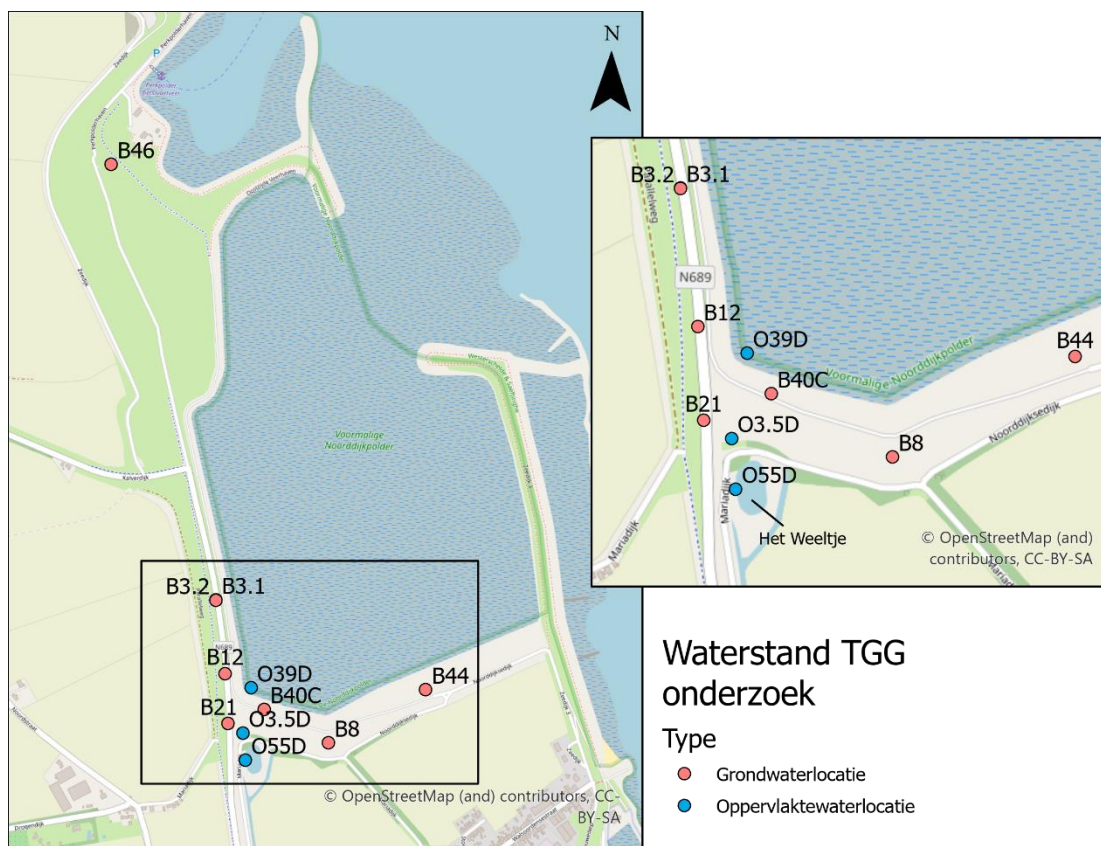
Er zijn geen bijzonderheden in de dijkvegetatie aangetroffen die duiden op een negatieve invloed van de thermisch gereinigde grond in de kern van de dijk.

7 Resultaten aanvullend onderzoek

7.1 Onderzoek naar waterstand TGG

7.1.1 Inleiding

In 2021 zijn op enkele locaties piëzometers uitgehangen om de waterstand te meten. Het doel van dit onderzoek was uitzoeken of in de dijk toegepaste TGG in contact komt met het aanwezige grondwater. Aanvullend zijn drie piëzometers uitgehangen in oppervlaktewater in het getijdegebied (O39D), het Weeltje (O55D) en kwelsloot (O3.5D) om te kijken naar fluctuaties in de waterhoogte. In Figuur 28 zijn de locaties van piëzometers weergegeven. In juli 2022 zijn de piëzometers uitgelezen en de data is geanalyseerd.



Figuur 28: Locaties van piëzometers, in groen de grondwaterlocaties en in blauw de oppervlaktewaterlocaties. Het zwarte vierkant is ingezoomd in de locaties in de zuidwesthoek van de dijk.

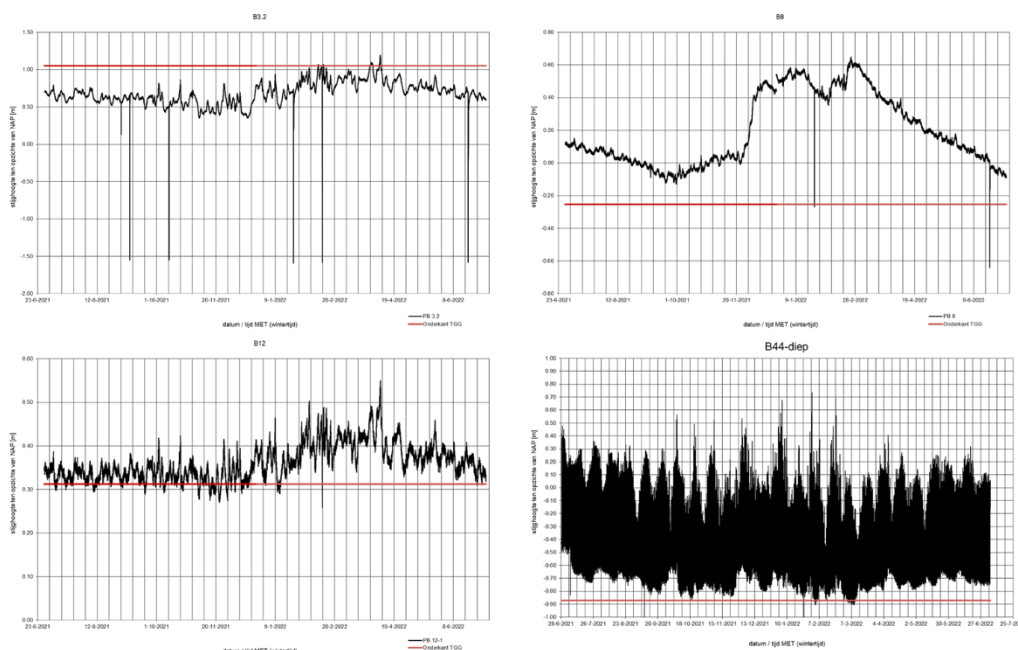
7.1.2 Resultaten

In totaal zijn 10 piëzometers uitgehangen op grondwaterlocaties. Zie Tabel 12 voor de locaties van piëzometers, de hoogte van TGG per locatie en of de TGG in contact komt met het grondwater. In Figuur 29 zijn de resultaten van het onderzoek naar de waterstand en de hoogte van de TGG weergegeven voor een viertal locaties. Daarnaast zijn drie piëzometers op oppervlaktewaterlocaties in het getijdegebied (O39D), Weeltje (O55D) en kwelsloot (O3.5D).

Tabel 8: Conclusies hoogte TGG tov grondwater

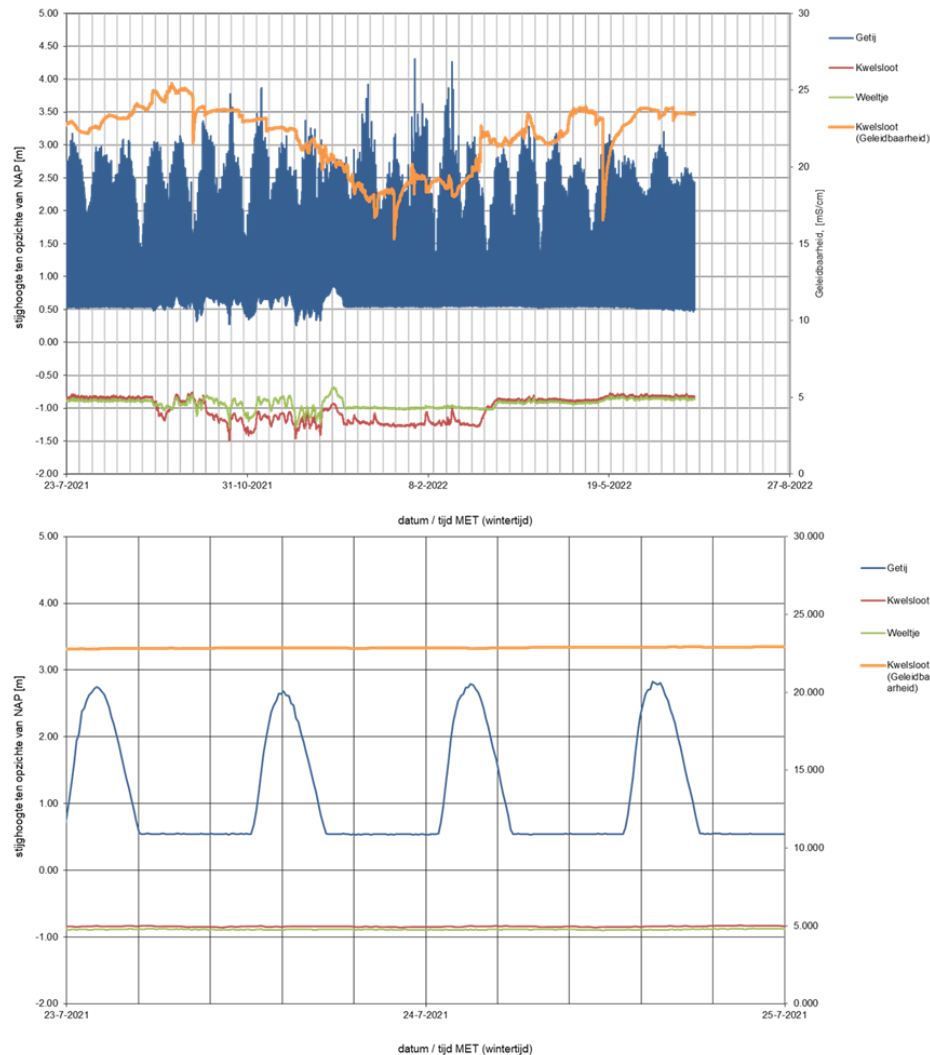
Locatie	Hoogte TGG t.o.v. NAP (m)	TGG in contact met grondwater
B3.1 (midden westelijke dijk)	1,07	Nee (peilbuis staat droog)
B3.2 (midden westelijke dijk)	1,05	Ja, sporadisch
B8 (westen zuidelijke dijk)	-0,25	Ja, altijd
B12 (zuiden westelijke dijk)	0,31	Ja, regelmatig
B21 (zuiden westelijke dijk)	1,10	Nee
B40A (westen zuidelijke dijk)	-1,34	Ja
B44 (oosten westelijke dijk)	-0,87	Ja
B47 (oosten westelijke dijk)	-1,12	Ja

Uit Tabel 8 en Figuur 29 blijkt dat op veel locaties de TGG af en toe in het water staat. Bij B44 is te zien dat de hogere waterdruk ondiep een indicatie is dat water afstroomt naar het diepere grondwater. Dat diepere grondwater staat in verbinding met de zandlagen onder het natuurgebied en zijn dus sterk onderhevig aan getij. Het ondiepere grondwater is dat verschijnsel veel minder en dat blijkt ook uit de metingen. Het verschil in gedrag is een indicatie (naast de bodem opbouw gegevens ter plekke) dat hier een waterremmende laag aanwezig is.



Figuur 29: Grondwaterstand en hoogte TGG op locaties B3.2, B8, B12 en B44 (16,2-17,2) (v.l.n.r.). De grondwaterstand is weergegeven in zwart, de hoogte van de TGG in rood.

Uit de metingen van piëzometers uitgehangen in het oppervlaktewater blijkt dat de kwelsloot en het Weeltje een vrij vergelijkbaar patroon volgen, waarin in de wintermaanden wat variatie te zien is (Figuur 30).



Figuur 30: Waterstand ter hoogte van het getijdegebied, de kwelsloot en het Weeltje.

In Bijlage C zijn de resultaten van alle locaties (grondwater en oppervlaktewater) weergegeven.

7.1.3 Conclusie

Uit het uitgevoerde onderzoek naar de waterstand op locaties waar TGG is toegepast blijkt dat de TGG op veel plekken aan de onderkant onder water staat. De getijbeweging in die onderkant is echter beperkt, waardoor dit grensvlak niet 2 maal per dag geïnundeerd wordt. Waar bij de ondiepe meetlocaties geen effect van het getij wordt gezien wordt dat bij de diepere locaties wel waargenomen. De observatie is van belang omdat juist waar de TGG gedeeltelijk in het water staat meer uitloging van daarin aanwezige stoffen zal plaatsvinden.

8 Aanbevelingen

Deze rapportage beschrijft de resultaten van de monitoring in 2022. Deze kunnen niet los worden gezien van eerdere metingen, en daarom worden die in de resultaten waar mogelijk meegenomen. In de Eindrapportage (2024) wordt een trendrapportage opgenomen waarin uitgebreider ingegaan op de verschillende trends die waargenomen worden in het gebied rondom de nieuwe zeedijk bij Perkpolder.

In 2023 is het laatste reguliere monitoringsjaar, en in 2024 is een ingreep gepland, met sterke effecten op de hydrologie. De aanbevelingen richten zich dan ook op de periode tot de ingreep en de periode daarna.

- De ontwikkeling van de grasmat is positief, maar het is belangrijk om de ontwikkeling te blijven monitoren in 2023. Het maaibeheer en vermindering van bestrijdingsmiddelen biedt kansen om tot een hogere biodiversiteit en daarmee ook robuustere grasbekleding te komen
- Het is belangrijk vinger aan de pols te houden langs de gehele zuidelijke dijk. Hier worden verhoogde waarden in het oppervlaktewater aangetroffen van bromide, wat wijst op beïnvloeding (hoewel deze stof op zichzelf in deze omgeving niet verstorend is). Datzelfde geldt voor de stijgend bromide-chloride verhouding langs de westelijke dijk in het grondwater.
- Arseengehaltes langs de kwelsloot, maar ook (en daaraan niet volledig te relateren) waarden benedenstrooms kunnen gelinkt zijn aan de ingreep en mogelijk aan uitloging uit de TGG. Het is van belang om hier het mechanisme voor helder te krijgen. Daarvoor worden de volgende aanbevelingen gedaan:
 - Om onderscheid te maken tussen effecten van mobilisatie als gevolg van de TGG en mobilisatie als gevolg van de (rest van de effecten van) de ingreep kan ook gemonitord worden langs de oostelijke zijde van de zuidelijke dijk. Daar is immers geen TGG toegepast (maar wel extractief gereinigd zand). Er is al een meetpunt aanwezig met peilfilters op 2 dieptes (B10).
 - Om het effect van arseen goed in beeld te krijgen kan analyse van het poriewater, en een uitbreiding van het reguliere monitoringspakket met ijzer, bijdragen. Geadviseerd wordt beide in de monitoring mee te nemen.
- Gezien de trend van verhoogde waarden van arseen op diverse locaties is het van belang de monitoring ook na de ingreep door te zetten. Het meetnet kan daarvoor als basis dienen. Het aantal analyses kan worden teruggebracht om te focussen op die stoffen die daadwerkelijk worden aangetroffen. Het gaat dan met name om zware metalen.

9 Referenties

- BRL2000. (2013). *Beoordelingsrichtlijn Veldwerk bij milieuhygiënisch bodem- en waterbodemonderzoek*. SIKB, versie 5, 12 december 2013.
- BRL2002. (2013). *Protocol Het nemen van Grondwatermonsters*, SIKB. versie 4, 12 december 2013.
- Centre of Expertise Delta Technology (COE). (2019). *Perkpolder Tidal Restoration*. Circulaire Bodemsanering. (2013). 1 juli 2013.
- Deltares. (2014). 1209989-000-GEO-0003. *Thermisch gereinigde grond Natuurcompensatie Perkpolder*.
- Deltares. (2016). 1220438-000-GEO-0012. *Analyse TGG Perkpolder. Eindrapportage*.
- Deltares. (2016a). *Metingen grondwatersysteem Perkpolder en werking kwelvoorziening - rapportage meetjaren 2014 en 2015*. Rapport, 1210613-000-BGS-00 15, definitief, 25 januari 2016, 45 bladzijden.
- Deltares. (2019). 11200482-000-GEO-0022 *Onderzoek naar effecten aanwezigheid van TGG in dijken van de Perkpolder. Eindrapportage*.
- Deltares. (2019a). 11200482-013-GEO-0002. *Grondwateronderzoek primaire kering Perkpolder. Bijlagerapport A bij Eindrapportage TGG in dijken Perkpolder*.
- Deltares. (2019b). 11200482-000-GEO-0015. *Milieuchemische analyses Perkpolder, Bijlagerapport B bij Eindrapportage TGG Perkpolder*.
- Deltares. (2019c). 11200482-000-GEO-0008. *Onderzoeksresultaten geotechnische analyses TGG-materiaal Perkpolder. Bijlagerapport C bij Eindrapportage TGG Perkpolder*.
- Deltares. (2020). 11203217-005-BGS-0002. *Vervolgmonitoring Perkpolder. Plan van Aanpak*.
- Deltares. (2021). 11203217-005-BGS-0004. *Jaarrapportage Perkpolder 2020*. Deltares.
- Deltares. (2022). 11203217-000-BGS-0014. *Jaarrapportage Perkpolder 2021*. Deltares.
- Edinsi. (2022). *Uitloogbaarheid van extractief gereinigd zand in de waterkering Perkpolder*.
- Fugro. (2012). *Geotechnisch onderzoek betreffende Natuurcompensatie Perkpolder, ref. 6011-0232-001*.
- Grontmij. (2008). *Milieukundig- en geotechnisch grondonderzoek Perkpolder*. Rapport, 13/99083862?VC, revisie D1, 20 maart 2008, 61 bladzijden.
- ILT. (2017). *Wettelijk Beoordelings Instrumentarium 2017 Handboek voor de toezichthouder*.
- Kramer, M. G. (2008). *Ontwerpnote Natuurcompensatie Perkpolder (NCP)*. Opgehaald van https://www.projectenportfolio.nl/images/a/a1/Bind_2_-_Ontwerpnote_Natuurcompensatie_Perkpolder_Com_1.0.pdf
- Magazinovic RS, N. B. (2004). Bromide levels in natural waters: its relationship to levels. *Chemosphere*, 329–335.
- NEN. (2019). *NEN 6600-2:2019. Water - Sampling - Part 2: Surface water*.
- Rijksoverheid. (2009). *Besluit kwaliteitseisen en monitoring water 2009*. laatst gewijzigd 2017.
- Rijksoverheid. (2010). *Regeling monitoring kaderrichtlijn water*. laatst gewijzigd 2015.
- Rijksoverheid. (2021). *Handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie (versie december 2021)*.
- Rijkswaterstaat. (2019). *Toelichting op de zoute ecotopenkaart Westerschelde 2018*.
- RIVM. (2008). *J. Spijker. Arseen in Nederlands grondwater. Oorzaak van verhoogde arseenconcentraties. Briefrapport. 607300009/2008*.
- RIVM. (2018). *Risicobeoordeling van het gebruik van thermisch gereinigde grond in Perkpolder (Zeeland)*. doi:10.21945/RIVM-2018-0063
- RIVM. (2018a). *Rapport 2018-0063. Risicobeoordeling van het gebruik van thermisch gereinigde grond in Perkpolder (Zeeland)*. doi:10.21945/RIVM-2018-0063
- RIVM. (2020). *Indicatieve niveaus voor ernstige bodem- en grondwaterverontreiniging (INEV's) voor de stoffen PFOS, PFOA en GenX*.

- RIVM. (2020b). *Tijdelijk handelingskader voor hergebruik van PFAS-houdende grond en baggerspecie*.
- RIVM. (2021). *Briefrapport 2021-0168. Toepassing van thermisch gereinigde grond. Een evaluatie en opties voor een toepassingskader*. Bilthoven: RIVM.
- RIVM. (2022a). *Rapport 2022-0037. Zicht op de zeedijk - Belevingsonderzoek Zeedijk in Perkpolder*.
- RIVM. (2022b). *Rapport 2022-0079. Risicoschatting TGG voor de omgeving van de zeedijk Perkpolder (Zeeland). Evaluatie 2021*.
- RIVM. (2022c). *Risicogrenzen voor PFAS in oppervlaktewater - Doorvertaling van de gezondheidkundige*. RIVM.
- Royal Haskoning DHV. (2022a). *Rapport BH7547-MI-RP-220428-1557. Milieurendementsonderzoek TGG - Conceptueel model (samenvattend hoofdrapport)*.
- Royal Haskoning DHV. (2022b). *Rapport BH7547-IB-RP-220404-2202. Milieurendementsonderzoek TGG - Uitwerking maatregelen*.
- Stuyfzand, P. (1992). Sporenelementen in grondwater in Nederland, deel 2. *H2O*, 20-25.
- Van Oord. (2014). *154425-TEK-UO-0065.02-001 UO. Uitvoeringsontwerp. Natuurcompensatie Perkpolder*.
- Waterschap Scheldestromen. (2016). *Hydrologisch onderzoeksrapport Campen, rapport 016031239*.

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