

**Onderzoek naar effecten
aanwezigheid van TGG in
dijken van de Perkpolder**

Eindrapportage



Onderzoek naar effecten aanwezigheid van TGG in dijken van de Perkpolder

Eindrapportage

Wouter van der Star
Gemma Spaak
Perry de Louw
Michiel van der Ruyt

Titel

Onderzoek naar effecten aanwezigheid van TGG in dijken van de Perkpolder

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat PPO	11200482-000	11200482-000-GEO-0022	60

Trefwoorden

Thermisch Gereinigde Grond, Perkpolder

Samenvatting

In de nieuwe zeedijk bij Oostelijk-Perkpolder is Thermisch Gereinigde Grond (TGG) gebruikt. Rijkswaterstaat heeft Deltares gevraagd onderzoek te doen naar de effecten van het gebruik van TGG op deze locatie.

Thermisch Gereinigde Grond is grond die verhit is om organische verontreinigingen te verwijderen. Na reiniging kan TGG worden toegepast als ophoogmateriaal. In de Perkpolder is TGG toegepast in de kern van enkele dijkvakken. In een (verkennd en aanvullend) onderzoek zijn boringen in de TGG uitgevoerd, is de TGG bemonsterd en gekarakteriseerd. Dat is ook gedaan voor de grond en het grond- en oppervlaktewater in de directe omgeving van de TGG. Tijdens het verkennend onderzoek heeft de opdrachtgever 'handgeboorde' monsters genomen uit de TGG en vier emmers met resterende TGG beschikbaar gesteld. De resultaten namen de zorgen met betrekking tot de geotechnische eigenschappen niet weg en daarom is een aanvullend onderzoek uitgevoerd.

De stroming van het grondwater is in kaart gebracht door interpretatie van gemeten (ondiepe en diepe) grondwaterstanden. De stoffen die in de TGG zijn aangetroffen, zijn op een rij gezet. De mogelijke effecten, die zijn te verwachten in de omgeving, zijn vastgesteld door gebruik te maken van de benadering volgens het concept van "bron-pad-kwetsbaar object". De analyse is daarmee gebaseerd op de lokale situatie. Daardoor, en doordat de samenstelling van TGG varieert, kunnen op basis van de resultaten in de Perkpolder geen generaliserende conclusies getrokken worden over het toepassen van TGG.

De TGG die is toegepast in Perkpolder, bevat vergeleken met grond uit de omgeving, hoge gehalten aan sulfaat, bromide en diverse zware metalen, en heeft ook een hoge pH. Bovendien zijn vluchtige oplosmiddelen aangetroffen die eigenlijk niet te verwachten zijn na thermische reiniging van verontreinigde grond. Tot slot zijn diverse niet genormeerde stoffen aangetroffen die vallen onder de verzamelnaam PFAS (Per- en PolyFluorAlkyl Stoffen). Op grond van de gemeten gehalten kan worden vastgesteld dat de TGG gevarieerd van samenstelling is. Het gehalte aan sulfaat en bromide varieerde tussen verschillende monsters met een factor vier.

Vanuit geotechnisch oogpunt is de TGG die in dijk Perkpolder is toegepast, goed geschikt als kernmateriaal. In de uitgevoerde boringen in de TGG is geen verkitting van deeltjes waargenomen (wat bij zeer hoge pH kan optreden). Wel bestaat het materiaal uit een mengsel van grof materiaal en een fijne fractie. De aanwezigheid van de TGG als kernmateriaal in de dijk heeft uit oogpunt van waterveiligheid dus geen nadelig effect. De standzekerheid van de dijken in Perkpolder waarin TGG is toegepast is dan ook gewaarborgd.

Titel

Onderzoek naar effecten aanwezigheid van TGG in dijken van de Perkpolder

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat PPO	11200482-000	11200482-000-GEO-0022	60

In de Deelgebieden¹ A en C heeft onderzoek naar de top laag plaatsgevonden. Het onderzoek in Deelgebied D (nabij de voormalige Veerhaven) moet nog plaatsvinden. De top laag die aanwezig is bovenop de TGG bestaat uit een goed afdekkende kleilaag. In de Deelgebieden A en C voldoet deze kleilaag aan de vereiste minimale dikte van 0,50 m uit het besluit bodemkwaliteit (Bbk). De dek laag is voorzien van een graszode. Inspectie laat zien dat sprake is van een gesloten graszode. De afdek laag en de graszode voldoen aan de eisen die aan een dergelijke laag gesteld worden vanuit het wettelijke beoordelingsinstrumentarium voor primaire waterkeringen (WBI2017). Wel heeft de droogte gedurende de zomer van 2018 voor schade aan de graszode gezorgd. Binnen het reguliere beheer en onderhoud van de dijk dient dat te worden aangepakt; bijvoorbeeld door bij te zaaien.

Zeven monitoringsronden van grondwater en daarin aanwezige stoffen zijn uitgevoerd. Voor iedere ronde is het grondwater in de ondergrond van de dijk bemonsterd en geanalyseerd. In het grondwater zijn veel stoffen niet aangetroffen, niet aangetoond of slechts in geringe gehalten. Deze geringe gehalten vallen dan binnen de norm die geldt voor duurzaam bodemgebruik. Uitspoeling van stoffen die aanwezig zijn in de TGG, treedt op naar het grondwater in het zand direct gelegen onder de TGG, naar de binnendijs gelegen zoute kwelsloot en naar het buitendijs gelegen natuurgebied.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat de TGG, in vergelijking met de omgeving, verhoogde waarden bevat aan diverse zware metalen, sulfaat en bromide. Daarbij wordt de interventiewaarde overschreden voor chroom (eenmaal), nikkel (tweemaal) en zink (eenmaal), en de maximumwaarde voor (bodembebruiks)Klasse Industrie voor arseen (eenmaal) en vanadium (eenmaal). Bovendien is de pH (een maat voor de zuurgraad) hoger dan in de omgeving. Deze waarden zijn vastgesteld in steekmonsters genomen uit de TGG. Ook worden meetbare concentraties van diverse vluchtige organische verbindingen aangetroffen in de TGG zonder dat de maximumwaarden voor een grootschalige bodemtoepassing (GBT) worden overschreden. De TGG in de uitgevoerde boringen, bevindt zich grotendeels boven het grondwaterniveau. In veel gevallen blijkt een klei-, veenlaag onder de TGG aanwezig te zijn.

In het grondwater van de directe omgeving van de TGG zijn enkele stoffen aangetroffen boven de interventiewaarde. Het effect van deze aanwezigheid is echter beperkt. De afdek laag zorgt dat er geen contact mogelijk is met de TGG. Het ondiepe grondwater stroomt in de richting van de kwelsloot. In de kwelsloot mengt dit water zich met zout water afkomstig van de verticale drainagebuizen van de kwelvoorziening. Gezien de debieten, wordt de samenstelling van het water in de kwelsloot in sterke mate bepaald door de samenstelling van het drainagewater. Kijkende naar de gemeten concentraties van de beter oplosbare stoffen zoals sulfaat en bromide in de kwelsloot, is dan ook geen verhoging in het water van de kwelsloot waar te nemen door de aanwezigheid van de TGG.

In het verleden is een kwelvoorziening aangebracht om te garanderen dat zout grondwater niet in het landbouwgebied terecht komt. De kwelvoorziening bestaat uit verticale drainagebuizen en een kwelsloot. Verspreiding van stoffen uit de TGG naar het landbouwgebied is dan ook niet waargenomen. Bovendien is een dergelijke verspreiding niet erg waarschijnlijk omdat het

¹ Zie Figuur 2.2 voor de ligging van deze deelgebieden.

Titel

Onderzoek naar effecten aanwezigheid van TGG in dijken van de Perkpolder

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat PPO	11200482-000	11200482-000-GEO-0022	60

zoute grondwater onder de dijk niet mengt met het zoete grondwater in de ondergrond van het landbouwgebied. De verspreiding van stoffen afkomstig van de TGG is dan ook beperkt tot de kwelsloot. Ook wordt dit zoute grondwater voortijdig afgevangen in de kwelvoorziening die aanwezig is in Deelgebied A en Deelgebied C. Bij Deelgebied D geldt dat de TGG aan de bovenzijde is afgedekt met een laag breuksteen. Deze laag is vol en zat gepenetreerd met gietasfalt waardoor infiltratie van regenwater naar de TGG belemmerd wordt.

In het grondwater van de directe omgeving van de TGG zijn enkele stoffen aangetroffen boven de interventiewaarde. Het effect van deze aanwezigheid is echter beperkt. De afdeklaag zorgt dat er geen contact mogelijk is met de TGG. Het ondiepe grondwater stroomt in de richting van de kwelsloot. In de kwelsloot mengt dit water zich met zout drainagewater afkomstig van de kwelvoorziening. Gezien de debieten, wordt de samenstelling van het water in de kwelsloot in sterke mate bepaald door de samenstelling van het drainagewater. Kijkende naar de gemeten concentraties van de beter oplosbare stoffen zoals sulfaat en bromide in de kwelsloot, is geen verhoging in het water van de kwelsloot waar genomen door de aanwezigheid van de TGG. In de laatste twee monitoringsronden is voor arseen een meetbaar gehalte aangetroffen. Het wordt dan ook aanbevolen om de ontwikkeling van arseen te monitoren.

Aanbevolen wordt om onderzoek uit te voeren naar de toplaag van Deelgebied D, nabij de voormalige veerhaven. Nabij de kwelsloot is arseen boven de interventiewaarde waargenomen in de laatste twee meetronden. Het is daarom van belang de ontwikkeling van arseen nabij de kwelsloot en het natuurgebied te blijven volgen. Een belangrijke locatie van aandacht is B8 (Deelgebied A). In boring B8 is namelijk TGG waargenomen terwijl dat niet verwacht werd. Deze TGG ligt op zand en dus kan een eventuele verontreiniging zich snel verplaatsen. Het verdient aanbeveling op deze locatie aanvullende meetlocaties in te richten.

Referenties

RWS Zaaknummer 31126220

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
3	april 2019	dr.ir. W.R.L. van der Star dr. G. Spaak dr. P.G.B. de Louw ir. M. van der Ruyt		dr.ir. G.A.M. van Meurs		ir. L. Voogt dr. H. Passier	

Status

definitief

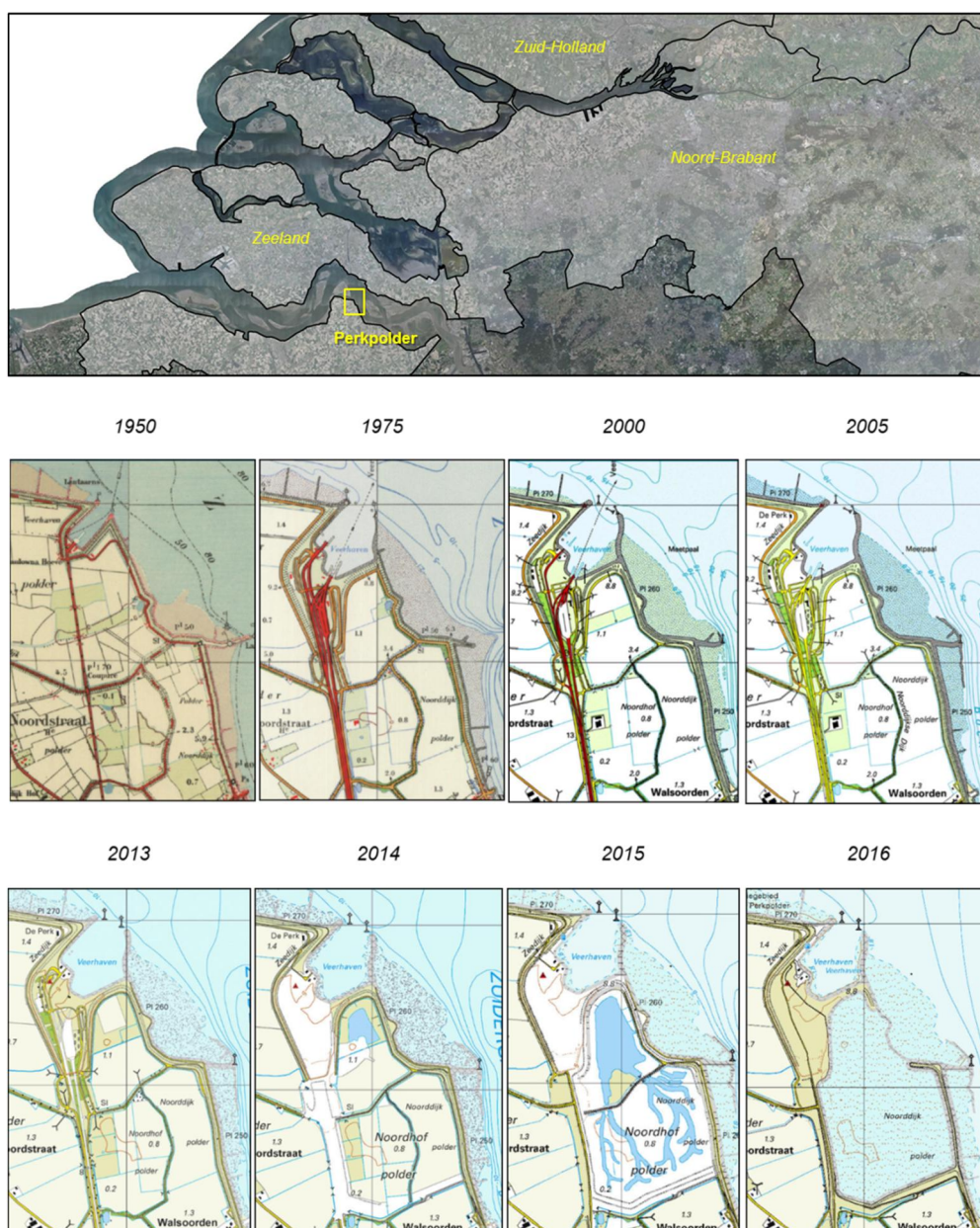
Inhoud

1 Aanleiding en doel onderzoek	1
1.1 Opzet rapportage	5
1.2 Tijdslijn onderzoeken en werkzaamheden	6
2 Aanpak van het onderzoek	7
2.1 Omstandigheden in het gebied	7
2.2 Onderdelen van het onderzoek	8
2.3 Onderzoeksvragen	8
2.3.1 Milieuchemische en geohydrologische vragen	9
2.3.2 Geotechnische vragen	10
2.4 Onderzoeklocaties	11
3 Gebiedsbeschrijving	16
3.1 Bodemopbouw	16
3.2 Stoffen die in de omgeving zijn aangetroffen - historie	16
3.3 Kwelvoorziening	17
3.4 Geohydrologisch onderzoek 2018	21
3.4.1 Metingen stijghoogte	22
3.4.2 Grondwaterstroming in het gebied	23
4 Onderzoeksresultaten TGG en milieu	25
4.1 Inleiding	25
4.2 Stoffen die zijn aangetroffen in de TGG en in de ondergrond	25
4.3 Juridisch kader en toetsing	25
4.3.1 Bepaling en toetsing	28
4.3.2 Beoordelingsmethodiek	28
4.4 Stoffen met verhoogde gehalten in TGG, grond of grondwater	28
4.4.1 Anionen	28
4.4.2 Metalen	29
4.4.3 Organische verontreinigingen	31
4.4.4 Andere parameters	34
4.5 Kwaliteit en dikte van de afdeklaag met grasbekleding	34
4.5.1 Zoutgehalte en anionen	35
4.5.2 Milieukundige beoordeling	35
4.6 Uitloogbaarheid van stoffen die zijn aangetroffen in de TGG	36
4.7 Stoffen die aangetroffen zijn in grond- en oppervlaktewater	37
4.7.1 Gehaltes in grond (inclusief TGG)	37
4.7.2 Grondwaterkwaliteit	37
4.7.3 Oppervlaktewater van de kwelsloot	38
4.8 Effecten op de omgeving	39
5 Onderzoeksresultaten TGG en constructie dijk	40
5.1 Inleiding	40
5.1.1 Onderzoeksvragen met betrekking tot de geotechnische aspecten	40
5.2 Locaties en analyses	40
5.2.1 Bemonstering verkennend onderzoek	40
5.2.2 Nieuwe bemonstering in 2017/2018	41

5.2.3	Uitgevoerde proeven in 2015/2016	41
5.2.4	Uitgevoerde proeven in 2017/2018	41
5.3	Resultaten geotechnisch onderzoek	42
5.3.1	Korrelverdelingen	42
5.3.2	Triaxiaalproeven	45
5.3.3	Doorlatendheid	46
5.3.4	Organisch-stofgehalte, gloeiverlies, kalkgehalte (CaCO ₃),	47
5.3.5	Korrelvorm, Afronding en Sortering (KAS) onderzoek	49
5.3.6	Volumieke massa vaste gronddelen	49
5.4	Interpretaties en conclusies geotechnisch onderzoek	49
5.5	Resultaten geofysisch onderzoek	51
5.5.1	Onderzoeksvragen	52
5.5.2	Conclusies	53
6	Conclusies en Aanbevelingen	55
6.1	Conclusies	55
6.1.1	Algemeen	55
6.1.2	Milieuchemisch gedrag TGG Perkpolder	55
6.1.3	Geotechnisch gedrag TGG Perkpolder	56
6.2	Aanbevelingen	56
6.2.1	Maatregelen milieuchemisch	56
6.2.2	Milieuchemische monitoring	57
6.2.3	Geotechnische monitoring	57
7	Referenties	59
	Bijlage(n)	
A	Bodemopbouw en geohydrologie	A-1
B	Milieukundige en milieuchemische aspecten	B-1
C	Geotechnische aspecten	C-1

1 Aanleiding en doel onderzoek

In het project Natuurcompensatie Perkpolder is een getijdengebied ingericht in de Oostelijke Perkpolder, gelegen in de gemeente Hulst (Zeeuws-Vlaanderen). Voor de herinrichting van het gebied is de zeedijk binnenwaarts verplaatst. Verplaatsing van de zeedijk 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 getijdengebied in werking getreden (Figuur 1.1). In deze figuur staat de ontwikkeling van het gebied weergegeven gedurende de periode 1950 tot 2016.



Figuur 1.1 Locatie en kaarten van Perkpolder voor de periode 1950-2016 (overgenomen van <http://topotijdreis.nl/>). Het satellietbeeld is afkomstig van <https://satellietdataportaal.nl/>

In een deel van deze nieuwe zeedijk is in de kern thermisch gereinigde grond² (TGG) gebruikt. De TGG is afgedekt met een laag klei; de toplaag. Deze klei is vrijgekomen tijdens de realisatie van het natuurgebied. De toplaag is voorzien van een graszode.

De TGG is geleverd onder een productcertificaat conform BRL9335-2 (SIKB, 2014). Een productcertificaat is een erkend bewijsmiddel vallende onder het Besluit bodemkwaliteit (Bbk). Het Bbk is het wettelijke kader voor de toepassing en hergebruik van grond, baggerspecie en bouwstoffen. TGG wordt binnen het Bbk aangemerkt als 'grond'³. Het product is afkomstig van de ATM⁴. Het productcertificaat is afgegeven door SGS-Intron⁵ voor de toepassing van TGG als ophooggrond. Het productcertificaat maakte het mogelijk om de TGG onder de werking van het Bbk als ophoogmateriaal in de nieuwe dijk toe te passen. Naast de milieukundige beoordeling zijn bovendien geotechnische analyses op het materiaal uitgevoerd door het bedrijf Fugro. Het ontwerp van de dijk is gebaseerd op deze geotechnische analyses.

Op andere locaties dan Perkpolder is in het verleden verkitting van TGG vastgesteld. Verkitting heeft invloed op de constructieve eigenschappen en dus heeft Rijkswaterstaat (RWS) na aanleg van de dijk verkennend onderzoek laten uitvoeren in het kader van de zorgplicht om de constructieve eigenschappen van de aangelegde dijk te controleren. Deltares heeft dit verkennend onderzoek uitgevoerd in 2015 en gerapporteerd in 2016 (Deltares, 2016b). Het onderzoek is uitgevoerd op het resterend materiaal⁶. Het resultaat liet een hoge pH van de grond zien; de pH drukt de zuurgraad van de grond uit. In de TGG zijn ook ongebluste kalk en sulfaat aangetroffen in een verhoogde concentratie vergeleken met gewone grond. Bovendien zijn diverse PAKs (naftaleen, fluoranteen en fenantreen) aangetroffen in meetbare gehalten (0,07-0,09 mg/kg), terwijl de verwachting was dat deze door de thermische reiniging zouden zijn verwijderd.

De bevindingen van het verkennende onderzoek hebben de zorg rond de constructieve eigenschappen van TGG derhalve niet weggenomen, mede gegeven het beperkte aantal monsters en de wijze waarop de monsters tot stand gekomen zijn. Niet uitgesloten kon worden dat verkitting van de toegepaste TGG zou optreden. Optreden van verkitting zou ertoe kunnen leiden dat de constructieve eigenschappen van de kern van de dijk Perkpolder sterk zouden gaan afwijken van eigenschappen van dijkkernen bestaande uit zand. Afwijkende eigenschappen zouden weer van invloed kunnen zijn op de waterveiligheid die de dijk biedt en daarom is aanvullend onderzoek uitgevoerd op het gebied van geotechnische eigenschappen, met als hoofdvraag "voldoet de TGG als constructiemateriaal" en naar milieu-hygiënische effecten, met als hoofdvraag "spoelen er stoffen uit naar de omgeving" en heeft blootstelling plaatsgevonden tijdens de aanleg.

² 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.

³ In de Nota van Toelichting bij het Besluit bodemkwaliteit (Bbk, 2007) staat over gereinigde grond: "Gereinigde grond betreft grond die wordt ontdaan van zijn verontreinigingen en is na die behandeling uiteraard gewoon nog grond".

⁴ ATM staat voor Afval Terminal Moerdijk, de producent van de TGG.

⁵ SGS-Intron is een erkende certificeringsinstelling.

⁶ Er was nog materiaal over en beschikbaar gesteld voor nader onderzoek.

In opdracht van RWS heeft Deltares werkzaamheden verricht betreffende de eerste twee aspecten. Het RIVM heeft in opdracht van RWS onderzoek uitgevoerd naar de gezondheidsrisico's van de omwonenden. RIVM heeft daarbij onder andere gebruik gemaakt van onderdelen uit de eerste bevindingen van het milieukundig onderzoek van Deltares⁷.

⁷ *Op grond van de op dat moment bekende meetgegevens, heeft het RIVM daarover in 2018 gerapporteerd (RIVM, 2018).*

Thermisch gereinigde grond (TGG)

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

Principe van de techniek⁸

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 evenwichtsdampspanning van de verontreinigende stof hoger is dan één atmosfeer. In de praktijk wordt de verdamping gerealiseerd bij atmosferische druk. Indien de evenwichtsdampspanning 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 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.

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>.

Voorgaand onderzoek TGG van ATM

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

Uit het TNO-onderzoek kan wel geconcludeerd worden dat voor de geanalyseerde monsters de kans op overschrijding van de streefwaarde⁹ sterk varieert, en dat de stoffen met de grootste overschrijdingskans, kobalt, vanadium en barium zijn. Qua uitloging is er een grote overschrijdingskans van de emissiewaarde geconstateerd voor antimoon, molybdeen, fluoride en sulfaat. Aangezien het mogelijk is dat ATM haar procesvoering sinds 2005 heeft gewijzigd (of andere typen grond inneemt), is dit onderzoek slechts een indicatie van de te verwachten parameters met een verhoogde overschrijdingskans.

⁸ Overgenomen van <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d2-thermische-reiniging/factsheet-thermische-reiniging-grond>.

⁹ De streefwaarde is afkomstig uit de *Circulaire Bodemsanering* (Staatscourant, 2013), maar wordt voor grond sinds de invoering van het Besluit Bodemkwaliteit niet meer gehanteerd.

Teerhoudend asfaltgranulaat (TAG)¹⁰

Asfaltgranulaat wordt verkregen door het breken van asfaltpuin (verkregen bij de sloop van bitumineuze verhardingen) of door het frezen van bitumineuze wegverhardingen of dijkbekledingen. Indien asfaltgranulaat meer dan 75 mg/kg PAK-10 (VROM)¹¹ bevat is er, op grond van Besluit bodemkwaliteit (Bbk; zie ook [Beleidsblad Besluit bodemkwaliteit (grondstromen)]), sprake van teerhoudend asfaltgranulaat (TAG). Teerhoudend asfaltgranulaat mag sinds 2001 niet meer worden toegepast en volgens het Besluit Bodemkwaliteit ook niet worden hergebruikt, waardoor thermische reiniging noodzakelijk is.

TAG is relevant voor de bij Perkpolder aangelegde dijk, aangezien er aanwijzingen zijn, dat gereinigde TAG in het toegepast materiaal terecht is gekomen.

Verder informatie over TAG kan geraadpleegd worden op:

<https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/asfalt-beton-teerhoudend-99381>.

1.1 Opzet rapportage

In deze eindrapportage worden de resultaten van de werkzaamheden besproken die zijn uitgevoerd door Deltares en die betrekking hebben op de geohydrologische, de milieukundige en geotechnische aspecten. Voor elk van deze aspecten is een apart bijlagerapport opgesteld:

- Bijlagerapport A: geohydrologische aspecten.
- Bijlagerapport B: milieukundige aspecten.
- Bijlagerapport C: geotechnische aspecten.

Het gaat daarbij onder andere over de resultaten van onderzoek naar de samenstelling van de TGG, de ondergrond, de afdekkende kleilaag, de grondwaterstroming, de uitloogbaarheid van de TGG en de samenstelling van grond- en oppervlaktewater. Bovendien is ingegaan op de effecten van de aanwezigheid van de TGG op de omgeving.

¹⁰ Informatie overgenomen van <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/asfalt-beton-teerhoudend-99381>.

¹¹ Dit is de som van tien polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs): naftaleen, antraceen, fenantreen, fluoranteen, benzo(a)antraceen, chryseen, benzo(k)fluoranteen, benzo(a)pyreen, benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3 cd)pyreen.

1.2 Tijdslijn onderzoeken en werkzaamheden

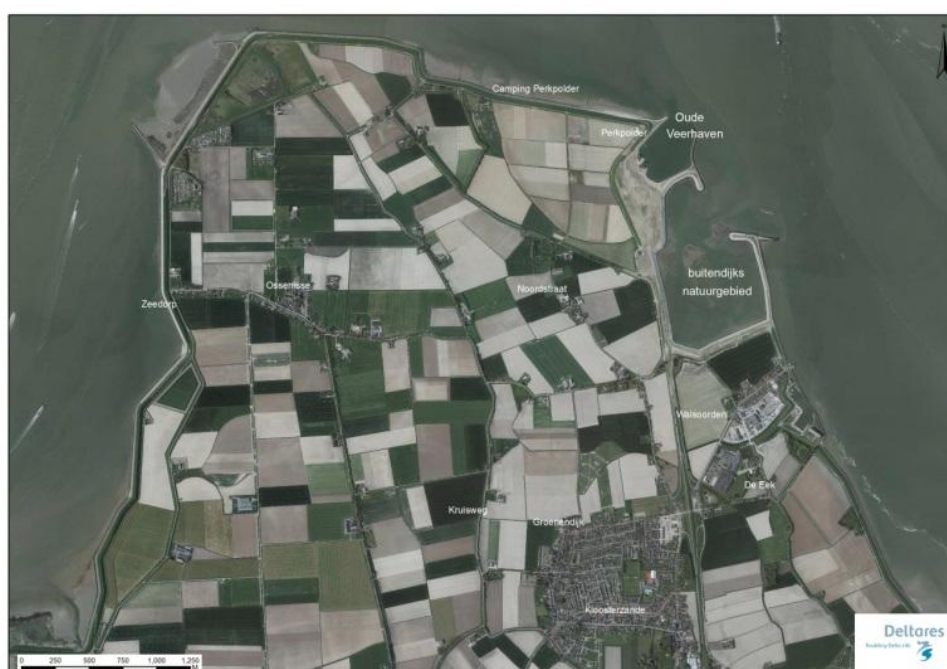
Bij de analyse is niet alleen het uitgevoerde onderzoek gedurende de afgelopen twee jaar van belang. Ook eerder uitgevoerd onderzoek, eerder genomen maatregelen en eerder uitgevoerde werkzaamheden zijn van belang. Een tijdslijn van al deze activiteiten staat hieronder weergegeven.

2011	Een nulmeting is uitgevoerd voor karakteriseren grondwatersysteem.
~ 2011	Het kwelsysteem is aangelegd voor behoud zoetwater voor de landbouw.
2011-2014	Monitoring naar de kwaliteit van het grondwater is uitgevoerd.
2015	De nieuwe zeedijk langs het natuurgebied is aangelegd.
2015	De oude zeedijk als buitengrens van het natuurgebied is afgegraven.
2015	Verkennd onderzoek naar TGG Perkpolder is uitgevoerd (Deltares, 2016b)
2017-2018	Een risicobeoordeling is opgesteld (RIVM, 2018)
2017	Uitvoering van aanvullend geotechnisch onderzoek
2017-2018	Plaatsing van extra peilbuizen en nemen van extra grondmonsters
2017-2018	Uitvoeren van uitloogbaarheidsproeven in het laboratorium
2017-2018	Onderzoek is uitgevoerd naar de samenstelling van TGG afkomstig uit de zeedijk
2017-2018	Monitoring van grondwater voor vaststellen grondwaterstroming
2017-2018	Bemonstering grondwater voor analyse naar chemische samenstelling
2018	Verkennd bodemonderzoek van de toplaag op de zeedijk als afdekking TGG

2 Aanpak van het onderzoek

2.1 Omstandigheden in het gebied

Het gebied bestaat uit de oude veerhaven voor 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 2.1).



Figuur 2.1 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 met een kleilaag conform de richtlijnen die horen bij een grootschalige bodemtoepassing (GBT). De dijkvakken waarin TGG is toegepast, liggen in Deelgebied A, Deelgebied C en Deelgebied D (Figuur 2.2). Deelgebied B is afgegraven om het natuurgebied in contact te brengen met de Westerschelde.



Figuur 2.2 Dijkvakken waarin TGG is toegepast, liggen in de Deelgebieden A, C en D. Deelgebied B betreft de voormalige zeedijk die bij de ontpoldering is verwijderd

2.2 Onderdelen van het onderzoek

Het onderzoek is gefaseerd opgezet omdat aanvankelijk onvoldoende informatie beschikbaar was om het onderzoek als één geheel uit te voeren. De opzet van het onderzoek bestaat totaal uit negen onderdelen. Het gaat daarbij om het vaststellen van:

1. Omstandigheden in het gebied en de bodemopbouw.
2. Stoffen die zijn aangetroffen in de omgeving – historie (vòòr aanleg van de dijk).
3. Grondwaterstroming.
4. Stoffen die zijn aangetroffen in de TGG, de toplaag en de ondergrond.
5. Uitspoeling van stoffen die zijn aangetroffen in de TGG.
6. Stoffen die zijn aangetroffen in het grondwater en het oppervlaktewater (de kwelsloot en het natuurgebied).
7. Stoffen die zijn aangetroffen in de afdekkende kleilaag gelegen boven de TGG.
8. Geotechnische aspecten.
9. De effecten van de aanwezigheid van de TGG op de omgeving.

2.3 Onderzoeksvragen

De onderzoeksvragen kunnen als volgt worden samengevat:

1. **Milieuchemische en geohydrologische vragen**
 - a. Wat is de samenstelling van de TGG?
 - b. Welke potentiële uitspoeling kan plaatsvinden?
 - c. Vindt er daadwerkelijk uitspoeling plaats?
 - d. Waar komen de uitgespoelde stoffen vervolgens terecht?
 - e. Wat is het effect van deze stoffen op aanwezige kwetsbare objecten?

2. Geotechnische vragen

- a. Voldoet de TGG aan de toepassingseisen voor materialen in dijken?
- b. Hoe verschilt de samenstelling van TGG met de classificatie-eigenschappen voor zand bij ophogingen?
- c. Wordt verkitting van TGG waargenomen?

2.3.1 Milieuchemische en geohydrologische vragen

De milieuchemische onderzoeksvragen zijn gebaseerd op de methodiek “bron-pad-kwetsbaar object”. Hierbij wordt eerst “de bron” van een verontreiniging in kaart gebracht (vraag 1a). Vervolgens worden de mogelijke fysisch-chemische mechanismen onderzocht om een beeld te krijgen wat de potentie (uitloogbaarheid) is van een eventuele uitspoeling van stoffen indien de TGG in contact komt met water (vraag 1b). Via transport, door bijvoorbeeld grondwaterstroming (“het pad”), kan de verontreiniging terecht komen in de omgeving bij verschillende “kwetsbare objecten” (vraag 1d). Voorbeelden van “kwetsbare objecten” zijn mensen, dieren en (grond)waterlichamen, maar ook de natuur. Vervolgens wordt gekeken naar het effect van deze stoffen op de verschillende “kwetsbare objecten” (vraag 1e). De methodiek “bron-pad-kwetsbaar object” levert bovendien een handvat om eventuele tegenmaatregelen te treffen indien een “kwetsbaar object” een te groot risico loopt.

Bij de beantwoording van de verschillende vragen is het van belang dat de bron van het materiaal (vervulde) grond is, die in een gecontroleerd proces op hoge temperatuur is gereinigd. Bij dit type reiniging is de verwachting dat organische verbindingen verbranden als doel van de reiniging. De meeste metalen kunnen echter op deze manier niet worden verwijderd, maar blijven aanwezig. Voor deze metalen is het uitgangspunt dat het materiaal voldoet aan de maximum waardes gesteld aan een “Grootschalige Toepassing op of in de Bodem” (GBT), aangezien het materiaal onder dit toepassingskader is aangebracht¹².

De gemeten gehalten in de TGG (vraag 1a) worden vergeleken met de normen die door de overheid zijn vastgesteld. Het betreft normen voor materiaal dat in een GBT wordt gebruikt. In het uitgevoerde verkennende onderzoek (Deltares, 2016b) zijn in de TGG hoge gehalten aangetroffen voor bromide, chloride en sulfaat. Vervolgens is onderzocht of de algemene conclusie getrokken kan worden dat deze stoffen veel voorkomen in de toegepaste TGG in Perkpolder. De nadruk in dit deel van het aanvullende onderzoek ligt op de analyses van de boringen uitgevoerd in de TGG.

Vervolgens wordt gekeken of deze stoffen, indien de TGG in contact komt met water, kunnen uitspoelen. Kortom wat is de potentiële sterkte “van de bron” (vraag 1b). Uitspoeling vindt pas plaats als de TGG ook daadwerkelijk in contact komt met water (vraag 1c). De nadruk van het onderzoek ter beantwoording van deze onderzoeksvraag ligt in de grondwateranalyses en de analyse van de grond direct onder de TGG. Bovendien wordt in het laboratorium, aan de hand van schud- en kolomproeven, onderzocht welke stoffen het sterkst uitspoelen. Van belang is daarbij vooral:

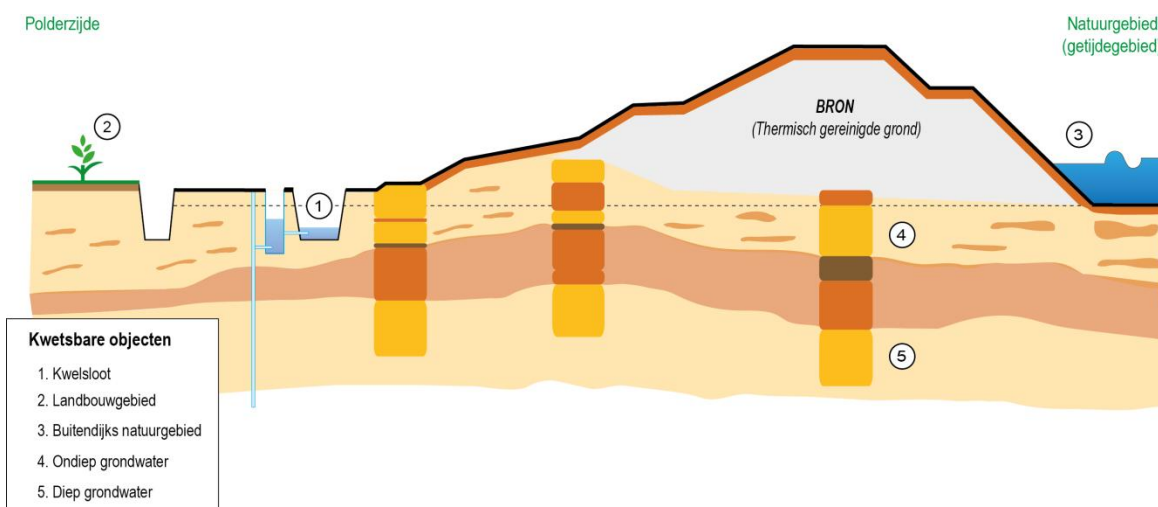
- Aandacht voor stoffen die in hoge concentratie aanwezig zijn in de TGG van Perkpolder en die goed uitloogbaar zijn, want deze stoffen zullen het sterkst uitspoelen.
- Contact met (grond)water is bepalend voor een eventuele uitspoeling naar de omgeving.

¹² Of de samenstelling [en soms uitloging] van alle relevante metalen ook daadwerkelijk is bepaald in partijkeuringen hebben we niet beoordeeld.

- Dat uitgespoelde stoffen allereerst in het ondiepe grondwater(systeem) terecht komen, en dus de concentraties op korte afstand van de TGG het hoogst zullen zijn¹³.

Bij de beantwoording van vraag 1e zijn een aantal kwetsbare objecten gedefinieerd. Beoordeeld zal worden of verspreiding via het grondwater naar deze objecten plaats kan vinden (vraag 1d) en wat een eventuele impact daarvan zal zijn. De volgende objecten zijn gedefinieerd:

- De kwelsloot: Het betreft hier een sloot voor de opvang van zoute kwel. In deze kwelsloot wordt zeewater opgevangen dat onder de dijk doorstroomt. Deze sloot bevat dus – ondanks dat hij binnendijks is gelegen – al zoutwater. Bovendien wordt zout grondwater geloosd op de kwelsloot. Dit zoute grondwater is afkomstig van een kwelsysteem bestaande uit diepgelegen verticale filters die zout grondwater draineren.
- Het landbouwgebied: Het binnendijkse landbouwgebied wordt voornamelijk gebruikt voor akkerbouw. Door de beschikbaarheid van zoet grondwater in de ondergrond, gaat het om reguliere zoetwater-landbouw, ondanks dat de locatie dicht bij de Westerschelde ligt.
- Het buitendijkse natuurgebied. Het gaat hier om een ontpolderd gebied, gelegen direct buitendijks van de TGG. Het natuurgebied wordt tweemaal daags (getij) met zoutwater van de Westerschelde overstromd.
- Het freatische grondwater en dieper grondwater, direct onder de dijk. Zowel het ondiepe (freatische) als het diepe grondwater vormen een pad (zie vraag 1d) naar andere kwetsbare objecten, maar vormen ook een kwetsbaar object in zichzelf.



Figuur 2.3 Schematische weergave van de zeedijk, aanwezigheid van thermisch gereinigde grond (TGG), kwetsbare objecten en bodemopbouw: geel = zand, rood-bruin = klei en donkerbruin = veen. De bodemopbouw ter plaatse van de intensere kleuren is afgeleid op basis van uitgevoerde boringen

2.3.2 Geotechnische vragen

Meerdere onderzoeken in het laboratorium zijn uitgevoerd voor het beantwoorden van de geotechnische vragen. Bij het onderzoek zijn TGG monsters genomen uit verschillende boringen om een goede spreiding over het gebied te verkrijgen waar TGG is toegepast. De locaties van de boringen zijn gegeven in paragraaf 2.4.

¹³ De potentiële transportroutes die verband houden met uittreding en oppervlakkige afspoeling zijn beoordeeld in het kader van het onderzoek aan de afdekkende kleilaag (toplaag).

Dijken, inclusief een eventuele binnenberm en de daarop aanwezige weg, zijn constructieve ophogingen. De CUR rapportage 89-1 (CUR, 1989) geeft aan welke geotechnische eigenschappen van belang zijn voor de toepassing in verschillende onderdelen van Waterkeringen. CROW 286 (CROW, 2010) geeft de relevante eigenschappen voor toepassingen in verschillende onderdelen van wegen.

De relevante geotechnische eigenschappen zijn:

- Evenwichtsdraagvermogen: breuk of bezwijken.
- Vormveranderingsdraagvermogen: excessieve vervormingen.
- Samenhang van/tussen het materiaal.
- Klink van het materiaal.
- Zwel, collapse en krimp.
- Verwekingsgevoeligheid bezwijken.
- Erosiebestendigheid.
- Mechanische bestendigheid.
- Waterdoorlatendheid.
- Dichtheid van het materiaal.

Naast deze eigenschappen zijn de samenstelling van het materiaal en de classificatie van eigenschappen van belang om het materiaal te karakteriseren en te vergelijken met andere materialen, zoals zand. In dit geval is het vergelijkingsmateriaal zand voor ophogingen omdat de TGG als alternatief is aangeboden en toegepast voor zand in de kern van de waterkering in Perkpolder.

De bovenste twee aspecten, evenwichtsdraagvermogen en vormverandering, worden onderzocht door de sterkte eigenschappen te bepalen aan de hand van een triaxiaaltest. In eerste instantie was het gevoel dat mogelijke verkitting van het materiaal (onder samenhang) een potentieel gevaar zou kunnen betekenen in termen van monolietvorming. Bij het uitvoeren van de boringen is daar dan ook specifiek op gelet.

Voor de locatie Perkpolder is geen onderzoek gedaan naar de erosiebestendigheid van het materiaal omdat de TGG is afgedekt met een erosiebestendige kleilaag en omdat het materiaal is gebruikt ter vervanging van zand (dat ook niet erosiebestendig is). De waterdoorlatendheid van TGG is wel op verschillende monsters onderzocht.

2.4 Onderzoekslocaties

Een indicatieve dwarsdoorsnede van een zeedijk waarin TGG is toegepast, is weergegeven in (Figuur 2.3). Deze figuur geeft een verticale doorsnede van de dijk, de ondergrond en de omgeving. Bovendien staat aangegeven waar de TGG is toegepast.

Uiteindelijk zijn een vijftal meetraaien gekozen. Iedere meetraai ligt loodrecht op de lengteas van de zeedijk van het nieuwe buitendijkse natuurgebied¹⁴. Infiltratie van regenwater sijpelt door de TGG en voedt het grondwater. Afwatering van het grondwater vanuit een dijk of de ondergrond vindt vaak plaats naar het naburige oppervlaktewater en daarom is gekozen voor een meetraai loodrecht op de dijk en het oppervlaktewater van de kwelsloot en van het getijdegebied (natuurgebied). In ieder deelgebied is een meetraai of zijn meerdere meetraaien gekozen. De Meetraaien D1-D2 en C1-C2 liggen in Deelgebied A. De Meetraaien A1-A2 en

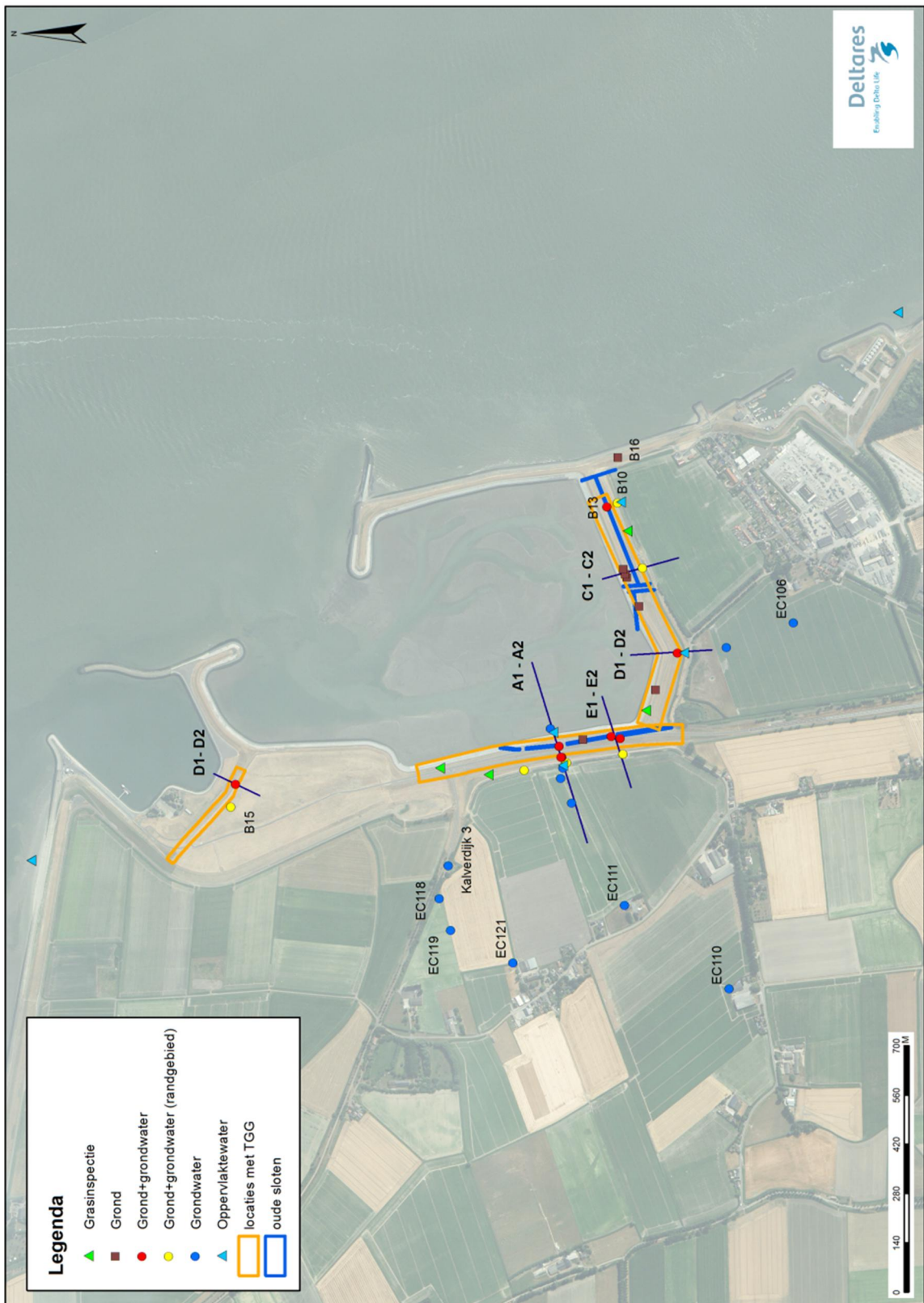
¹⁴ Langs Meetraai D1-D2 is slechts een boring gezet en bij Meetraai B1-B2 zijn twee nabijgelegen boringen meegenomen.

E1-E2 liggen in Deelgebied C en de Meetraai D1-D2 ligt in Deelgebied D. De deelgebieden staan weergegeven in Figuur 2.2 en de ligging van de vijf meetraaien is gegeven in Figuur 2.4. De verschillende bemonsteringslocaties staan weergegeven in Figuur 2.5. Detailinformatie over de bemonsteringslocaties langs Meetraai A1-A2 is te vinden in Figuur 2.6.

Voor dit onderzoek zijn monsters genomen van grond (maar ook van TGG), grondwater en oppervlaktewater. De monsters zijn op verschillende locaties in het gebied van de Perkpolder genomen. De grondmonsters, ook van de TGG, zijn genomen uit boringen die geplaatst zijn in het gebied. De boringen zijn uitgevoerd op locaties langs een aantal meetraaien.

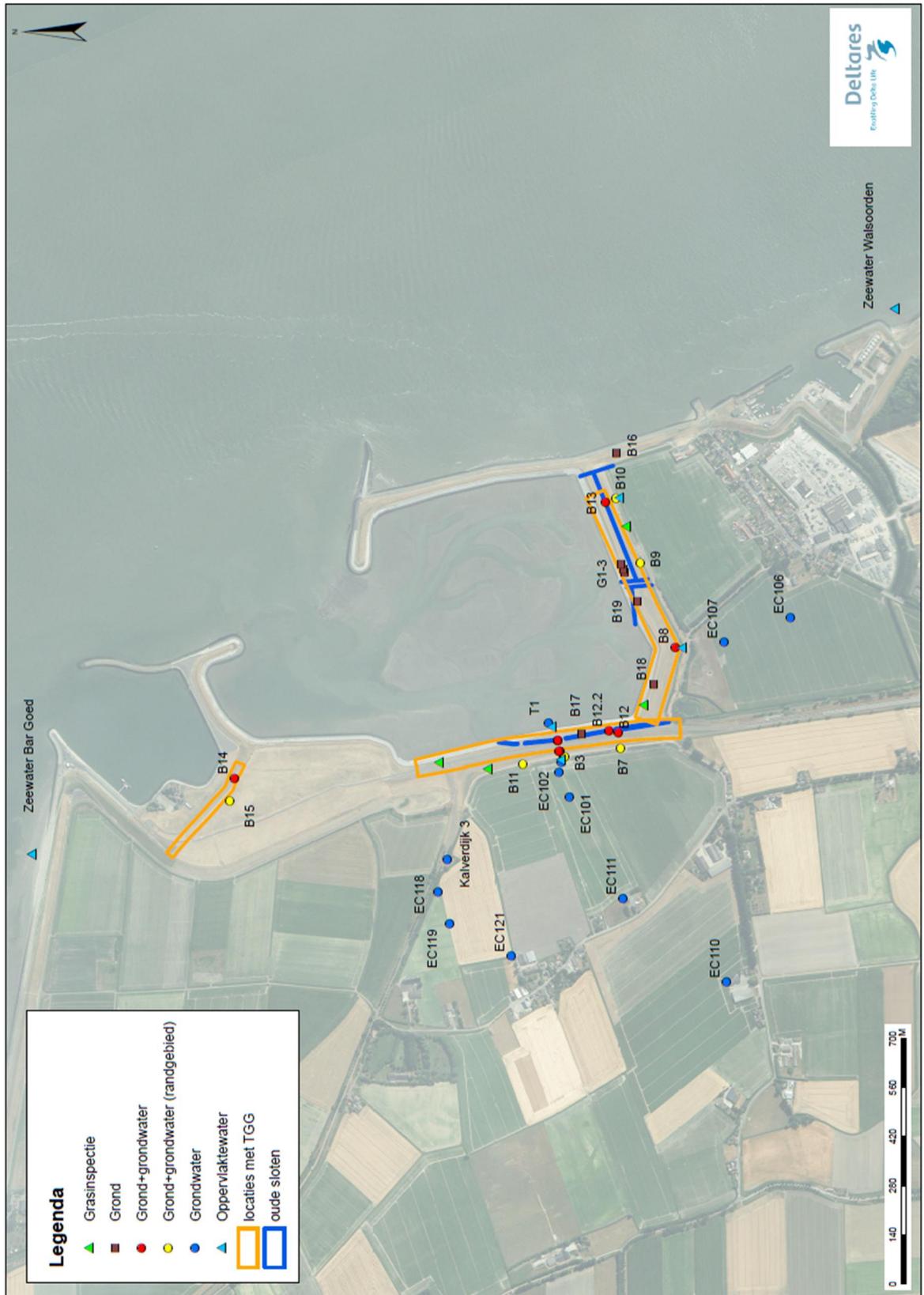
Boringen zijn ook uitgevoerd op de plekken waar geofysisch onderzoek¹⁵ is uitgevoerd, en op enkele andere plaatsen naast de kwelsloot. De (grond)watermonsters zijn genomen uit de peilbuizen die geplaatst zijn in de boorgaten, uit al aanwezige peilbuizen in de omgeving en van het oppervlaktewater. Voor het verzamelen van de (grond)watermonsters zijn totaal zeven meetronden uitgevoerd.

¹⁵ Aardwetenschappelijk onderzoek.

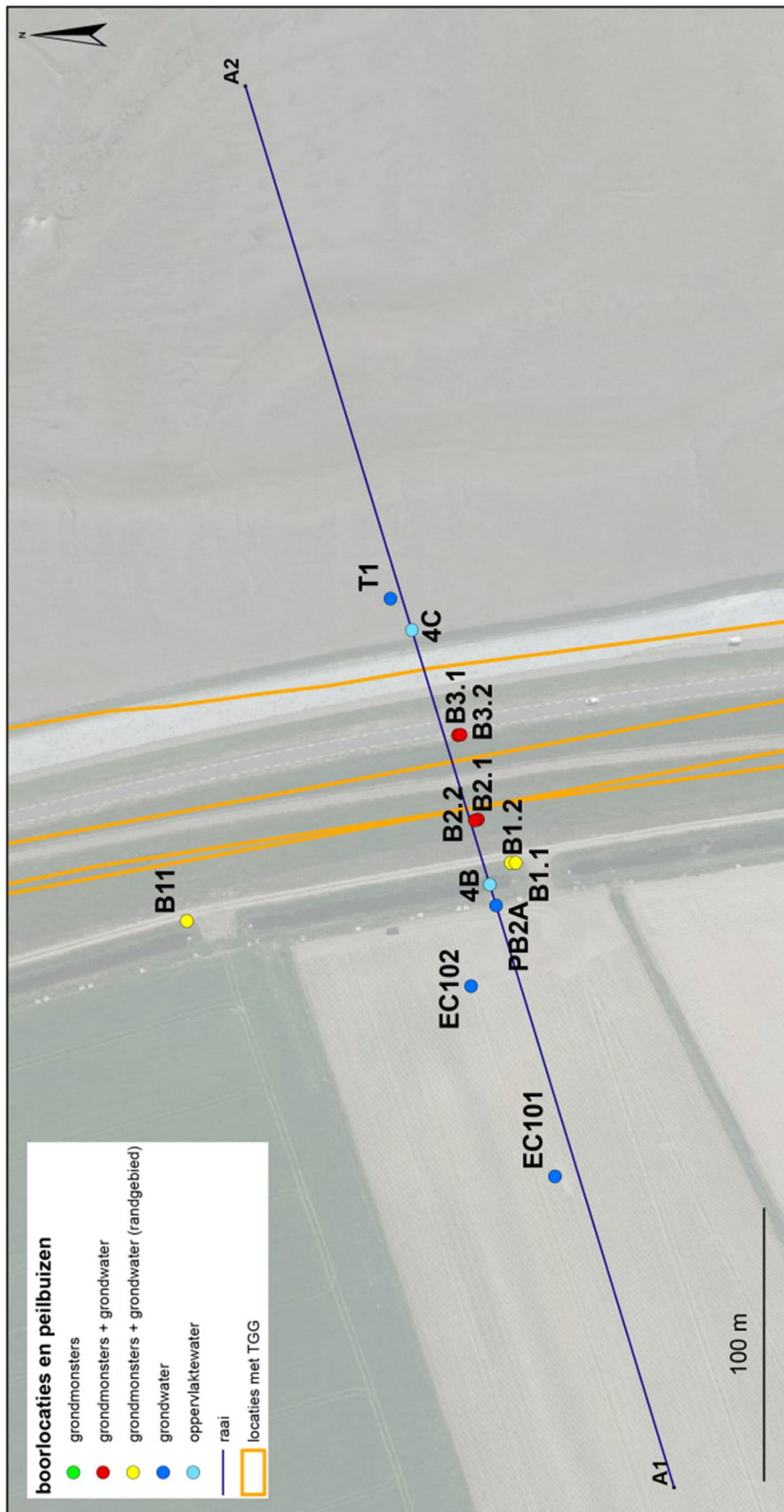


Figuur 2.4 Overzicht van de met TGG aangelegde dijk, oude sloten¹⁶ en de ligging van een vijftal meetraaien

¹⁶ De aannemer heeft aangegeven, dat de destijds aanwezige sloten zijn gedempt met gebiedseigen materiaal. (Y. Provoost, persoonlijke communicatie)



Figuur 2.5 Overzicht van de met TGG aangelegde dijk en verschillende bemonsteringslocaties

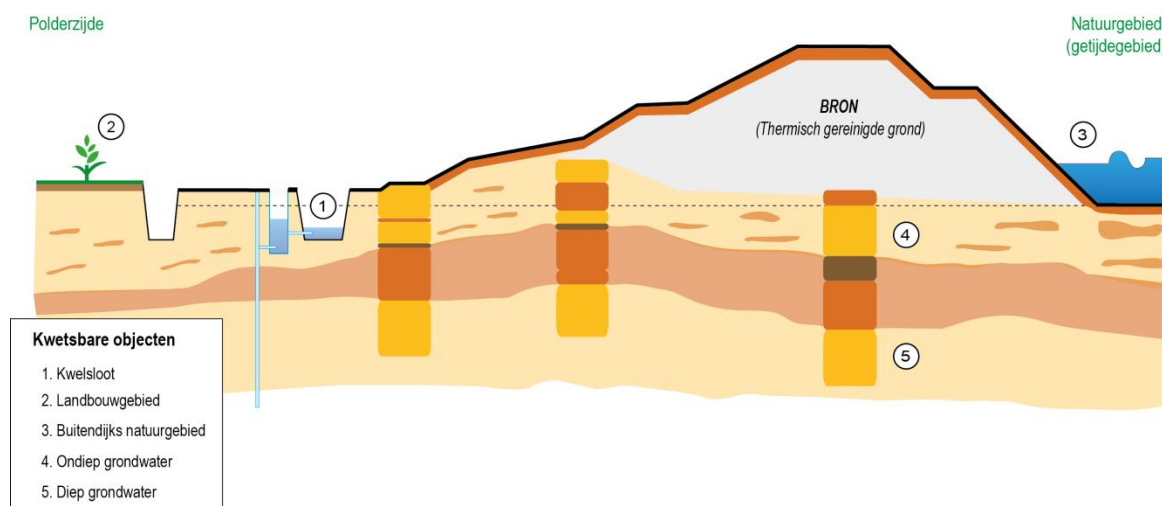


Figuur 2.6 Detail informatie van Meetraai A1-A2

3 Gebiedsbeschrijving¹⁷

3.1 Bodemopbouw

De ondergrond van het gebied bestaat uit een afwisseling van zand, klei en veen. Uit de boringen die genomen zijn langs de Meetraai A1-A2 is een schematisatie van de bodemlagen in de ondergrond afgeleid (Figuur 2.3 en herhaald in Figuur 3.1). Daarbij is onder de TGG, 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. De aanleg van de nieuwe dijk zorgt voor belasting van de bodemlagen in de ondergrond. De klei en veenlagen zullen, zoals in vele gebieden in Nederland het geval is, door deze belasting ook zetting ondergaan.



Figuur 3.1 Schematische weergave van de zeedijk, aanwezigheid van thermisch gereinigde grond (TGG) en grondlagen: geel = zand, rood-bruin = klei en donkerbruin = veen. De bodemopbouw ter plaatse van de intensere kleuren is afgeleid op basis van uitgevoerde boringen

Grontmij (2008) en Fugro (2012) hebben grondonderzoek uitgevoerd voorafgaand aan aanleg van de dijk. 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 (Deelgebied A in Figuur 3.2) is een kleilaag aangetroffen van ongeveer 0,10 tot 6,40 m dik. In handboringen van een profiel loodrecht op de westelijke TGG dijk (Deelgebied C in Figuur 3.2) treffen we ook een kleilaag aan van 0,15–0,20 m dik. Uit enkele boringen in het noordelijke deel van Deelgebied C blijkt echter dat op sommige locaties geen kleilaag aanwezig is. Op deze locaties grenst het TGG materiaal mogelijk aan een zandpakket van minimaal 2,5 m dik.

3.2 Stoffen die in de omgeving zijn aangetroffen - historie

Ter voorbereiding van de planontwikkeling van het gebied in de Perkpolder is onderzoek uitgevoerd. Kijkende naar de dijktrajecten waarin TGG is toegepast, gaat de interesse specifiek uit naar de Deelgebied A, Deelgebied C en Deelgebied D uit Figuur 2.2. Grontmij heeft het onderzoek uitgevoerd (Grontmij, 2008). Resultaten van milieukundig onderzoek zijn echter alleen beschikbaar voor de Deelgebied C en Deelgebied D.

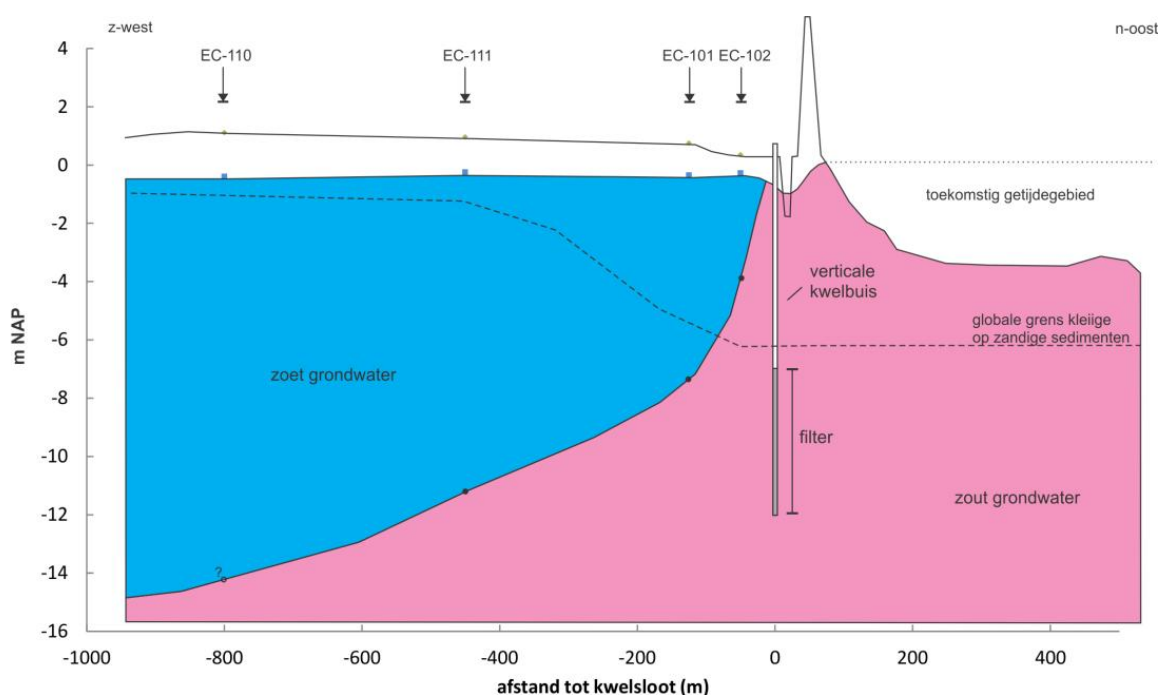
¹⁷ Dit hoofdstuk is gebaseerd op Bijlaggerapport A: Bodemopbouw en Geohydrologie

Binnen het Deelgebied C zijn voor enkele stoffen (minerale olie en PAKs) lichte overschrijdingen van de achtergrondwaarde¹⁸ waargenomen. Ook binnen Deelgebied D zijn voor enkele stoffen (nikkel en zink) lichte overschrijdingen van de achtergrondwaarde waargenomen. Gebaseerd op Besluit bodemkwaliteit (Staatscourant, 2016) kan echter worden gesteld dat met de gemeten gehalten de bodem voldoet aan de voorwaarden voor duurzame bodemkwaliteit.

In een verkennend bodemonderzoek (Witteveen+Bos, 2008), uitgevoerd ter plaatse van het Veerplein, is in een enkel mengmonster een verhoogd gehalte aan PAKs aangetroffen.

3.3 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 peil in de Westerschelde en dus vindt kwel van zout grondwater plaats. De landbouw heeft echter zoet grondwater nodig en daarom is er een kwelscherm, ook wel kwelvoorziening genoemd, gerealiseerd. Het kwelscherm bestaat uit verticale putten voor het draineren van zout grondwater en een kwelsloot (Figuur 3.2). Het gedraineerde (zoute) water wordt onder vrij verval afgevoerd naar de kwelsloot. Onder andere ter plaatse van Pb2A (Meetraai A1-A2, Figuur 2.6) vindt grondwaterdrainage plaats.

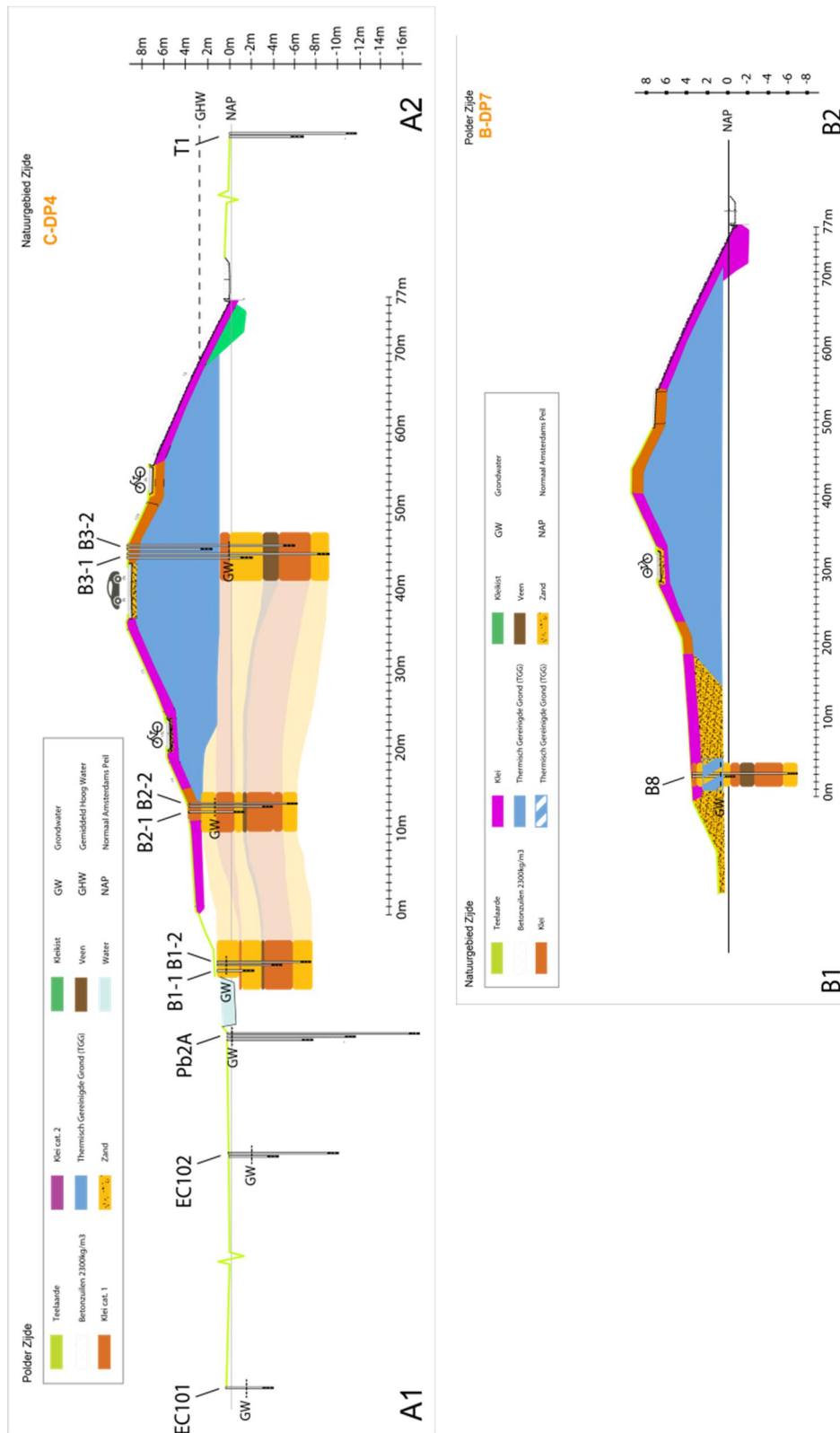


Figuur 3.2 In het verlengde van Meetraai A1-A2 is voor het landbouwgebied een schets gemaakt van de verdeling tussen zoet (blauw) en zout (roze) grondwater. Links is het landbouwgebied en rechts het getijdgebied. Deze schets is gebaseerd op metingen uitgevoerd in verschillende meetlocaties. De locaties EC-101 en EC-102 staan ook op Figuur 2.6. De locaties EC-111 en EC-110 staan weergegeven in Figuur 2.5

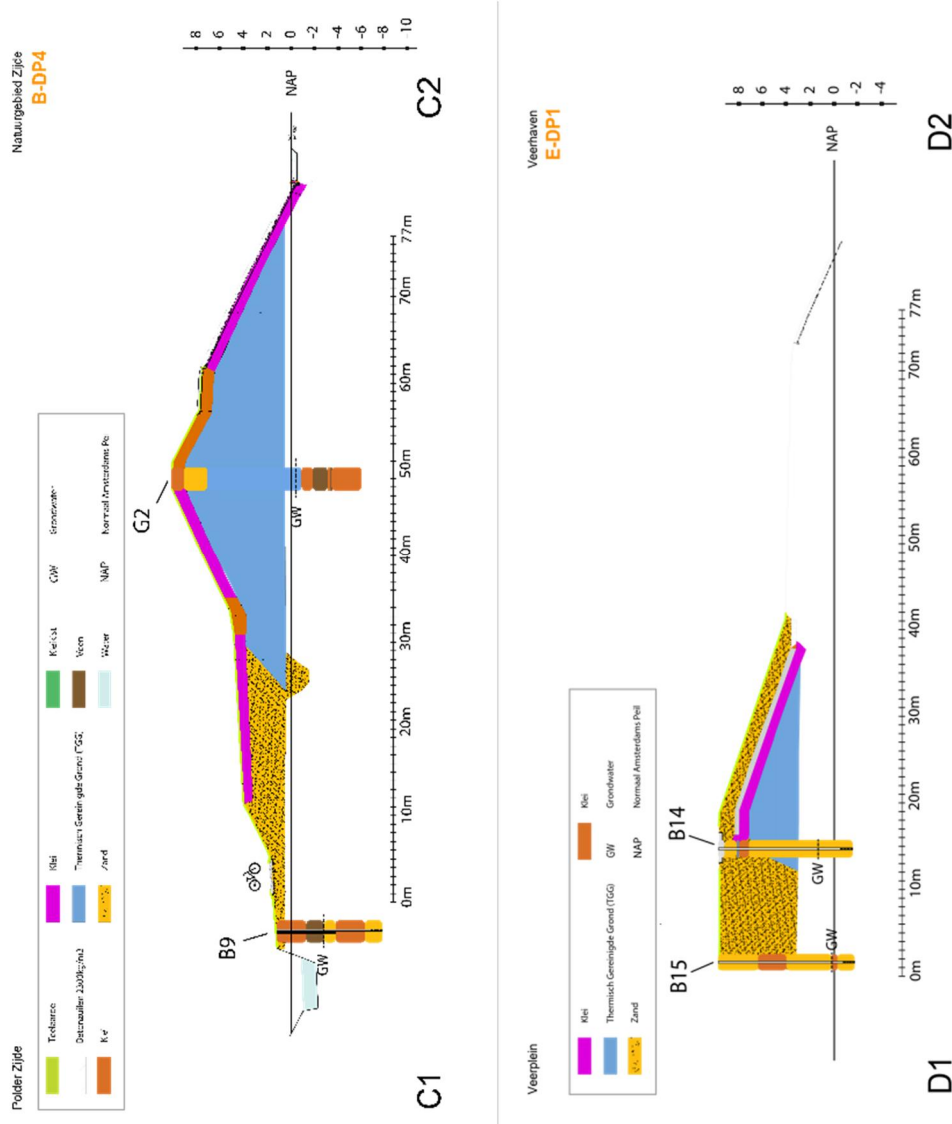
¹⁸ Achtergrondwaarden geven het niveau aan waarbij gesproken wordt van een duurzame bodemkwaliteit. De achtergrondwaarden voor grond zijn vastgesteld op basis van gehalten aan stoffen, zoals die voorkomen in de bodem van natuur- en landbouwgronden in Nederland die niet zijn belast door lokale verontreinigingsbronnen. Grond die voldoet aan de achtergrondwaarde is duurzaam geschikt voor elk bodemgebruik en wordt ook wel aangeduid als "schone" of niet verontreinigde grond.

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 Deelgebied A en Deelgebied C (Figuur 2.2), waar TGG onder andere is toegepast in de Perkpolder. Bij Deelgebied D is geen kwelvoorziening aanwezig.

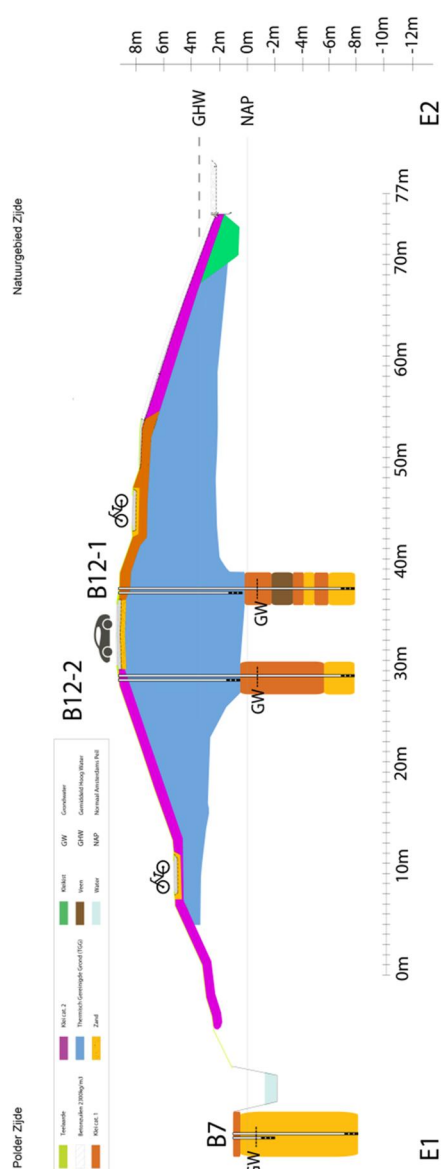
Uit voorgaande metingen van 2014 en 2015 blijkt dat de effecten van het nieuwe getijdegebied zich duidelijk manifesteren in de stijghoogte op de rand van het landbouwgebied, op korte afstand van het getijdegebied (< 100 m) en dat de kwelvoorziening goed werkt. Dagelijkse getijden en tweewekelijkse springtij-doodtij 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).



Figuur 3.3 Schematische weergave van de dijk en de ondergrond. De diepte en de lengte van de peilfilters gelegen langs Meetraai A1-A2 en Meetraai B1-B2 zijn opgenomen. De direct naast elkaar gelegen peilfilters staan echter dichter bij elkaar dan op de figuur is weergegeven



Figuur 3.4 Schematische weergave van de dijk en de ondergrond. De diepte en de lengte van de peilfilters gelegen langs Meetraai C1-C2 en Meetraai D1-D2 zijn opgenomen. De direct naast elkaar gelegen peilfilters staan echter dichter bij elkaar dan op de figuur is weergegeven



Figuur 3.5 Schematische weergave van de dijk en de ondergrond. De diepte en de lengte van de peilfilters gelegen langs de Meetraai E1-E2 zijn opgenomen. De direct naast elkaar gelegen peilfilters staan echter dichter bij elkaar dan op de figuur is weergegeven. B14 en B15 zijn beide op de Meetraai D1-D2 weergegeven, hoewel ze niet in één lijn staan

3.4 Geohydrologisch onderzoek 2018

In 2018 is aanvullend geohydrologisch onderzoek uitgevoerd om informatie te krijgen over de stromingsrichting van het grondwater. Ook is het van belang om meer inzicht te krijgen in de effecten van het getij en het kwelsysteem op het freatische grondwater een aantal jaar na verlegging van de dijk en na de aanleg van het kwelsysteem.

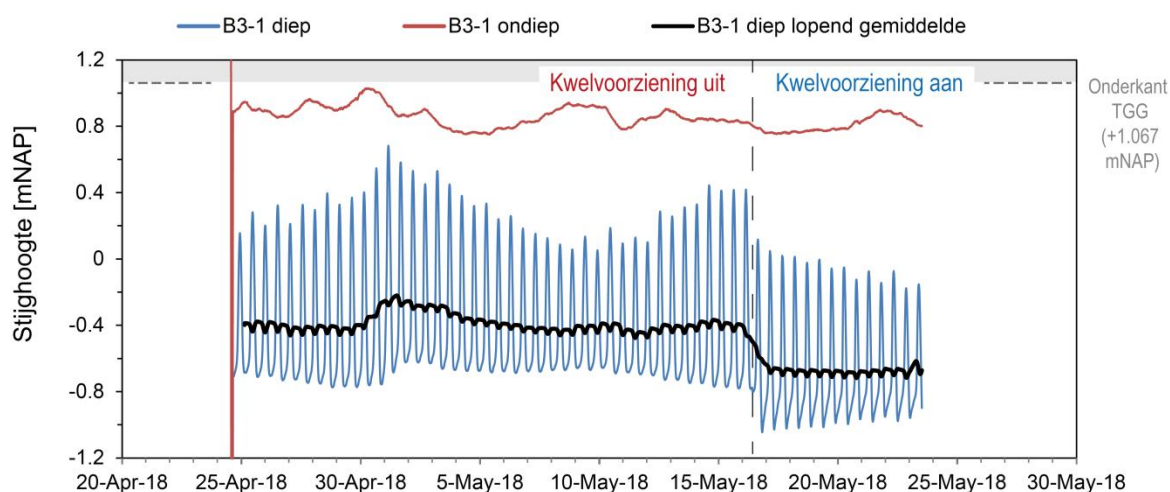
Het onderzoek is uitgevoerd met continue stijghoogtemetingen. De metingen zijn uitgevoerd gedurende een periode van vijf maanden zodat het lokale grondwatersysteem en het effect van de kwelvoorziening over een langere periode in kaart is gebracht.

Voor ieder meetpunt is een tijdsreeks gemaakt van de stijghoogtemetingen. De meetpunten zijn onderverdeeld in ondiepe meetpunten en diepe meetpunten.

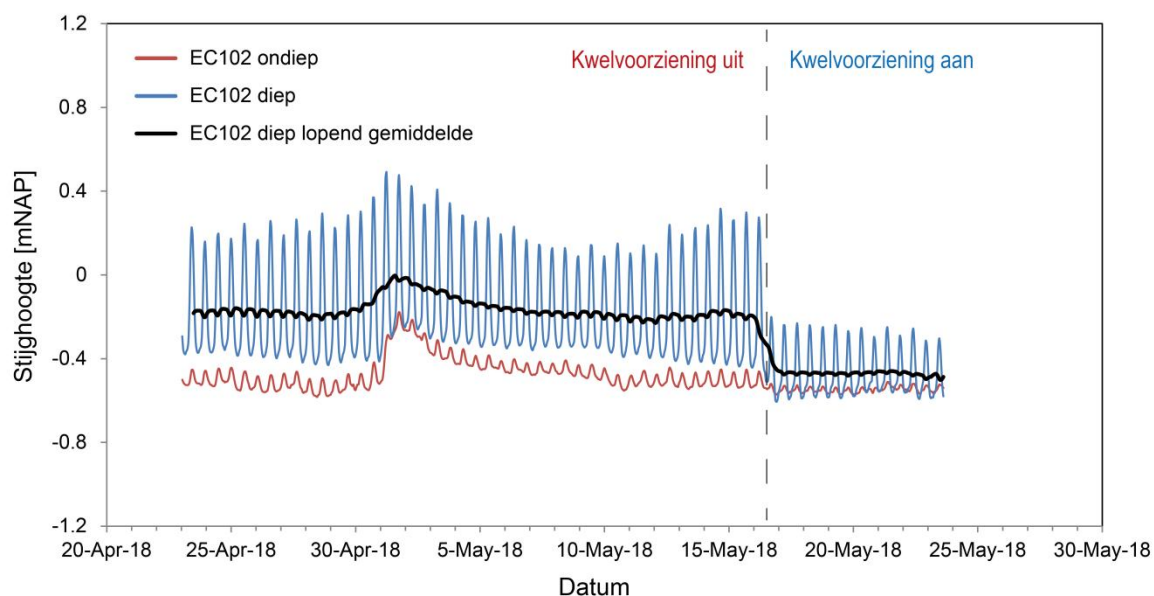
3.4.1 Metingen stijghoogte

Stijghoogtemetingen zijn uitgevoerd in verschillende peilbuizen. De diepte van het peilfilter bepaald of sprake is van een ondiepe of van een diepe meting. Als in een peilbuis twee peilfilters zijn geplaatst, kan gekeken worden of sprake is van kwel, omhooggaande stroming, of van infiltratie, omlaaggaande stroming.

In deze paragraaf staan bijvoorbeeld de meetresultaten weergegeven voor de peilbuizen B3-1 (diep en ondiep) en EC-102 (diep en ondiep). Aanvullend zijn de meetresultaten gegeven voor de ondiepe peilbuis B12-2.



Figuur 3.5 Stijghoogtemetingen B3-1 ondiep en B3-1 diep voor de periode april-mei 2018



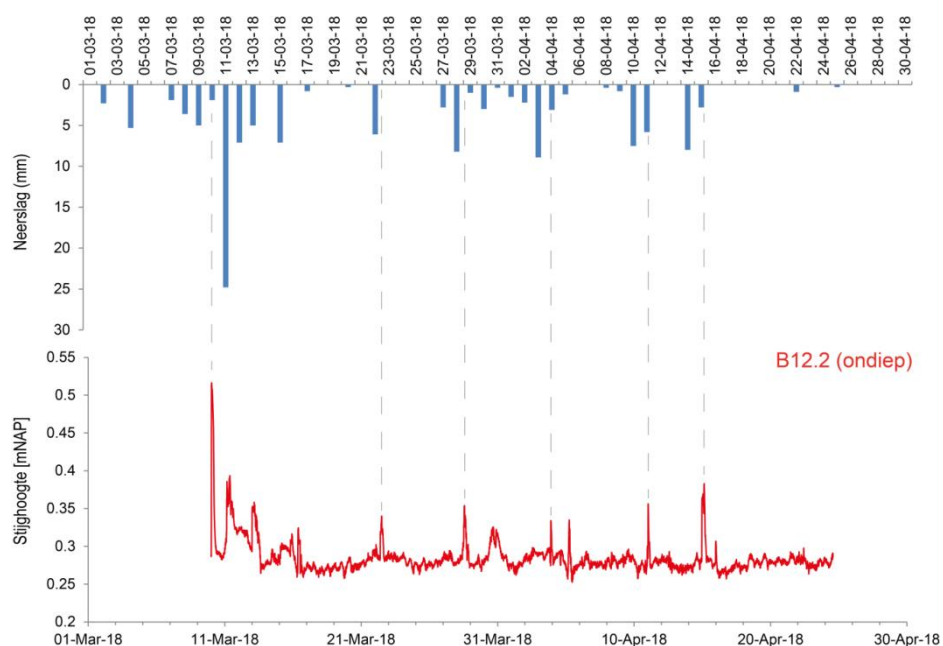
Figuur 3.6 Stijghoogtemetingen EC102 ondiep en EC102 diep voor de periode april-mei 2018

De resultaten van Peilbuis B3-1 (Figuur 3.4) en Peilbuis EC-102 (Figuur 3.5) laten verschillende dingen zien. Voor beide peilbuizen reageert vooral het diepe filter op de getijbeweging van het water in de Westerschelde. Voor het ondiepe filter is dat een stuk kleiner (EC-102) of zelfs

verwaarloosbaar (B3-1). Zodra de drainage van het kwelscherm in werking is, wordt de stijghoogte in het diepe filter aanmerkelijk verlaagd. De verlaging bedraagt meerdere decimeters.

De peilbuis, geplaatst in de dijk geplaatst, laat zien dat er sprake is van infiltratie want de stijghoogte in het ondiepe filter is hoger dan in het diepe filter. Voor het landbouwgebied (peilbuis EC-102) is juist sprake van kwel want de stijghoogte in het diepe peilfilter is hoger dan in het ondiepe peilfilter.

Ter plaatse van peilbuis B3-1, ligt de onderkant van de TGG op circa 1 m NAP (Figuur 3.4). Gedurende de meetperiode valt de grondwaterstand in her ondiepe filter lager uit dan de onderkant van de TGG. Op andere plaatsen zijn echter waarnemingen geweest waarbij de grondwaterstand hoger ligt dan de onderkant van de TGG, bijvoorbeeld bij locatie B12 (Deelgebied C). Het gevolg is dan dat een deel van de TGG in contact staat met het grondwater.



Figuur 3.7 Stijghoogte in B12.2 (ondiep) en relatie met gemeten neerslag in Vlissingen volgens het KNMI

De metingen van de stijghoogte van het ondiepe peilfilter in peilbuis B12.2, zijn vergeleken met de metingen van de neerslag. De metingen van het nabijgelegen KNMI weerstation (Vlissingen) zijn daarvoor gebruikt. Beide resultaten zijn in één figuur (Figuur 3.7) samengebracht. Het meetstation voor de neerslag ligt uiteraard niet direct naast de locatie van peilbuis B12.2. De resultaten laten echter zien dat van een goede correlatie sprake is. De opgetreden 'pieken' komen goed overeen. De neerslag die op de dijk valt, infiltreert gedeeltelijk in de dijk en zal vervolgens door de TGG sijpelen.

3.4.2 Grondwaterstroming in het gebied

Op basis van de resultaten van de metingen in de verschillende peilbuizen (Meetraai A1-A2 en Meetraai E1-E2) is de grondwaterstroming schematisch in kaart gebracht (Figuur 3.8). De volgende conclusies kunnen daaraan worden verbonden.

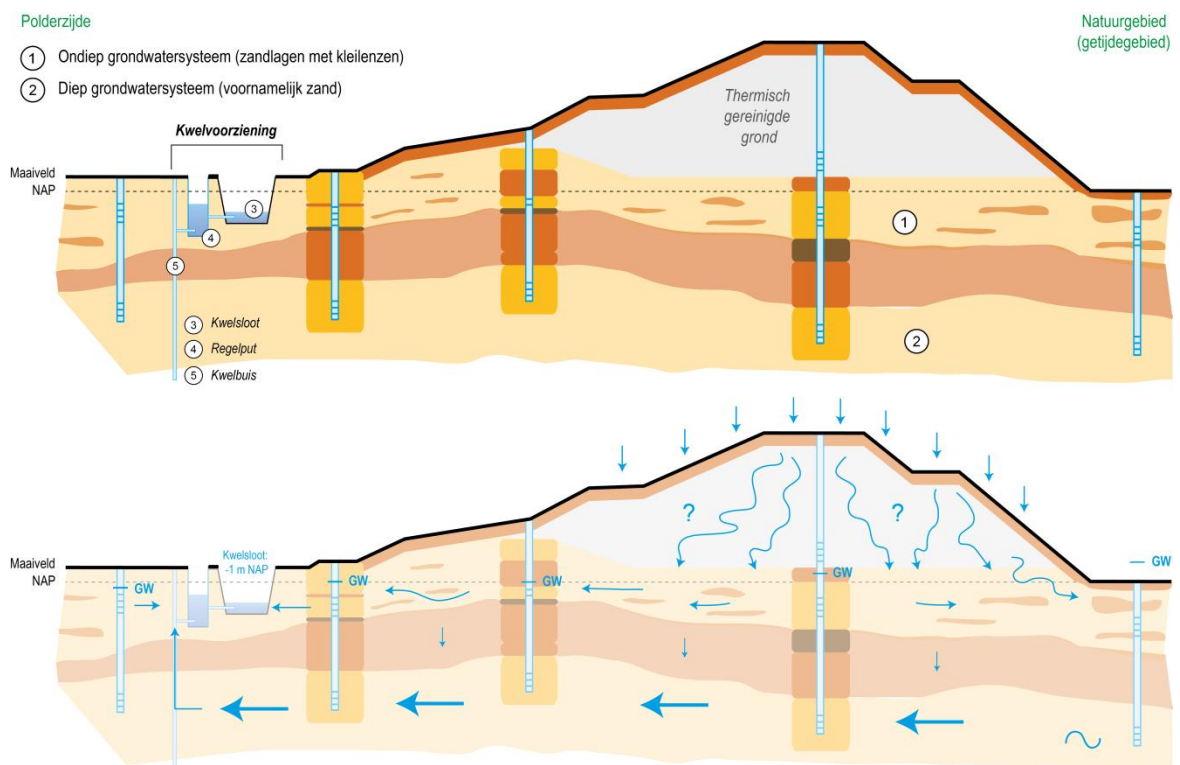
Twee grondwatersystemen zijn te onderscheiden; een ondiep systeem dat weinig tot niet beïnvloed wordt door getijdewerking en de kwelvoorziening, en een diep systeem dat wel

duidelijk reageert op het getij en op de kwelvoorziening. Een dergelijke scheiding kan alleen optreden als sprake is de aanwezigheid van een grote hydraulische weerstand tussen de diepe en ondiepe meetpunten, bijvoorbeeld door de aanwezigheid van kleilagen in de ondergrond. Het gevolg is dan dat nauwelijks uitwisseling van water plaatsvindt tussen beide systemen.

De peilbuizen die geplaatst zijn in of nabij de dijk (B1-B3, B8 en B12) laten een geringe neerwaartse stroming (infiltratie) zien tussen het ondiepe en diepe grondwatersysteem (Figuur 3.8). Langs de rand van het landbouwgebied in de polder (peilbuizen B7 en EC102) is juist sprake van kwel, een omhooggerichte grondwaterstroming.

In het diepe grondwatersysteem is, vanaf de dijk gezien, sprake van een netto grondwaterstroming richting de kwelsloot en het kwelscherm. In het ondiepe grondwatersysteem stroomt het water richting de kwelsloot maar ook richting het getijdegebied (natuurgebied).

De neerslag die op de dijk valt infiltreert. Het geïnfiltreerde regenwater zal in het ondiepe en diepe grondwatersysteem voornamelijk richting de kwelsloot stromen. Ten tijde van eb, als de grondwaterstand in het getijdengebied lager is dan in de dijk, stroomt het geïnfiltreerde regenwater in het ondiepe grondwatersysteem vanuit de dijk richting het getijdegebied (Figuur 3.8). Deze stroming is echter significant kleiner dan de stroming naar de kwelsloot.



Figuur 3.8 Conceptueel diagram van de (grond)waterstroming. GW = grondwaterstroming, Geel = zand, rood-bruin = klei en donkerbruin = veen. Sinuslijntje stelt invloed van getij voor, NAP = Normaal Amsterdams Peil

4 Onderzoeksresultaten TGG en milieu¹⁹

4.1 Inleiding

Bij de milieuchemische aspecten moet onderscheid worden gemaakt tussen welke stoffen er in de TGG aanwezig zijn (de samenstellingswaarden) en of bij contact met water opgeloste verontreinigingen kunnen uitspoelen (uitloogbaarheid), en of een dergelijke uitspoeling ook daadwerkelijk plaatsvindt. Het eerste is een potentieel risico en het tweede is een mogelijk actueel risico. In dit hoofdstuk worden deze aspecten per stofgroep behandeld. Een overzicht van de uitgevoerde analyses is weergegeven in Figuur 4.1.

Duidelijk moet worden opgemerkt dat met dit onderzoek niet gecontroleerd is of het productcertificaat voldeed, en dat is eigenlijk ook niet meer mogelijk nadat de afzonderlijke partijen bij de toepassing als kernmateriaal zijn samengebracht.

4.2 Stoffen die zijn aangetroffen in de TGG en in de ondergrond

Het pakket aan stoffen waar nu onderzoek naar is uitgevoerd, is uitgebreider dan het pakket dat onderzocht is ter voorbereiding van de planontwikkeling voorafgaand aan de aanleg (Grontmij, 2008). Het pakket is uitgebreid om te kunnen beoordelen of stoffen die mogelijk in het TGG aanwezig zijn naar de ondergrond zijn uitgespoeld.

De resultaten van het onderzoek laten het volgende zien. In de grondmonsters genomen van de TGG zijn veel stoffen 'niet' aangetroffen, niet aangetoond of slechts in geringe gehalten. Deze geringe gehalten vallen dan binnen de norm die geldt voor duurzaam bodemgebruik onder het Bbk. Op verschillende plaatsen in de TGG zijn stoffen aangetroffen met hogere gehalten²⁰. Ook in 'grond' zijn op enkele plaatsen verhoogde gehalten aangetroffen. Een overzicht van relevante stoffen en stofgroepen is weergegeven in paragraaf 4.4.

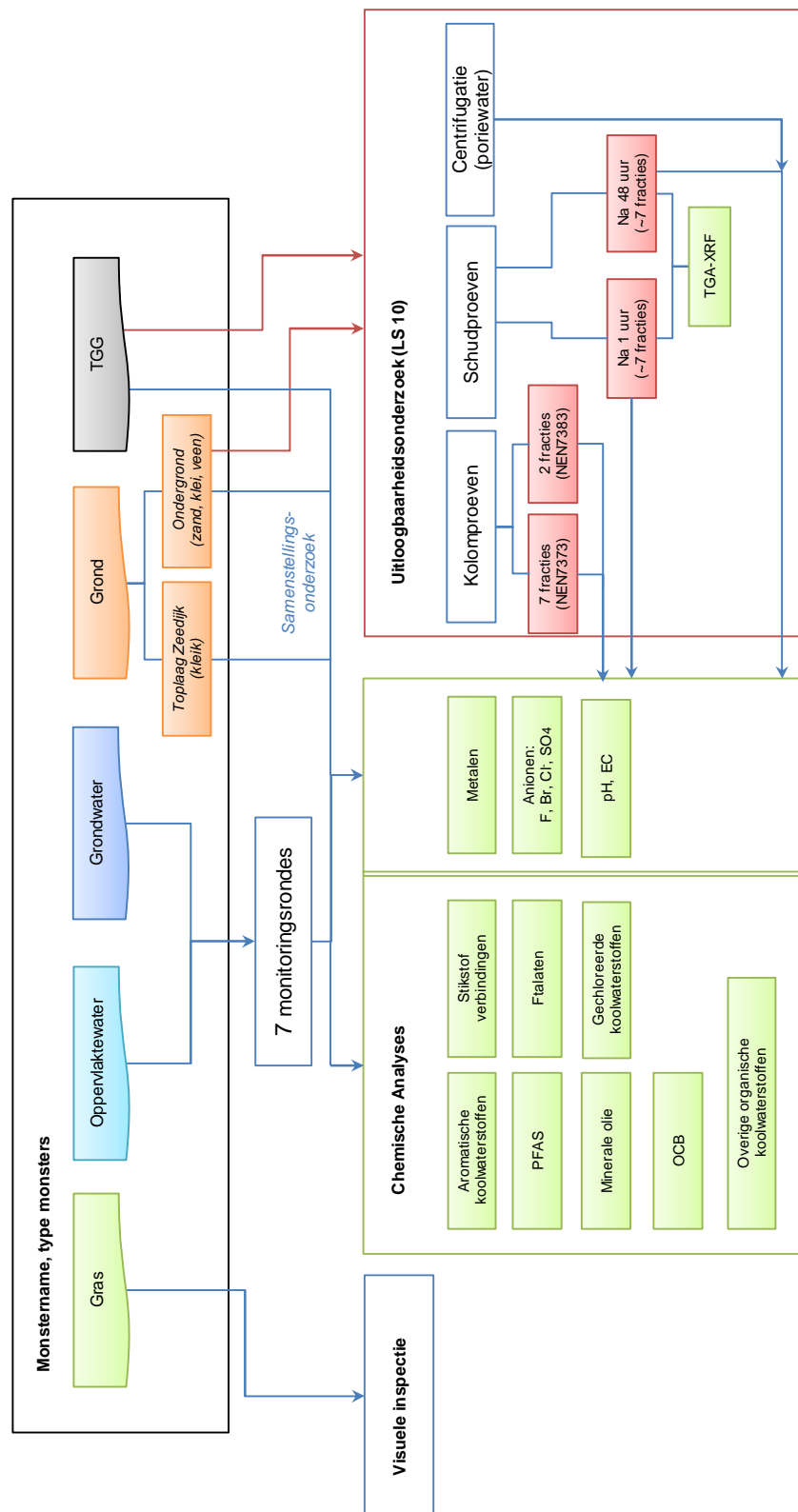
4.3 Juridisch kader en toetsing

In Perkpolder is de grond toegepast als Grootschalige Bodemtoepassing (GBT) zoals bedoeld in hoofdstuk 4, paragraaf 3 van het Besluit bodemkwaliteit (Bbk). De maximumwaarden voor toepassing zijn voor een groot aantal stoffen vermeld in Tabel 1 van Bijlage B behorende bij de Regeling bodemkwaliteit (Rbk, 2017). Bij een toepassing in GBT moet worden voldaan aan de maximumwaarden van de bodemgebruiksklasse Industrie. Bovendien moet aan uitlogingsnormen (emissiewaarden voor GBT) worden voldaan. Normaal gesproken wordt uitlogingsonderzoek alleen uitgevoerd indien de EmissieToetsWaarden (ETW) worden overschreden terwijl verwacht wordt dat de ETW van TGG niet worden overschreden als conform certificaat wordt gewerkt.

¹⁹ Dit onderzoek is gebaseerd op Bijlagerapport B: Milieuchemische aspecten

²⁰ Dat betekent dat het gehalte hoger is dan de achtergrondwaarde of de waarde die hoort bij de bodemgebruiksklasse wonen. Waar geen achtergrondwaarde is vastgesteld, gaat het om stoffen waarvan de concentraties hoger zijn dan in grond gebruikelijk is. Dat betekent overigens niet direct dat toepassing niet is toegestaan. Toepassing heeft hier plaatsgevonden als Grootschalige Bodem Toepassing (GBT), waarbij voor een aantal stoffen hogere gehalten zijn toegestaan.

Voor alle stoffen zijn maximumwaardes vastgesteld. Voor niet-genormeerde stoffen, zoals PFAS, geldt de zorgplicht. Voor het milieu is deze zorgplicht beschreven in het Besluit bodemkwaliteit en bovendien bestaat de zorgplicht “wet waterkeringen”. De zorgplicht moet locatie-specifiek worden ingevuld; in dit geval voor de dijk in de Perkpolder want de zorgplicht is immers gericht op het voorkomen van (milieu)schade. Het ligt ook voor de hand dat afwijkende eigenschappen ten opzichte van “normale” grond, en stoffen die normaal gesproken niet, of slechts in lagere concentraties in grond voorkomen, aanleiding zijn tot verdere analyse ter invulling van de zorgplicht.



Figuur 4.1 Overzicht van het type monsters dat is genomen, en welke onderzoeken daarop zijn uitgevoerd

4.3.1 Bepaling en toetsing

Van een groot aantal TGG monsters, genomen uit de dijk, is de chemische samenstelling en het uitlooggedrag bepaald. Deze monsters zijn getoetst aan de geldende normen voor grootschalige bodemtoepassing (GBT) en aan de maximumwaarden voor Klasse Industrie. De meetresultaten en de toetsing van individuele monsters aan referentiewaarden staat beschreven in Bijlagerapport B. Toetsing van de analyse van een grondmonster heeft plaatsgevonden aan de geldende emissietoetswaarde (ETW). Daarbij wordt eerst een omzetting uitgevoerd naar gestandaardiseerde gehalten, waaronder een omzetting naar een “standaardbodem” (op basis van het lutumgehalte en organisch stof).

De chemische onderzoeksresultaten van de TGG-monsters bedragen individuele waarden (en de gemiddelden daarvan). De TGG is onder certificaat geleverd en de samenstelling zal dus steekproefsgewijs onderzocht zijn tijdens de aanleg. De documentatie daarvan is bij Deltares echter niet bekend en kan daarom niet worden meegenomen in de beoordeling. Bij een dergelijke steekproef worden vaak mengmonsters gebruikt en daarom zal de variatie in analyseresultaten op deze monsters kleiner zijn dan de analyseresultaten van individuele monsters zoals in dit onderzoek. Een individuele uitschieter naar boven of beneden kan daarmee een incident zijn en is niet per definitie bewijs voor het overschrijden van de normwaarde.

4.3.2 Beoordelingsmethodiek

Bij de beoordeling, op basis van bovenstaande analyse, is gekeken naar een drietal aspecten:

1. Beoordeling ten opzichte van vastgestelde normen.
2. Beoordeling ten opzichte van wat als normale (onbehandelde en ongeroerde) grond kan worden verondersteld om een indicatie te krijgen of ter invulling van de zorgplicht een extra beoordeling noodzakelijk was geweest.
3. Beoordeling ten opzichte van TGG van ATM²¹ zoals die 15 jaar geleden was om vast te stellen wat specifiek voor TGG van ATM te verwachten was.

4.4 Stoffen met verhoogde gehalten in TGG, grond of grondwater

4.4.1 Anionen

Bromide

Bromide is in verhoogde gehalten aangetroffen in de TGG (boven de 100 mg/kg.ds in circa de helft van de monsters)²² en loogt volledig uit bij contact met water. In diverse peilbuizen worden concentraties gemeten boven de 20 mg/L. De bron van het bromide in de peilbuizen kan zowel de TGG zijn als het zeewater. De verhouding ‘bromide-chloride’ is in zeewater stabiel en ligt rond de 0,03. Een hogere verhouding (en een waarde boven de 60 mg/L die normaal gesproken in zeewater voorkomt) is een indicatie dat de bron van de opgeloste bromide wel eens de TGG zou kunnen zijn.

De peilbuizen met een concentratie boven de 20 mg/L en een verhouding ‘bromide-chloride’ boven de 0,06 (tweemaal de verhouding in zeewater) zijn B1.1, B2.1, B3.1, B7 en B8, B11; de betreffende peilfilters staan steeds in de ondiepe zandige laag. In deze peilbuizen kan een deel van de bromideconcentratie dus worden toegeschreven aan uitloging vanuit de TGG.

De kwelsloot ligt nabij de teen van de dijk. De peilbuizen, B7, B8 en B11, liggen in de buurt van de kwelsloot. In het grondwater ter plaatse van deze peilbuizen is bromide waargenomen en

²¹ ATM staat voor Afvalstoffen Terminal Moerdijk

²² In vrijwel alle monsters is het gehalte boven het “verwaarloosbaar risico”-niveau van 20 mg/kg

dus zou ook verspreiding van bromide naar de kwelsloot kunnen plaatsvinden. De gemeten bromide-concentraties en de verhouding 'bromide-chloride' van het water in de kwelsloot zijn echter vergelijkbaar met zeewater, zodat aangenomen moet worden dat het grootste gedeelte van de aanwezige bromide wordt veroorzaakt door kwel van zout grondwater of door lozing van zout grondwater gedraineerd door de verticale drainage putten van de kwelvoorziening.

Sulfaat

Ook sulfaat is in verhoogde gehalten aanwezig in de TGG en is mobiel: het loogt grotendeels uit bij contact met water. Sulfaatconcentraties variëren echter sterk in het gebied, omdat sulfaat ook een belangrijke component is van zeewater. De sulfaat-chloride verhouding is meestal lager dan die voor zeewater. Dit wordt verklaard doordat onder anaerobe omstandigheden sulfaat biologisch afbreekt tot sulfide door middel van sulfaat-reductie. Op basis van de gemeten waarden in het grondwater en oppervlaktewater kan geen verontreiniging worden vastgesteld. Omdat de achtergrondconcentraties zo sterk variëren kan ook niet worden vastgesteld dat die er niet is.

4.4.2 Metalen

Arseen

Arseen is aanwezig in verhoogde gehalten (groter dan de achtergrondwaarden) in de TGG (4 van de 16 geanalyseerde TGG monsters bevatten verhoogde arseen gehalten).

In het grondwater in peilbuis B2.1 en B3.1 liggen de arseenconcentraties in de eerste drie monitoringsrondes onder de interventiewaarde (16-60 µg/L). Vanaf monitoringsronde 4 worden concentraties gemeten tussen 47 µg/L en 210 µg/L. De gemeten arseenconcentraties in het grondwater liggen boven de interventiewaarde (60 µg/l) voor monsters genomen uit de peilfilters van boring B2.1 (4,50-5,50 m-MV), B3.1 (9,9-10,90 m-MV), B11 (2,50-3,50 m-MV) en B15 (11,00-12,00 m-MV).

Uit het samenstellingsonderzoek was arseen-uitloging niet te verwachten. Bovendien toont het uitlogbaarheidsonderzoek aan dat er nauwelijks uitloging van arseen plaatsvindt en dat de arseenconcentratie in de eluaat-fracties afneemt gedurende de zeven stappen. De verklaring moet wellicht worden gezocht in de verschillen tussen de uitloogtest (waarbij met zoet water wordt doorstroomd) en de daadwerkelijke situatie (waarbij met poriewater wordt doorstroomd).

Gezien de aanwezigheid van verhoogde arseenconcentraties in het grondwater rondom de dijk is de TGG een mogelijke bron. De hoogste concentraties gemeten in het uitloogonderzoek (tot 46 µg/L) zijn echter wel een stuk lager dan aangetroffen in de grondwatermonsters van B2.1, B3.1, B11 en B15 (100 tot 210 µg/L). Mogelijk speelt een grote (chemische) heterogeniteit van de TGG hierbij een rol of is arseen een voorkomende component in de omgeving.

Barium

Barium is aangetroffen in verhoogde waarden in de TGG. Aangezien de achtergrondwaarde voor barium sterk varieert, zijn geen maxima voor de gebruiksklasse voor barium in grond van kracht. In één meting is het barium sterk verhoogd en wordt de indicatieve waarde voor een ernstige verontreiniging (INEV) met circa 50% overschreden. Alle andere waarden liggen daar echter onder. De uitloging van barium is beperkt en is circa 50 maal lager dan de maximale uitloging voor niet-vormgegeven bouwstoffen²³ ²⁴. De gemeten bariumconcentratie in het grondwater ligt boven de interventiewaarde voor monsters genomen uit de peilfilters van boring

²³ Niet-vormgegeven bouwstoffen volgens het Besluit bodemkwaliteit (Bbk)

²⁴ Voor GBT toepassingen bestaat geen maximumwaarde

B3.1 (9,90-10,90 m –MV, 630 µg/L, alleen de 2^e meting) B3.2 (16,50-17,50 m –MV, 680 630 µg/L, alleen 1^e meting) en boring B2.2 (7,50-8,50 m –MV, 640 µg/L, alleen 1^e meting). De concentratie wisselt sterk in alle metingen. Dat geldt zowel in de tijd als in de ruimte; de hoge bariumgehalten komen zowel in de ondiepe als in de diepere zandlaag voor. Daarmee kan niet worden vastgesteld of uitloging van barium effect heeft gehad op de grondwaterkwaliteit. In de bermsloot worden geen verhoogde waardes aangetroffen.

Chroom

Chroom is aangetroffen in de TGG met waarden die liggen boven de maximumwaarde voor de (bodembebruiks)Klasse Industrie van 180 mg/kg.ds en deze waarde is gelijk aan de interventiewaarde voor Chroom-3. Op een locatie (boring G2), op een diepte van 4-6 m onder MV, is een gehalte van 205 mg/kg.ds aangetroffen. De gehalten aangetroffen in het TGG op andere plekken, voldoen allemaal aan de Klasse Industrie. De uitloging van TGG (0,1-1%) leidt dan niet tot een emissie boven de maximum emissiewaarde voor GBT (0,17 mg/kg). In het grondwater wordt dan ook geen gehalte boven de interventiewaarde aangetroffen.

Kwik

Kwikgehalten in grond voldoen steeds aan de maximumwaarde voor de (bodembebruiks)Klasse Industrie (en in de helft van de TGG-bepalingen wordt voldaan aan de Klasse Wonen). Uitloging van kwik is beperkt en blijft steeds onder de maximum emissiewaarde voor GBT toepassingen. In het grondwater wordt in 1 meting in 1 peilbuis (B2.1), met het filter op een diepte van 5,5-6,5 m -MV, in de klei, een gehalte (0,36 µg/L) vastgesteld boven de interventiewaarde (0,3 µg/L), terwijl het gehalte in de 2 voorgaande metingen onder de 0,05 µg/L lag. Het is daarmee onwaarschijnlijk dat de incidenteel verhoogde waarde door de aanwezigheid van de TGG wordt veroorzaakt.

Lood

Loodgehalten in grond voldoen steeds aan de maximumwaarde voor de (bodembebruiks)Klasse Industrie (en in de meeste uitgevoerde TGG-bepalingen wordt voldaan aan de Klasse Wonen). In twee gevallen wordt de emissietoetswaarde overschreden, zodat – als de gemiddelde waarde van een partij deze concentratie zou hebben- uitloogonderzoek noodzakelijk zou zijn. Uitloging van lood is echter beperkt en blijft steeds onder de maximum emissiewaarde voor GBT toepassingen (de uitloging is gemiddeld 1.000 maal lager dan de norm). In het grondwater wordt in een meting in een peilbuis (B1.1, met filter op een diepte van 2,5-3,5 m-MV) een gehalte (310 µg/L) vastgesteld boven de interventiewaarde (75 µg/L), terwijl de waarde in de twee andere metingen onder de 2 µg/L lag. Het is daarmee onwaarschijnlijk dat de incidenteel verhoogde waarde door de aanwezigheid van de TGG wordt veroorzaakt.

Nikkel

De maximumwaarde voor de (bodembebruiks)Klasse Industrie bedraagt 100 mg/kg.ds. Deze waarde is gelijk aan de interventiewaarde (IW) van Nikkel. Nikkel is aangetroffen boven de IW-waarde op drie locaties. Op de locaties G2 (op een diepte van 4-6 m -MV en 8-10 m – MV) en op locatie B12 (op een diepte van 0,50-1,50 m –MV) is circa 130 mg/kg.ds aangetroffen. De waardes aangetroffen in de TGG op andere plekken voldoet aan de klasse Industrie, zodat kan worden aangenomen dat op de meeste locaties bij een partijkeuring (waarbij gemiddeldes worden genomen) ook wordt voldaan aan de klasse. De uitloging van TGG leidt niet tot een emissie boven de maximum emissiewaarde voor GBT (0,21 mg/kg). In het grondwater worden geen waardes boven de interventiewaarde aangetroffen.

Vanadium

De maximumwaarde voor de (bodemgebruiks)Klasse Industrie bedraagt 250 mg/kg.ds en deze waarde is gelijk aan het "indicatief niveau voor ernstige verontreiniging" (INEV). Vanadium is aangetroffen in de TGG met een gehalte die ligt boven INEV. Op een locatie (G2, op een diepte van 4-6 m -MV) is 269 mg/kg.ds aangetroffen. De gehalten aangetroffen op andere plekken in de TGG voldoen aan de Klasse Industrie. Geconcludeerd kan worden dat op de meeste locaties wordt voldaan aan de Klasse Industrie. Wel wordt op drie plekken tevens de emissietoetswaarde overschreden, waardoor –als dat in een partijkeuring ook bij het mengmonster het geval zou zijn- uitloogonderzoek noodzakelijk is. Uitloging vanuit TGG leidt niet tot een emissie boven de maximum emissiewaarde voor GBT (1,9 mg/kg) en ligt gemiddeld op 45% van die waarde. In het grondwater zijn geen gehalten aangetroffen boven het "indicatief niveau voor ernstige verontreiniging" (70 µg/L): de waardes zijn nergens boven de 20 µg/L.

Zink

Zink is aangetroffen in de TGG met gehalten die liggen boven de maximumwaarde voor de (bodemgebruiks)Klasse Industrie van 720 mg/kg ds. Op een locatie (G2, op een diepte van 8-10 m onder mv) is een gehalte aangetroffen van 803 mg/kg.ds). Dit gehalte is gelijk aan de interventiewaarde. De gehalten aangetroffen op andere locaties in de TGG, voldoen aan de Klasse Industrie. Wel wordt op diverse plekken de emissietoetswaarde (ETW) overschreden, zodat aanvullend uitloogonderzoek noodzakelijk is om de daadwerkelijke emissie vast te stellen. De uitloging van TGG (<0,05%) leidt niet tot een emissie boven de maximum emissiewaarde voor GBT (2,1 mg/kg). In het grondwater wordt geen gehalte boven de interventiewaarde aangetroffen.

4.4.3 Organische verontreinigingen

PAKs

PAKs zijn aangetroffen in de TGG in gehalten boven de detectiegrens. Het gaat dan vooral om de thermisch gemakkelijk afbreekbare PAK-verbindingen (naftaleen en fenantreen). Het gehalte van de som-PAKs ligt echter meestal onder de achtergrondwaarde, en in drie gevallen wordt voldaan aan de (bodemgebruiks)Klasse Wonen.

In het grondwater is in twee peilbuizen de somfractie vastgesteld boven de 1 (B13, B14), en bovendien worden verhoogde gehalten naftaleen gemeten op diverse locaties. Deze lijken echter –gezien de geringe gehalten in de TGG– niet aan TGG toe te schrijven. Gezien de locatie (gelegen nabij bij de oude veerhaven) zijn historische PAK verontreinigingen niet uit te sluiten. Ook in het verkennend bodemonderzoek is in een enkel mengmonster een verhoogde PAK-gehalte aangetroffen.

Fenolen

Fenolen (vooral fenol zelf) worden op diverse locaties in meetbare gehalten aangetroffen in het grondwater waarbij de concentratie tussen de interventiewaarde en de streefwaarde ligt. Fenol wordt ook aangetroffen in de TGG. Het hoogst gemeten gestandaardiseerde gehalte is 1,57 mg/kg (boven de maximumwaarde voor (bodem)gebruiksklasse Industrie. De overige TGG monsters voldoen aan deze maximumwaardes en vallen in de bodemgebruiksklasse Industrie (2x) of de achtergrondwaarde (overige monsters). Daarmee is fenol in het grondwater waarschijnlijk toe te schrijven aan de TGG. In het oppervlaktewater worden fenolen niet aangetroffen in de kwelsloot of het buitendijks natuurgebied.

Chloorbenzenen

Chloorbenzenen worden in meetbare gehalten aangetroffen in de TGG (in diverse monsters voor diverse componenten, maar de gehalten blijven onder de maximumwaarde voor

(bodem)gebruiksklasse Industrie. In het grondwater en oppervlaktewater worden ze echter niet aangetroffen.

PCB

De som-PCB (sommatie van zeven veelvoorkomende polychloorbifenylen) is in de TGG onder de achtergrondwaarde of voldoet aan de (bodemgebruiks)Klasse Wonen (driemaal). In het grondwater is in het algemeen ook geen PCB verontreiniging aangetroffen. Alleen bij peilbuis B14 ligt de som-PCB in het grondwater (0,04 µg/L) boven de interventiewaarde van 0,01 µg/L, voornamelijk door aanwezigheid van PCB180 en PCB153. Het gaat hier om een peilfilter waar ook PAKs boven de interventiewaarde zijn aangetroffen. Gezien de locatie (gelegen nabij bij de oude veerhaven) zijn net als bij PAK historische PCB verontreinigingen niet uit te sluiten en ook in het verkennend bodemonderzoek is in een enkel mengmonster een verhoogd PCB-gehalte aangetroffen.

Tolueen

Tolueen is aangetroffen in monsters genomen uit de TGG. De gemeten gehalten liggen in drie gevallen boven de maximumwaarde voor de (bodemgebruiks)Klasse Industrie (1,25 mg/kg). Het gaat daarbij om: locatie B12-2 (op een diepte van 2-3 m -MV) 1,9 mg/kg, locatie B3.1 (op een diepte van 4-5 m -MV) 8 mg/kg, locatie B12 (op en diepte van 6.5-7,5 m -MV) 1,7 mg/kg. Deze gehalten liggen echter ruim onder de interventiewaarde van 32 mg/kg.

In het grondwater wordt tolueen in meetbare gehalten aangetroffen op diverse plekken, maar nergens boven de streefwaarde (7 µg/L).

Tetrahydrofuraan (THF)

THF is in het grondwater aangetroffen op locatie EC-102 (op 3,50-4,0 m-MV), in het naast de dijk gelegen landbouw gebied in een concentratie van 2.000 µg/L. Deze waarde ligt ruim boven de interventiewaarde van 300 µg/L. THF is tevens aangetroffen in een verhoogde waarde in het diepere peilfilter (5 µg/L op 9,00-10,00 m-MV) van EC-102, maar bij een her-analyse is de stof niet meer aangetroffen. De plotselinge hoge concentraties op beide diepten duiden op een verontreiniging van bovenaf (de peilbuizen zijn immers niet van boven afgesloten), die niet gerelateerd is aan de TGG.

Per- en PolyFluorAlkyl Stoffen (PFAS)

PFAS zijn een categorie stoffen die bestaan uit PFOS (perfluorooctaansulfonzuur), Perfluorooctaanzuur (PFOA), GenX en hun afbraakproducten. In dit onderzoek is gekeken naar de aanwezigheid van 26 van deze stoffen (zie bijlage H voor nadere informatie). Deze, nog niet genormeerde, stoffen hebben zeer recent aandacht gekregen in het milieubeleid en daarom heeft RWS besloten ook na te gaan of deze stoffen aanwezig zijn²⁵.

In de acht geanalyseerde TGG grondmonsters is PFAS nauwelijks aangetroffen. Met uitzondering van een meting (locatie B17), zijn alle geanalyseerde PFAS-waarden in de grondmonsters beneden de bepalingsgrens. In het TGG monster van locatie B17 (4,30–5,30 m-MV) is een PFOS-gehalte gemeten van 0,2 µg/kg. Dit gehalte ligt boven de bepalingsgrens van 0,1 µg/kg. De aanwezigheid van een geperfluoreerde verbinding geeft aan dat de TGG een mogelijke bron is voor PFAS, maar een waarde in acht grondmonsters waarbij 15 verbindingen zijn gemeten is onvoldoende indicatie voor voorkomen. Dit wijst op de mogelijke aanwezigheid van andere bronnen van PFAS, of een grote mate van heterogeniteit in de samenstelling van de TGG en in de PFAS verbindingen aanwezig in de TGG.

²⁵ Kamerbrief: https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2019Z07141&did=2019D14685

Uitvoering van uitloogtesten zullen uitwijzen welke verbindingen, behorende tot PFAS, uitlogen (uitspoelen) uit de TGG. De uitloogbaarheid van PFAS in deze TGG is echter niet experimenteel onderzocht.

In tegenstelling tot de grondmonsters zijn meerdere PFAS verbindingen (11 van de 26) aangetroffen in grondwater op meerdere locaties. Over de herkomst van de kleinere PFAS (koolstofketen <C8) wordt verschillend gedacht. Het zou eventueel kunnen bestaan uit afbraakproducten van de stoffen met langere koolstofketens zoals PFOS en PFOA, aangegeven in de achtergrondinformatie, of afkomstig zijn uit het productieproces van thermische reiniging. Het is daarom niet uitgesloten dat PFOS en de kortere verbindingen aanwezig in het grondwater afkomstig zijn van de TGG. Of PFOA afkomstig kan zijn van de TGG kan niet bevestigd worden op basis van de geanalyseerde TGG monsters.

PFAS zijn aangetroffen boven de bepalingsgrens in het grondwater, slootwater en zeewater in de Perkpolder. De gemeten waarden zijn laag en voor PFOA beneden het toelaatbaar risiconiveau in grondwater (0,0875 µg/L). Eén PFAS verbinding, PFOS, is aangetroffen in een TGG monster van Perkpolder. De resultaten zijn niet eenduidig en wijzen niet op een duidelijke bron van PFAS. Gezien de voorkennis en de daarbij behorende behandeling van TGG voor het wordt toegepast, is het aannemelijk dat de PFAS uit de TGG afkomstig is, maar zeewater zou ook een mogelijke bron kunnen zijn. In januari zijn baggerwerkzaamheden door waterschappen opgeschort door de aanwezigheid van PFAS in gebaggerd sediment (H2O, 2019).

De beoordeling van stoffen behorende tot de PFAS is op dit moment moeilijk, aangezien nog geen norm bekend is, en omdat de gemeten gehalten dicht liggen bij de berekende meetlimiet. Verwacht wordt dat het normkader, en de meet- en conserveringsmethode de komende jaren verbeterd zullen worden, op basis waarvan toetsing kan plaatsvinden en de meetstrategie beter kan worden beoordeeld.

Dioxines

Dioxines, dibenzofuranen en dioxine-achtige PCB's zijn bepaald in monsters genomen in de TGG, in de omliggende grond en in het grondwater. In de TGG zijn daarbij een aantal stoffen aangetroffen, De som TEQ (een sommatieparameter waarin meer milieubelastende stoffen een zwaarder gewicht krijgen) blijft echter in alle gevallen onder de achtergrondwaarde. Ook in het grondwater worden enkele stoffen aangetroffen, maar dit wordt toegeschreven aan de aanwezigheid van zwevend stof in het water.

α-HCH en β-HCH

In de TGG zijn ook α-HCH (hexachloorhexaan) en β-HCH aangetroffen. De hoogste waarde voor α-HCH (gestandaardiseerd gehalte van 0,0371 mg/kg d.s.) is aangetroffen in B14 (5,50-6,50 m-MV), terwijl de hoogste waarde voor β-HCH (gestandaardiseerd gehalte van 0,49 mg/kg d.s.) is aangetroffen in B12-2 (5,00-6,00 m-MV). Echter, in het grondwater zijn deze stoffen niet aangetroffen.

DDT, DDE en DDD

De bestrijdingsmiddelen DDT, DDE en DDD worden in diverse monsters aangetroffen. In de meeste gevallen zijn deze monsters genomen in zand, klei of veen, maar niet in de TGG. Daarbij wordt de achtergrondwaarde nergens overschreden. In het grondwater worden deze stoffen niet aangetroffen.

Drins

In de TGG zijn ook drins aangetroffen. In diverse monsters zijn dieldrin, endrin en isodrin aangetroffen. Ter plaatse van B12-2 is dieldrin aangetroffen. De somwaarde voor drins overschrijdt daarbij eenmaal de maximumwaarde voor (bodemgebruiks)Klasse Wonen. Op locatie B8 1,50-2,00 m-MV bedraagt de som 0,0775 mg/kg, maar deze waarde blijft wel onder de maximumwaarde voor (bodemgebruiks)Klasse Industrie (0,14 mg/kg). Echter, in het grondwater zijn deze stoffen niet aangetroffen.

4.4.4 Andere parameters

pH

De pH is een maat voor de zuurgraad en in de TGG is de pH hoger dan de omgeving. De pH tijdens uitloogonderzoek van TGG neemt weliswaar iets af maar blijft in veel gevallen rond de 9 (hoogste waarde in TGG is 10,2). Grond direct onder de TGG heeft een normale pH (behalve op een locatie: in B14 wordt in het zand direct onder de TGG een pH-KCl van 11,4 gemeten), en ook de pH in het grondwater is niet verhoogd. Daarmee zijn geen ecologische effecten te verwachten buiten de TGG. De hoge pH wordt gebufferd door de aanwezigheid van calcium, dat ook in een relatief hoge concentratie aanwezig is. De hoge pH kan een van de redenen zijn waarom de uitloging van diverse metalen beperkt is. Bij een verlaging van de pH zal de uitloging toenemen (Steketee, 2007).

4.5 Kwaliteit en dikte van de afdeklaag met grasbekleding

De afdichtende laag boven de TGG is van belang, omdat ze direct contact met de TGG moet verhinderen. Bovendien is deze laag nodig voor de beworteling van de grasbekleding. Afdeklaag en grasbekleding moeten voldoende erosiebestendig zijn om de belasting onder omstandigheden van hoogwater te weerstaan en dus de waterveiligheid garanderen.

Onderzoek naar de afdeklaag heeft plaatsgevonden in de Deelgebieden A en C (Figuur 2.2). Het onderzoek in Deelgebied D (de voormalige veerhaven) moet nog plaats vinden. Voor onderzoek in Deelgebieden A en C zijn negentig boringen uitgevoerd om de dikte van deze laag te bepalen (Antea, 2018). Bovendien zijn het zoutgehalte en de milieukundige eigenschappen van de grond bepaald. De locaties van onderzoek staan weergegeven in Figuur 4.2. Aanvullend is ook de graslaag, die aanwezig is bovenop de afdeklaag, beoordeeld.

Uit de profielbeschrijvingen blijkt dat de afdeklaag tot de maximaal geboorde diepte van 1,5 m-MV overwegend bestaat uit zandige klei. Plaatselijk wordt siltige klei of zand aangetroffen. De toplaag varieert in dikte van minimaal 0,6 m-MV tot de aangehouden maximale boordiepte van 1,5 m-MV en is daarmee altijd dikker dan de minimum eis van 0,50 m uit de BBk zoals die geldt voor de dikte van een leeflaag bovenop een GBT. Gemiddeld heeft de toplaag een dikte van 1,1 à 1,2 m -MV. Bij het uitvoeren van het veldonderzoek zijn in de toplaag geen waarnemingen gedaan die duiden op bodemverontreiniging. De kwaliteit van het gras is dan ook niet beïnvloed door aanwezigheid van de TGG.



Figuur 4.2 Locaties waar de toplaag is onderzocht (zwarte stippen) ten opzichte van andere analyses

4.5.1 Zoutgehalte en anionen

Op basis van het chloridegehalte en het watergehalte van de monsters is het zoutgehalte bepaald. De bepaling is analoog uitgevoerd aan RAW proef 38 (CROW, 2015). De uitkomst van het zoutgehalte is vergeleken met de maximumwaarde voor klei in dijken zijnde van 4 g/L in het porievocht (TAW, 1996). Het zoutgehalte dat in de afdeklaag is vastgesteld, was 0,4 g/L en nergens hoger dan 2,02 g/L en dus voldoet de grond van de afdeklaag.

Diverse monsters hebben sulfaatgehalten die voor grond vrij hoog zijn (tot 1.100 mg/kg.ds, bij negen van de 25 mengmonsters boven de 200 mg/L)²⁶. Het gemeten bromidegehalte is overal onder de 5 mg/kg. Verhoogde gehalten voor bromide zijn waargenomen in de TGG, en bovendien is de bromide goed uitloogbaar, en daarom is het onwaarschijnlijk dat uitloging plaatsvindt naar de afdeklaag, maar veeleer naar de ondergrond.

4.5.2 Milieukundige beoordeling

Bij de bepalingen zijn mengmonsters samengesteld van de doorwortelde toplaag; de bovenste 20 cm. Bovendien is onderscheid gemaakt tussen de hoger gelegen en op het steile talud gelegen gedeelten aan de ene kant ("het droge deel") en het flauwe talud dat daarop volgt ("het natte deel"²⁷). De strategie van het onderzoek is gebaseerd op onderzoek op een locatie met heterogene diffuse verontreinigingen op schaal van monsterneming (VED-HE) uit de NEN 5740 (NEN, 2009/2016). Bij het onderzoek zijn de volgende zaken bepaald: zware metalen (barium, cadmium, kobalt, koper, kwik, lood, molybdeen, nikkel en zink), PCBs, PAKs (PAK 10 VROM),

²⁶ Deze behoren tot de 20% hoogste waarden voor bodems die niet zijn belast met lokale verontreinigingsbronnen.

²⁷ Hier zijn op sommige momenten natte plekken signaleerd. Indien het om uit de dijk logend materiaal zou gaan, zou een verontreiniging hier mogelijk kunnen uit treden. Vandaar dat deze locaties afzonderlijk zijn beoordeeld.

minerale olie, Zuurgraad (pH-KCl), Bromide, Chloride, Sulfaat, Fluoride, antimoon, tin, seleen, arseen en vanadium.

Droge deel

In de doorwortelde toplaag (0-20 cm) van Deelgebied A wordt plaatselijk een licht verhoogd gehalte aan PAKs aangetoond. In de doorwortelde toplaag van Gebied C wordt plaatselijk een licht verhoogd gehalte aan minerale olie gemeten. In de overige grondmonsters binnen het droge deel van de waterkeringen worden geen verhoogde gehalten aan geanalyseerde parameters aangetoond.

Natte deel

In de doorwortelde toplaag van Deelgebied A wordt plaatselijk een licht verhoogd gehalte aan molybdeen aangetoond. In de diepere bodemlaag van de toplaag wordt plaatselijk een licht verhoogd gehalte aan minerale olie gemeten. In de doorwortelde toplaag van Gebied C wordt een licht verhoogd gehalte aan PAKs aangetoond. In de overige grondmonsters binnen het droge deel van de waterkeringen worden geen verhoogde gehalten aan geanalyseerde parameters aangetoond.

Toetsing Besluit bodemkwaliteit

De analyseresultaten van de onderzochte grond(meng)monsters zijn getoetst aan de normen uit het Besluit bodemkwaliteit (BBk). Hieruit blijkt dat de grond met een verhoogd gehalte aan minerale olie wordt geclassificeerd als (bodembebruiks)Klasse Industrie. De grond met een verhoogd gehalte aan PAKs in Deelgebied C wordt geclassificeerd als (bodembebruiks)Klasse Wonen. Datzelfde geldt voor een van de boringen, waarvan de toplaag boven de TGG is geanalyseerd. De overige grondmonsters worden geclassificeerd als klasse Achtergrondwaarde.

Grasbekleding

De toestand van de graszode is nader punt van onderzoek geweest (EUR-ECO en Deltares, 2018). De ontwikkeling van de grasmat wijkt niet significant af van een normale grasmat. De grasbekleding van de dijk bestaat grotendeels uit Rood zwenkgras (afkomstig uit inzaaimengsel D2). De grasmat is nog relatief jong en zal zich nog enkele jaren door ontwikkelen. Er is sprake van een gesloten graszode met een dichte doorworteling (conform het wettelijke beoordelingsinstrumentarium voor primaire waterkeringen; WBI2017).

4.6 Uitloogbaarheid van stoffen die zijn aangetroffen in de TGG

De TGG ligt grotendeels boven de grondwaterspiegel, maar de TGG staat wel in contact met het bodemvocht in de onverzadigde zone. Op enkele plaatsen ligt de onderkant van de TGG trouwens lager dan de grondwaterstand. Infiltrerend regenwater kan stoffen uitspoelen uit de TGG en meenemen naar het grondwater.

Uitloogonderzoek is verricht op enkele grondmonsters genomen uit de TGG. Het onderzoek is uitgevoerd conform NEN7373 (uitloogonderzoek in zeven stappen) (NEN, 2004a) en NEN7383 (uitloogonderzoek in twee stappen) (NEN, 2004b). De resultaten tonen geen uitloging aan boven de maximale emissiewaarde voor GBT, behalve voor antimoon (tweemaal) en molybdeen (eenmaal). Aangezien het hier om steekmonsters gaat, en geen mengmonsters gemaakt zijn voor een partijkeuring, valt daaruit niet te concluderen dat de uitloging ook daadwerkelijk boven de norm is geweest. Indien, als invulling van de zorgplicht, voor sulfaat en bromide de uitloognorm voor niet-vormgegeven bouwstoffen wordt aangehouden, dan zijn er in een zoetwater milieu diverse overschrijdingen van de maximale uitloogbaarheid van sulfaat,

chloride en bromide. Indien de norm voor een zoutwater milieu wordt toegepast (wat passend is bij een zeedijk zoals in Perkpolder), overschrijdt slechts een monster de norm (voor chloride).

4.7 Stoffen die aangetroffen zijn in grond- en oppervlaktewater

4.7.1 Gehaltes in grond (inclusief TGG)

Uit de metingen komt, wat betreft de zware metalen, het beeld naar voren van grond die voldoet aan een "typische" Klasse Industrie, op een normale (achtergrondwaarde) landbodem. Het lage gehalte aan organische verbindingen is tevens conform de verwachting voor thermisch gereinigde grond.

Het zeer hoge gehalte aan sulfaat, bromide en de hoge pH aangetroffen in de TGG zijn echter niet te verklaren met thermische reiniging alleen. Deze metingen zijn wel consistent met het verkennende onderzoek uitgevoerd op de TGG. Dat onderzoek is gevoerd op emmermonsters van hetzelfde materiaal dat ook in de dijk is toegepast (Deltares, 2016b). Verrassend zijn de meetbare gehaltes aan diverse organische verontreinigingen (onder anderen benzeen, naftaleen, fenantreen, 1,2,4-trichloorbenzeen, diverse dioxines, α - en β -HCH) die zijn aangetroffen in de TGG. Van een aantal klassen (zoals PAKs) zijn het juist de zeer vluchtige verbindingen die aangetoond worden, terwijl minder vluchtige verbindingen niet zijn aangetroffen. Driemaal is in de TGG een toluengehalte aangetroffen die ligt boven de maximumwaarde voor de (bodemgebruiks)Klasse Industrie en dat geeft aanleiding om het gehalte aan benzeen en toluen ook in het grondwater te blijven volgen.

De hoge pH gemeten in de grondmonsters van de TGG, staat in contrast tot de pH in de grondmonsters genomen op andere plekken in de ondergrond, waar reguliere waarden worden gemeten.

4.7.2 Grondwaterkwaliteit

Voor het onderzoek naar de samenstelling van het grondwater zijn peilbuizen geplaatst. De locaties van de peilbuizen zijn weergegeven Figuur 2.5. Grondwatermonsters zijn onttrokken aan de peilbuizen. Zeven bemonsteringsrondes zijn uitgevoerd (Bijlages G1 en H van Bijlagerapport B).

Het oppervlaktewater is bemonsterd in de kwelsloot en in het getijdegebied ter hoogte van meetraai A1-A2 (Figuur 2.2). Tijdens de laatste bemonsteringsronde is het zeewater bemonsterd bovenstrooms en benedenstrooms van de TGG, aanwezig in de kern van de dijk, en het aangrenzende getijdegebied.

In de grondwatermonsters zijn op enkele plaatsen gehalten boven de tussenwaarden gemeten voor de volgende metalen; barium, kwik, molybdeen, nikkel en lood. Dat geldt ook voor de organische verbindingen (minerale olie, cresolen) en enkele PAKs²⁸ (vooral naftaleen). Arseen is gemeten boven de interventiewaarde. Voor de anionen (sulfaat en bromide) zijn door de overheid geen normwaarden vastgesteld.

De aangetroffen gehaltes zijn vergeleken met de normering zoals die in Nederland wordt gehanteerd (Staatscourant, 2013). Voor de categorie metalen blijkt dat voor die stoffen waar een interventiewaarde voor is afgegeven, enkele stoffen in het grondwater zijn aangetroffen

²⁸ Hierbij wordt ook de zogenaamde somfractie in een enkel monster overschreden.

met een gehalte boven de interventiewaarde (arseen, barium²⁹, kwik en lood). Voor kwik en lood geldt dat het in één monster is aangetroffen in een van de monitoringrondes. Opvallend is dat in de andere rondes deze stoffen niet, of niet in een hoge concentratie zijn waargenomen. Kortom, wellicht dat de hoge waarneming een gevolg is van beïnvloeding tijdens plaatsing van de peilbuis of berust op een meetfout. De aangetroffen gehalten voor arseen en barium zijn echter consistent hoog.

Voor de categorie anionen (sulfaat en bromide) zijn binnen het Besluit bodemkwaliteit geen normen afgegeven in het grondwater. Opgemerkt kan worden dat de gehalten voor natrium en sulfaat die zijn waargenomen, toenemen met de diepte. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van zout grondwater in de ondergrond. Voor bromide is wel vastgesteld dat uitloging plaatsvindt vanuit de TGG naar de bovenste zandlaag, waardoor het vermoeden bestaat dat ook andere goed oplosbare en mobiele stoffen (zoals sulfaat) uitlogen. De bromide-concentratie is niet gewijzigd in kwetsbare objecten zoals de kwelsloot, de diepe zandlaag en in de ondergrond van het landbouwgebied. In zout water, aanwezig in de kwelsloot en de diepe zandlaag, is bromide overigens een normaal voorkomende component.

Voor de categorie organische verbindingen zijn op enkele locaties, voor PAKs en PCBs gehalten aangetroffen die liggen boven de interventiewaarden. Een van deze locaties is B14 op de dijk bij de oude Veerhaven. Op deze locatie wordt ook naftaleen aangetroffen. Gezien de uitgevoerde activiteiten in het verleden op deze locatie is een historische verontreiniging niet uit te sluiten. Toluene wordt op meerdere plaatsen in meetbare gehalten aangetroffen, maar nergens boven de interventiewaarde.

De pH van het grondwater ligt in alle grondwatermonsters tussen de 6,5 en de 7,5. Gezien de gemeten gehalten is dus sprake van een neutrale situatie zoals van nature voorkomt in de ondergrond.

4.7.3 Oppervlaktewater van de kwelsloot

Het is waarschijnlijk dat verspreiding van bromide uit de TGG naar de bermsloot plaatsvindt. De samenstelling van het oppervlaktewater in de kwelsloot wordt echter bepaald door menging van verschillende bronnen aan water. De grootste bijdrage wordt geleverd door de aanvoer van water afkomstig van de verticale drainagebuizen als onderdeel van de kwelvoorziening. De kwaliteit van het oppervlaktewater in de kwelsloot wordt dan ook bepaald door de samenstelling van het drainage water.

De verspreiding van bromide afkomstig van de TGG leidt dan ook niet een tot significant verhoogd gehalte. Wel is in de laatste twee monitoringsrondes voor arseen een meetbaar gehalte aangetroffen. Ter plaatse van B8 is in het ondiepe filter circa 10 µg/l terwijl de detectiegrens 5 µg/l bedraagt. Gezien het feit dat arseen is waargenomen in de laatste twee meetrondes, is het belangrijk om de ontwikkeling in de gaten te houden.

Voor deze locatie B8 dient rekening te worden gehouden met het feit dat, in afwijking van het ontwerp, TGG is vastgesteld in het boorprofiel. Gezien de mengverhoudingen lijkt het niet waarschijnlijk dat een eventuele verhoogde waarde in de kwelsloot veroorzaakt wordt door de aanwezigheid van de TGG.

²⁹ Voor barium is in grondwater geen interventiewaarde vastgesteld en gaat het formeel om een INEV (een indicatieve waarde voor een ernstige verontreiniging).

4.8 Effecten op de omgeving

Als de interventiewaarde wordt overschreden zijn in principe maatregelen noodzakelijk. Of er op korte termijn al maatregelen moeten worden getroffen, kan vervolgens worden bepaald in een nader onderzoek en hangt af van locatie specifieke effecten. Drie effecten worden daarbij onderscheiden; *het ecologische effect*, *het humane effect* en *het verspreidingseffect*. Het ecologische risico kan worden uitgelegd als het risico dat flora (waaronder de vegetatie) en fauna (de dieren) lopen. Het humane risico gaat over het risico dat de mens loopt.

Voor de beoordeling van *het ecologische en het humane effect* is het van belang dat de TGG is afgedekt, en afgedekt blijft, met een laag grond. Deze laag is juist ook bedoeld om de contactmogelijkheden nagenoeg onmogelijk te maken. De laag moet dan zo dik zijn dat de wortels van het gras op de dijk de TGG niet kan bereiken en dus niet in staat zijn om eventuele stoffen vanuit de TGG op te nemen. Met de huidige begroeiing is dat het geval. De dikte van de laag belemmert dieren als konijnen om, via het graven van holen, in contact te komen met de TGG. Ook de contactmogelijkheden van mensen met TGG zijn nagenoeg onmogelijk door de aanwezigheid van de afdeklaag. *De ecologische en humane effecten* kunnen bij normaal gebruik dan ook als verwaarloosbaar klein worden beschouwd. Het RIVM heeft het humane risico verder beschreven (RIVM, 2018) .

Het verspreidingseffect gaat in op de verspreidingspaden (bijvoorbeeld via het grondwater) die aanwezig zijn om opgeloste stoffen naar kwetsbare objecten (bijvoorbeeld landbouwgrond of oppervlaktewater, maar ook aanwezige zandige lagen waar het water gemakkelijk doorstroomt) te transporteren. Daarbij spelen meerdere aspecten een rol. In de TGG zijn stoffen waargenomen die van oorsprong niet in een bodemmilieu thuishoren. Voor een paar stoffen is op enkele locaties de interventiewaarde overschreden. We spreken dan van een potentieel verspreidingsrisico. In hoeverre verspreiding optreedt, is mede afhankelijk van de uitloogbaarheid van dergelijke stoffen vanuit de TGG en de hoeveelheid water dat in contact komt met de TGG. De waargenomen gehalten in het grondwater wijzen op verspreiding van schadelijke stoffen vanuit de TGG naar de omgeving. Wel is (op basis van bromide) doorslag naar de kwelsloot aangetoond aangezien in diverse peilbuizen in de buurt van de kwelsloot verhoogde gehalten zijn aangetroffen. Verhoging van de bromidegehalten in de kwelsloot zelf is echter niet aangetroffen. Dat komt waarschijnlijk door de hoge achtergrondwaarde (vanuit zout water) en doorspoeling in het systeem, waardoor de bijdrage van doorslag van uit TGG geloogd bromide naar de sloot beperkt is.

De conceptuele benadering van de verspreiding gaat er, mede door de aanwezigheid van het kwelsysteem, vanuit dat de grondwaterstroming beperkt blijft tot het eigen zoete of zoute grondwatersysteem van de dijk omdat er geen menging tussen het zoete en het zout grondwater optreedt. Indien dat ook daadwerkelijk zo is, dan zal de verspreiding via het grondwater van opgeloste stoffen afkomstig van de TGG beperkt zijn. Bovendien blijkt dat onder de TGG een kleilaag aanwezig is, die voor weinig uitwisseling tussen TGG en de diepere ondergrond zorgt, wat de verspreiding verder beperkt. Deze conceptuele benadering is in overeenstemming met de beoordeelde analyses die inmiddels beschikbaar zijn.

Er zijn echter wel locaties die kwetsbaar zijn op basis van de (geo)hydrologie en de aanwezigheid van de TGG. Op deze plekken zal eerder uitspoeling kunnen plaatsvinden dan op andere plekken. Het gaat daarbij om plekken in de nabijheid van TGG waar de kleilaag onder de TGG afwezig is (locatie B14 in Deelgebied D) en de locatie (locatie B8, Deelgebied A) waar TGG is aangetroffen in de boring, waar dit op basis van het ontwerp niet de verwachting is. Ook op deze locatie staat de gevonden TGG in direct contact met een drainerende zandlaag die de verbinding vormt met de kwelsloot.

5 Onderzoeksresultaten TGG en constructie dijk³⁰

5.1 Inleiding

5.1.1 Onderzoeksvragen met betrekking tot de geotechnische aspecten

De onderzoeksvragen met betrekking tot de geotechnische eigenschappen van het toegepaste TGG materiaal te Perkpolder zijn zoals ook vermeld in paragraaf 2.2 de volgende:

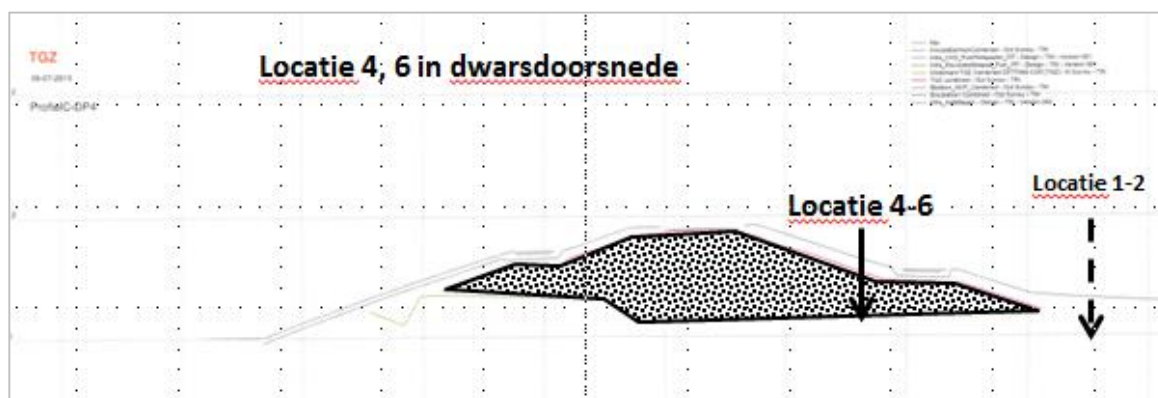
- Voldoet de toegepaste TGG aan de toepassingseisen voor materialen in dijken?
- Verschilt de samenstelling van het toegepaste TGG in haar classificatie-eigenschappen met 'klassiek zand' voor ophogingen?
- Treedt er verkitting op?

De eerste vraag heeft een normatief karakter; voldoet het materiaal aan de richtlijnen. Belangrijker zijn eigenlijk de tweede en derde vraag. De richtlijnen voor materialen in dijken zijn opgesteld vanuit ervaringen met natuurlijk zand (of klei). Ze stellen eisen aan samenstellingen waarbij we weten dat natuurlijk zand daarbij eigenschappen heeft zoals sterkte en doorlatendheid die van belang zijn voor de standzekerheid van een waterkering. TGG is echter een samengesteld materiaal waarbij de samenstelling (in geotechnische zin voornamelijk korrelverdeling) sterk kan afwijken van natuurlijk afgezet zand. In dit onderzoek is daarom specifiek onderzoek gedaan naar de sterkte en doorlatendheid. Deze beide eigenschappen verzekeren de standzekerheid van een waterkering.

5.2 Locaties en analyses

5.2.1 Bemonstering verkennend onderzoek

Op 25 september 2015 zijn zes locaties bemonsterd. De bemonstering heeft plaatsgevonden met behulp van een handboor. De locaties van de bemonsteringen staan aangegeven in de dwarsdoorsnede van Figuur 5.1. De exacte locaties zijn niet meer te achterhalen maar liggen verspreid binnen het Deelgebied C (Noord-Zuid) (Figuur 2.2) nabij Meetraai A1-A2 (Figuur 2.4). Op de locaties 4-6 is TGG aangetroffen en dus is de TGG hier bemonsterd.



Figuur 5.1 Dwarsdoorsnede met globale aanduiding monsterlocatie

³⁰ Dit onderzoek is gebaseerd op Bijlagerapport C: Geotechnische aspecten

Tijdens het verkennend onderzoek heeft de opdrachtgever 'handgeboorde' monsters genomen uit de TGG en vier emmers met resterende TGG beschikbaar gesteld. De monsters uit de handboringen waren van slechte kwaliteit omdat een deel van de fijne fractie vanwege de handboring niet kon worden meegenomen in het monster. De emmers met monstermateriaal waren random genomen uit de dumptruck zonder oog te hebben voor de representativiteit. Het materiaal uit deze emmers is als mengmonster gebruikt in het laboratoriumonderzoek. De resultaten daarvan zijn derhalve niet representatief voor de lokale situatie terwijl de resultaten van het nader onderzoek dat wel zijn. De verwijzing naar deze mengmonsters in de tabellen en figuren is aangegeven door 'E #'. Meer informatie over de onstername kan gevonden worden in Bijlagerapport C.

5.2.2 Nieuwe bemonstering in 2017/2018

De boringen uitgevoerd in de periode 2017-2018 hebben tot doel het verkrijgen van monstermateriaal (vaste stof) om (nadere) geotechnische en geochemische analyses uit te voeren. In de boorgaten zijn peilbuizen geplaatst ter bemonstering van het grondwater.

In de TGG bleek monstername door een kernboring niet mogelijk zodat gebruik is gemaakt van avegaarboringen. In geen van de boringen is een waterspoeling toegepast, om verstoring van de chemie tot een minimum te beperken. Wel kan de boring tot wat 'versmering' leiden van het geboorde materiaal.

De locaties van de boringen staan in Figuur 2.5. Niet elke boring is uitgevoerd in de TGG omdat er ook peilfilters geplaatst moesten worden buiten het gebied met TGG voor het bemonsteren van het grondwater. De boringen waar TGG is bemonsterd, zijn de locaties weergegeven met rode en groene punten en boring B15 door een geel punt in het noorden van het onderzoeksgebied. De boorstaten zijn opgenomen in Bijlagerapport C.

5.2.3 Uitgevoerde proeven in 2015/2016

In 2016 zijn verschillende monsters genomen en in twee batches verdeeld. Eén batch is gebruikt voor een fysische analyse door Wiertsema & Partners en Deltares in Delft. De andere batch is gebruikt voor geochemische analyse bij Eurofins Analytico en Deltares in Utrecht. Er zijn vijf verschillende materialen geanalyseerd. Meer informatie over de proeven is te vinden in Bijlagerapport C.

5.2.4 Uitgevoerde proeven in 2017/2018

Tijdens dit vervolgonderzoek zijn eveneens monsters genomen (verdeeld over drie tranches) en in PVC steekbussen overgebracht naar het geotechnische laboratorium van Deltares. Vervolgens zijn monsters geselecteerd voor het uitvoeren van diverse (milieu)chemische en geotechnische beproevingen. Een overzicht van de geotechnische proeven die zijn uitgevoerd en de feitelijke resultaten zijn te vinden in Bijlagerapport C.

Uit het boorprofiel blijkt dat direct onder de TGG in de regel een (dunne) kleilaag aanwezig is, met daaronder een (tussen)zandlaag, een veenlaag en een kleilaag bovenop het pleistocene zand. De grondwaterstand was steeds lager dan het niveau waarop de TGG zich bevindt. Kortom, de TGG in Perkpolder bevond zich in de onverzadigde zone. Tijdens de uitvoering van onderzoek naar de grondwaterstroming, is gebleken dat de onderkant van de TGG ook wel eens lager lag dan de grondwaterstand.

5.3 Resultaten geotechnisch onderzoek

5.3.1 Korrelverdelingen

Boring/ monster	Diepte [m-MV]	<63 μ m [%]	<2 μ m [%]	<2mm [%]	<2 μ m _{cor}
Monsters uit het verkennend onderzoek 2015/2016					
4	1,2 tot 1,7	9,3	0,8	58,2	1,4
6a	1,5 tot 2,0	5,3	0,6	54,0	1,1
6b	2,9 tot 2,5	5,6	0,7	52,6	1,3
6c	2,5 tot 3,2	5,2	1,0	62,2	1,6
E1	n.v.t. emmer	9,1	0,9	56,6	1,6
Monsters uit het aanvullend onderzoek 2017/2018					
B2,2 ²	2,3 tot 2,65 (NZ ³)	3,4	1,6	100	-
B2,2 ²	2,65 tot 3,0 (NZ ³)	19,3	7,4	100	-
B3,1 ¹	3 tot 3,5 (TGG)	20,5	5,2	70,4	7,4
B3.1 ¹	5 tot 5,5 (TGG)	24,2	5,1	7,6	6,6
B3.1 ¹	7 tot 7,5 (TGG)	22,9	5,3	74,7	7,1
B3.1 ²	3 tot 3,5 (TGG)	24,9	5,1	81,9	6,2
B3.1 ²	5 tot 5,5 (TGG)	22,9	4,6	83,2	5,5
B3.1 ²	7 tot 7,5 (TGG)	28,3	5,2	76,9	6,8
B3.2 ²	4 tot 4,5 (TGG)	24,5	6,7	78	8,6
G1 ¹	4 tot 5,5 (TGG)	20,9	4,9	66,1	7,4
G1 ²	4 tot 5,5 (TGG)	15,9	2,1	62,5	3,4
G2 ¹	4 tot 6 (TGG)	23,8	5,9	67,2	8,8
G2 ²	4 tot 6 (TGG)	21,2	4,3	66,4	6,5
G2 ¹	8 tot 10 (TGG)	24,0	6,8	61,2	11,1
G2 ²	8 tot 10 (TGG)	18,5	3,0	60,3	5,0
G3 ¹	4,5 tot 5 (TGG)	23,7	5,2	65,7	7,9
G3 ²	4,5 tot 5 (TGG)	19,0	2,9	64,8	4,5
B12 ²	3,5 tot 4,5 (TGG)	17,3	2,4	66,5	3,6
B12 ¹	3,5 tot 4,5 (TGG)	20,0	3,4	67,5	5,0
B12 ¹	5,5 tot 6,5 (TGG)	19,5	3,0	58,0	5,2
B12 ²	5,5 tot 6,5 (TGG)	16,0	1,9	57,6	3,3
B14 ¹	2,5 tot 3,5 (TGG)	19,6	3,9	66,0	5,9
B14 ²	2,5 tot 3,5 (TGG)	16,8	2,2	65,5	3,4
B14 ²	4,5 tot 5,5 (TGG)	15,0	1,9	57,1	3,3
B14 ¹	4,5 tot 5,5 (TGG)	18,7	3,9	57,5	6,8
<p><2μm_{cor} is de gecorrigeerde percentage van deeltjes <2μm als percentage van <2mm ¹ korrelverdeling na triaxiaaltest ² korrelverdeling na doorlatendheidstest ³ NZ: natuurlijk zand De fractie >63mm (stenen) is 0% in alle geteste monsters, De gemiddelde fractie 2mm<x<63mm is 32,5%, waarbij de grootste diameter 16mm is.</p>					

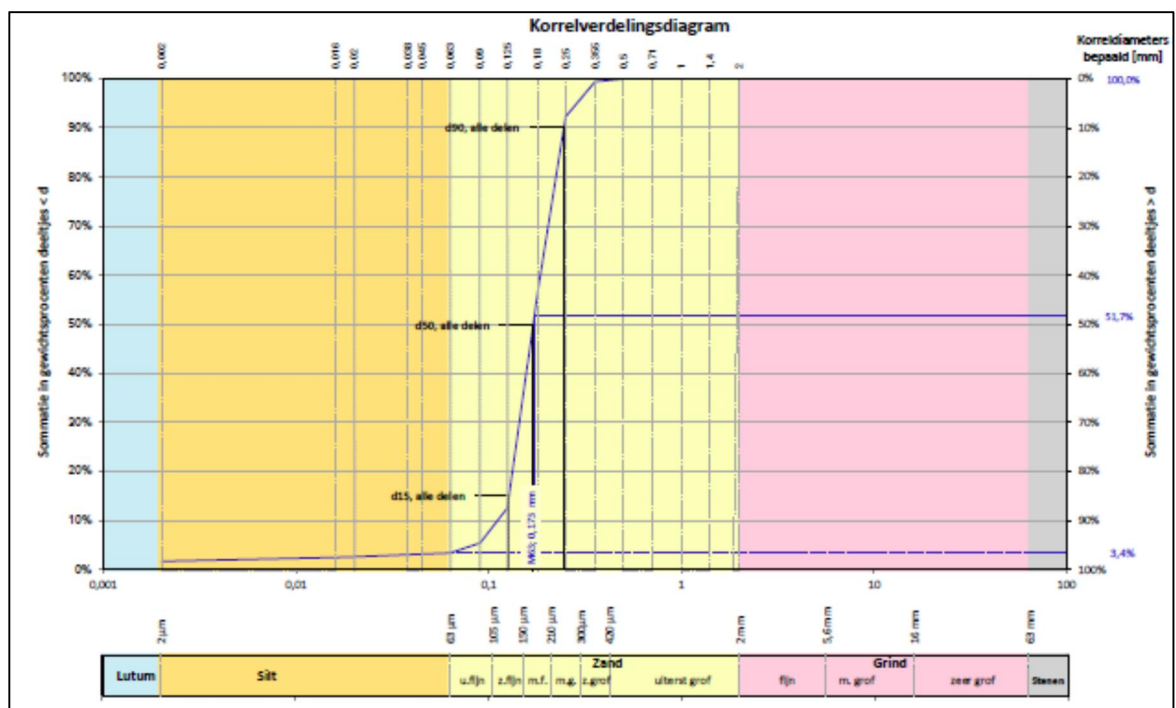
Tabel 5.1 Resultaten van de korrelverdelingen bepaald na uitvoeren triaxiaaltest en doorlatendheidstest

Materiaaleisen voor zand dat in een dijk gebruikt dient te worden is beschreven in de RAW Standaard 2015 (CROW, 2015) of de CUR 162 (CUR, 1992). In de CUR 162, Hoofdstuk 6 (“Ophoog- en aanvulmaterialen”) in paragraaf 6.1 worden de eisen van zand voor aanvulling en ophoging beschreven. Voor zand toegepast voor een aanvulling of een ophoging moet gelden dat:

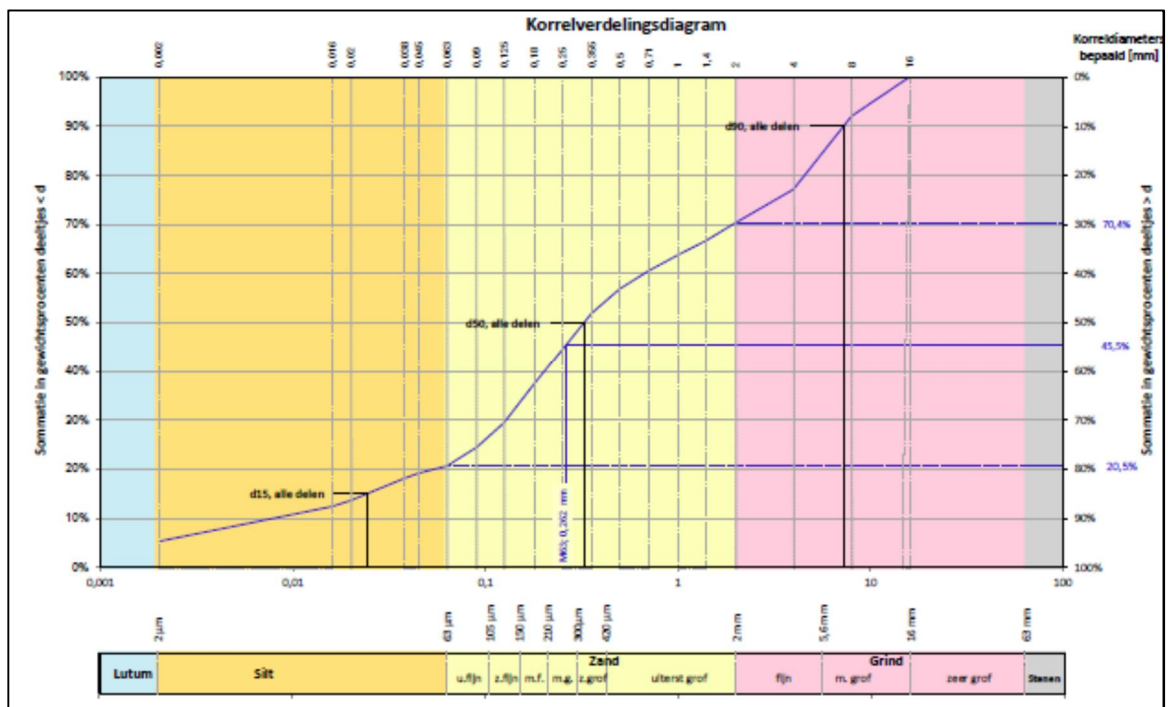
- Het zand uit mineraal materiaal moet bestaan.
- De fractie kleiner dan 2 mm mag ten hoogste 8% deeltjes kleiner dan 2 μm bevatten.
- Het gehalte aan deeltjes kleiner dan 63 μm mag ten hoogste 50% bedragen.
- Het zand moet ten opzichte van de maximale proctor-dichtheid (normale proef) in situ een verdichtingsgraad van ten minste 93% bereiken, terwijl de gemiddelde verdichtingsgraad tenminste 98% moet bedragen.

In totaal zijn binnen dit onderzoek 27 korrelverdelingen uitgevoerd. De korrelverdelingen zijn bepaald na afloop van het bepalen van de doorlatendheid en na uitvoering van de triaxiaalproef. Dit zijn zogeheten duplo-proeven. Een overzicht van de percentages van de in de CUR 162 van belang zijnde fracties is te vinden in Tabel 5.1. De eerste vijf korrelverdelingen in deze tabel zijn de resultaten van het onderzoek zoals uitgevoerd op de TGG uit 2016 (Deltares, 2016b).

In eerste instantie valt direct de hoge grindfractie op; het percentage > 2 mm. Dit geldt voor eigenlijk alle TGG monsters. Tevens heeft het TGG een relatief hoge fractie aan silt ($< 63 \mu\text{m}$) ten opzichte van de referenties van “natuurlijk zand” (B2.2) dat te doen gebruikelijk in de kern van de dijk wordt toegepast. Echter, bovenstaande resultaten laten zien dat voldaan wordt aan de eisen die gesteld worden aan de verschillende fracties en de korrelverdelingen. Hoewel voldaan wordt aan de regels conform de CUR, laten de zeefkrommen van de TGG wel een sterk afwijkend verloop zien ten opzichte van zand (Figuur 5.2 en Figuur 5.3).



Figuur 5.2 Zeefkromme op natuurlijk voorkomend zand (boring 2.2, 2,3 tot -2,65 m-MV) zoals gebruikt kan worden als ophoogzand



Figuur 5.3 Zeefkromme op het TGG-materiaal (Boring 3.1, 3.0 tot 3.5 m-MV). De vorm van deze zeefkromme is representatief voor het TGG-materiaal

Opvallend is het verschil in de vorm van de zeefkromme. Natuurlijk zand heeft een sterke sortering; een steile grafiek in een beperkt deel van de verschillende mogelijke fracties. De TGG vertoont echter een goede gradering; veel fracties zijn vertegenwoordigd. Wel zijn een paar vreemde overgangen aanwezig; bijvoorbeeld de overgang op 63 μm en de knik op 4mm. Een dergelijk verloop geeft duidelijk een samengesteld, niet natuurlijk voorkomend, materiaal van grind, zand en kleilig materiaal aan. Een meer gedetailleerde conclusie over de herkomst van het materiaal is op basis van de korrelverdelingen niet te trekken. Het vermoeden van bijmenging met materiaal afkomstig van thermisch gereinigd asfaltgranulaat (TAG) wordt onderschreven door de chemische eigenschappen (hoge pH, hoog calciumgehalte).

Wat tevens opvalt, is het verschil tussen de lutum en de silt fractie (< 2 μm en < 63 μm) in de '2016 monsters' en de '2018 monsters'. Dit is mogelijk te verklaren aan de hand van de grove monsternamen in 2016. De monsters waren hier met de hand gestoken waarbij waarschijnlijk een groot deel van de fijnere fractie verloren is gegaan. Gezien de meer gecontroleerde monsternamen, de grotere hoeveelheid en hogere kwaliteit van de monsters, zijn de uitkomsten van de resultaten van de '2018 proeven' betrouwbaarder.

Tot slot wordt opgemerkt dat de eisen gesteld aan de korrelverdeling voor zand geen functionele eisen zijn. De functionele eisen zoals gewicht, doorlatendheid, sterkte en stijfheid en vormvastheid zijn bij natuurlijk gevormd zand gecorreleerd aan de korrelverdeling en de samenstelling. Hierdoor kan de functionaliteit van zand eenvoudig worden beoordeeld aan de hand van korrelverdelingen. Voor alternatieve materialen gelden deze correlaties mogelijk niet en dienen de werkelijke mechanische eigenschappen te worden beoordeeld of deze voldoen aan de functionele eisen die gesteld worden aan het materiaal. Het al dan niet voldoen aan de afgeleide eisen met betrekking tot de korrelverdeling is daarom niet zo belangrijk, het gaat om de mechanische eigenschappen welke in de navolgende paragrafen zijn bepaald.

5.3.2 Triaxiaalproeven

De onderstaande tabel (Tabel 5.6) geeft de resultaten van de effectieve cohesie en effectieve frictie zoals gevonden bij de verschillende proefseries.

Boring	Diepte –MV [m]	c' ¹ [kPa]	phi' [graden]
Onderzoek van Oord/Fugro	-	22,3	33,7
Deltares 2016, vers materiaal	-	20,5	41,1
Deltares 2016, verouderd materiaal	-	21,1	48,4
B3.1	3,25	7,4 _(15,4)	35
B3.1	5,25	7,5 _(20,5)	37,2
B3.1	7,25	10,3 _(18,0)	35,4
G1	4,75	0,4 _(11,3)	38,0
G2	5,0	3,7 _(10,2)	35,7
G2	9,0	1,7 _(28,0)	38,7
G3	4,75	4,9 _(12,7)	39,5
B12	4,0	10,4 _(19,0)	36,9
B12	5,0	13,6 _(34,6)	38,9
B14	3,0	7,2 _(16,5)	36,2
B14	4,0	5,8 _(25,1)	36,6
¹ De waarden tussen haakjes zijn de cohesiewaarden bij 2% rek. Dit is de hoeveelheid rek waarbij de cohesie in het 2016 onderzoek ook is bepaald. De triaxiaalproeven in dit nieuwe onderzoek zijn uitgevoerd volgens de nieuwe norm waarbij de sterkteparameters bij veel hogere rekken (15%-25%) zijn bepaald.			

Tabel 5.2 Resultaten van de CD- triaxiaalproeven

In eerste instantie lijkt een groot verschil in de cohesie (c') bij de proeven die in 2016 zijn uitgevoerd en de cohesie die is gevonden in het van Oord/Fugro onderzoek ten opzichte van de cohesie getallen die zijn gevonden in het onderzoek uitgevoerd in 2017/2018. De bepalingen van de cohesie in het 2016 onderzoek (en ook zeer waarschijnlijk in de Fugro onderzoeken) is bij veel kleinere rekken (2%) bepaald dan in het 2017/2018 onderzoek (bezwijken, ofwel tussen 15% en 25% rek in). Als de cohesie bij 2% rek wordt bepaald in de 2017/2018 onderzoeken komen er eveneens cohesie waarden boven 20 kPa uit. Deze cohesiewaarden zijn tussen haakjes weergegeven in Tabel 5.2.

Doorgaans, en zeker in sterkte berekeningen, wordt nooit cohesie aan zand toegekend. Dit levert dan een significant verschil op tussen TGG en zand. Echter, bij proeven op zand en bij een nette uitwerking van het resultaat, komen wel degelijk cohesiegetallen naar voren. Dit wordt aangeduid met schijnbare cohesie. Zand wordt namelijk beschouwd als een inert los korrelig materiaal en de schijnbare cohesie wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van zuigspanning onder invloed van vocht en door het effect van hoekigheid van de korrels. Ditzelfde effect manifesteert zich ook in het inerte korrelige TGG materiaal. Ook hier is sprake van een schijnbare cohesie. Voor meer informatie over schijnbare cohesie wordt verwezen naar (Lubking, 2018a) en (Lubking, 2018b).

De gemiddelde cohesie van 6,6 kPa is toch iets hoger dan te doen gebruikelijk voor zand. Een mogelijke verklaring is dat in het zandmonster meer hoekige korrels aanwezig zijn dan in een

natuurlijk zand (zoals uit boring B2.2). De KAS bepalingen uit 2015 geven geen eenduidig beeld. Wel kan geconcludeerd worden dat er een grote variatie is met betrekking tot de hoekigheid en dus dat het zand hoekiger is dan natuurlijk zand. Ook is de aanwezigheid van kleine zuigspanningen (en capillaire werking, zeker bij materiaal met deze goede gradering) de verklaring voor de gemeten cohesie.

De uitkomsten van het onderzoek naar de “hoek van inwendige wrijving” (‘Phi’) laten verschillen zien tussen de Deltares onderzoeken uitgevoerd in 2015/2016 en in 2017/2018. De achtergrond van de verschillen is onduidelijk, maar het zijn geen waarden die niet voorkomen bij een dicht gepakt zand (waarden van 45 graden zijn niet uitzonderlijk) en is waarschijnlijk wellicht gerelateerd aan de monsternamen in 2015/2016 waarbij een deel van de fijnere fractie verloren is gegaan.

Uit de resultaten blijkt ook hier weer dat de sterkte parameters van de nieuwe serie proeven niet veel afwijken van de sterkte-eigenschappen die doorgaans gevonden worden voor natuurlijk zand dat gebruikt wordt als ophoogzand. Als voorbeeld wordt hier de *NEN 6740* (NEN, 2006) aangedragen waar de representatieve (dus na statistiek) waarden voor de cohesie en interne frictie hoek 0 kPa en 35 graden wordt gegeven. De gemiddelden voor de gevonden waarden voor de cohesie en de frictie hoek van de TGG zijn 6,6 kPa en 37,1 graden. Op een (lichte) verhoging van de cohesie na moet worden gesteld dat op basis van de nieuwe proeven geen significant hogere sterkte waarden aan de TGG kunnen worden toegekend.

5.3.3 Doorlatendheid

Een overzicht van de gevonden doorlatendheden uit het verkennende onderzoek en het aanvullende onderzoek is opgesteld (Tabel 5.7). Bovendien is het resultaat opgenomen van een referentieproef op natuurlijk zand afkomstig uit de steunberm (boring B2.2).

De doorlatendheidsbepalingen van het zand liggen tussen 10^{-6} en 10^{-7} m/sec met een gemiddelde van $4,3 \cdot 10^{-6}$ m/s. De doorlatendheid van de TGG ligt eveneens in dezelfde orde grootte met een gemiddelde van $1,36 \cdot 10^{-6}$ m/s. Het is zo dat de twee zandsoorten enigszins verschillen van elkaar (zwak siltig en sterk siltig zand), maar beiden voldoen aan zand voor ophoogmateriaal conform de eisen van de CUR. Geconstateerd wordt op basis van de proeven dat de doorlatendheid van de TGG circa een derde bedraagt van de doorlatendheid van zand voor ophoogmateriaal. Dit verschil is echter niet groot genoeg is om te spreken van een significante afwijkende doorlatendheid van de TGG en dus komt het overeen met de eis gesteld aan zand voor ophoogmateriaal zoals toepasbaar en doorgaans voorgeschreven voor zand in dijken. Wel moet opgemerkt worden dat er sprake is van een redelijke spreiding van de doorlatendheid. Echter, er zijn geen eisen gesteld aan de spreiding en daarom kan ook niet gesproken worden van materiaal dat niet aan norm voldoet.

Het is wel zo dat de TGG meer fijne delen en meer grove delen bevat dan zand. Door uitspoeling van de fijne delen zou eerder verstopping kunnen optreden van de grotere poriën. In de proeven uit 2015/2016 uitgevoerd door Deltares blijkt de doorlatendheid stabiel bleef gedurende de vier dagen dat het experiment liep. Een initieel iets hogere doorlatendheid werd gemeten aan het begin van elke meetdag die volledig kan worden toegeschreven aan het vollopen van de stijghoogtebuisjes. De doorlatendheid van delen van de kolom vertoont hetzelfde gedrag als de kolom als geheel dat erop duidt dat geen specifieke verstopping optreedt. Er is dus geen relatie te leggen met de reactiviteit van het materiaal of verplaatsing (uitspoeling) van fijne delen door het materiaal.

Monster	Diepte –MV [m]	Doorlatendheid [m/s]
Monsters uit het verkennende onderzoek 2015/2016		
4	1,2 tot 1,7	$8,3 \cdot 10^{-7}$
6a	1,5 tot 2,0	$4,1 \cdot 10^{-6}$
6b	2,0 tot 2,5	$2,5 \cdot 10^{-6}$
6c	2,5 tot 3,2	$1,1 \cdot 10^{-6}$
E1	-	$3,7 \cdot 10^{-6}$
Gemiddelde verkennend onderzoek		$2,4 \cdot 10^{-6}$
Monsters uit het aanvullende onderzoek 2017/2018		
B2.2 (NZ)	2.3 tot 2.65	$7,95 \cdot 10^{-6}$
B2.2 (NZ)	2.65 tot 3.0	$6,79 \cdot 10^{-7}$
Gemiddelde 'Natuurlijk Zand'		$4,31 \cdot 10^{-6}$
B3.1 (TGG)	3,0 tot 3,5	$1,80 \cdot 10^{-6}$
B3.1 (TGG)	5,0 tot 5,5	$6,37 \cdot 10^{-7}$
B3.2 (TGG)	7,0 tot 7,5	$6,35 \cdot 10^{-7}$
B3,2 (TGG)	4,0 tot 4,5	$5,16 \cdot 10^{-7}$
G1 (TGG)	4,0 tot 5,3	$4,18 \cdot 10^{-7}$
G2 (TGG)	4,0 tot 6,0	$2,05 \cdot 10^{-7}$
G2 (TGG)	8,0 tot 10,0	$7,83 \cdot 10^{-6}$
G3 (TGG)	4,5 tot 5,0	$2,81 \cdot 10^{-7}$
B12 (TGG)	3,5 tot 4,5	$5,00 \cdot 10^{-7}$
B12 (TGG)	5,5 tot 6,5	$1,03 \cdot 10^{-6}$
B14 (TGG)	2,5 tot 3,5	$5,38 \cdot 10^{-7}$
B14 (TGG)	4,5 tot 5,5	$2,05 \cdot 10^{-6}$
Gemiddelde aanvullend onderzoek TGG		$1,36 \cdot 10^{-6}$

Tabel 5.3 Resultaten van de doorlatendheidsproeven

- 5.3.4 Organisch-stofgehalte, gloeiverlies, kalkgehalte (CaCO_3),
Het organisch-stofgehalte, het gloeiverlies en het CaCO_3 gehalte staan vermeld in onderstaande tabel (Tabel 5.8).

Monster	Gloeiverlies [%]	Organische stof [%]	Kalkgehalte RAW 2010 [%]	Kalkgehalte TGA-XRF [%]
Monsters uit het verkennende onderzoek 2015/2016				
4	1,8	1,4	10,2	6,7
6a	1,7	1,3	10,2	6,9
6b	2,1	1,7	8,6	6,8
6c	1,8	1,4	7,7	5,8
E1	2,5	2,1	4,6	3,0
Gemiddelde VO ³	2,0	1,6	8,3	5,8
Monsters uit het aanvullende onderzoek 2017/2018				
B2.2 ²	2,3 tot 2,65 (NZ) ⁴	0,1	1,2	-
B2.2 ²	2,65 tot 3,0 (NZ) ⁴	0,3	2,1	-
Gemiddelde NZ ⁴		0,2	1,7	
B3.1 ¹	3 tot 3,5 (TGG)	1,3	3,5	-
B3.1 ¹	5 tot 5,5 (TGG)	1,4	4,2	-
B3.1 ¹	7 tot 7,5 (TGG)	2,1	4,2	-
B3.1 ²	3 tot 3,5 (TGG)	0,8	5,1	-
B3.1 ²	5 tot 5,5 (TGG)	1,3	4,1	-
B3.1 ²	7 tot 7,5 (TGG)	1,6	4,1	-
B3.2 ²	4 tot 4,5 (TGG)	0,8	4,2	-
G1 ¹	4 tot 5,5 (TGG)	1,1	3,5	-
G1 ²	4 tot 5,5 (TGG)	1,3	3,1	-
G2 ¹	4 tot 6 (TGG)	1,5	3,8	-
G2 ²	4 tot 6 (TGG)	1,7	3,9	-
G2 ¹	8 tot 10 (TGG)	1,3	3,3	-
G2 ²	8 tot 10 (TGG)	1,6	3,3	-
G3 ¹	4.5 tot 5 (TGG)	1,3	3,1	-
G3 ²	4.5 tot 5 (TGG)	1,6	3,0	-
B12 ²	3,5 tot 4,5 (TGG)	1,3	4,7	-
B12 ¹	3,5 tot 4,5 (TGG)	1,5	3,7	-
B12 ¹	5,5 tot 6,5 (TGG)	1,4	5,2	-
B12 ²	5,5 tot 6,5 (TGG)	1,6	4,0	-
B14 ¹	2,5 tot 3,5 (TGG)	1,5	3,3	-
B14 ²	2,5 tot 3,5 (TGG)	1,5	5,6	-
B14 ²	4,5 tot 5,5 (TGG)	1,2	3,1	-
B14 ¹	4,5 tot 5,5 (TGG)	1,3	3,1	-
Gemiddelde AO ⁵		1,4	3,9	
¹ na triaxiaal test ³ VO: Verkennend Onderzoek ⁵ Aanvullend Onderzoek TGG ² na doorlatendheidstest ⁴ NZ: Natuurlijk Zand				

Tabel 5.4 Overzicht van de resultaten voor organisch stofgehalte, gloeiverlies en kalkgehalte van TGG uit Perkpolder bepaald na de triaxiaaltest en na de doorlatendheidstest

Het gloeiverlies bij het TGG-materiaal is iets hoger dan het gehalte aan organische stof. Dit wordt veroorzaakt doordat andere materialen zoals kleimineralen en kalk ook massa kwijt raken bij hoge verhitting in de gloeiverliesproef. Het kalkgehalte is bepaald middels de gloeiverliesproef volgens RAW 2010 en in het geochemisch onderzoek (door middel van TGA-

XRF), volgens verschillende procedures. De verschillen worden veroorzaakt door verschillen in de uitvoering van de proef: waar bij de RAW 2010 proef het gewichtsverlies wordt gemeten tussen 500 en 900°C, wordt bij TGA de massa bepaald in een preciezere temperatuurrange, omdat de massa continu wordt bijgehouden. De waarden door middel van RAW 2010 gemeten, zijn circa 50% hoger dan bij TGA. Dit kan veroorzaakt worden doordat bij de eerste methode ook het ontwijken van bepaalde vormen van ongebluste kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ en CaOOH), evenals aluminium hydroxide $\text{Al}(\text{OH})_3$ aan gebluste kalk wordt toegeschreven. Zowel organisch-stofgehalte als gloeiverlies zijn laag. Dit is te verwachten gezien het productieproces van de TGG.

Het kalkgehalte van de TGG is hoger dan van het natuurlijk gevormde zand genomen uit de berm. Er bestaat echter geen voorschrift voor de hoeveelheid kalk. Tevens is het kalkgehalte gemeten in het 2016 onderzoek circa tweemaal zo hoog als het nieuwe onderzoek anderhalf jaar later. De reden is onduidelijk. De methode is dezelfde. Het meest waarschijnlijke is dat er omzetting heeft plaatsgevonden (die echter niet heeft geleid tot cementatie van de korrels). Het kalkgehalte heeft echter geen invloed op de geotechnische (sterkte) eigenschappen, zoals blijkt in de vorige paragrafen.

5.3.5 Korrelvorm, Afronding en Sortering (KAS) onderzoek

De resultaten van het KAS-onderzoek uit het oude onderzoek heeft weinig opgeleverd. Uit het onderzoek blijkt dat de korrelvorm, de afronding en de sortering niet eenduidig zijn te bepalen. Korrels variëren sterk in vorm en afronding. Ook dit geeft aan dat de TGG geen natuurlijke oorsprong heeft, maar een kunstmatig mengsel is. Zoals eerder vermeld is dit consistent met een mengsel van gereinigde TAG en TGG.

5.3.6 Volumieke massa vaste gronddelen

Zowel in het verkennende als in het aanvullende onderzoek is ook de volumieke massa van de vaste gronddelen bepaald.

In het verkennende onderzoek lag deze waarde tussen 2.617 kg/m^3 en 2.628 kg/m^3 terwijl in het aanvullende onderzoek de waarden liggen tussen 2.632 kg/m^3 en 2.655 kg/m^3 .

Deze waarden zijn normaal voor zand dat in de Nederlandse GWW wordt toegepast. Ter vergelijking zijn onderstaand de waarden van de volumieke massa van de vaste gronddelen voor verschillende mogelijke bestanddelen gegeven.

- Kwarts, puur: 2.650 kg/m^3 .
- Calciet, puur: 2.700 kg/m^3 .
- Organisch materiaal: 1.400 kg/m^3 .

5.4 Interpretaties en conclusies geotechnisch onderzoek

Onderzoek is uitgevoerd naar de geotechnische aspecten van de TGG bemonsterd in Perkpolder. De volgende conclusies kunnen uit de resultaten van het onderzoek getrokken worden:

- De korrelverdelingen wijzen duidelijk uit dat de TGG een samengesteld materiaal is, en niet een natuurlijk afgezet materiaal gangbaar volgens de CUR 162 waar de eisen voor 'zand als ophoogmateriaal' staan gegeven.
- Een grindfractie van 20% tot 50% is vastgesteld in de TGG. Een dergelijke fractie is significant hoog in vergelijking met de grindfractie in gangbaar ophoogzand, zoals ook beproefd is tijdens dit onderzoek op zand uit de steunberm.

- De korrelverdelingen en vooral de hoge en sterk variërende grindfractie, duiden op heterogeniteit met een sterke variatie in de ruimtelijke verdeling. Dit is zeer waarschijnlijk direct te relateren aan de variatie in aanbod van het verontreinigde materiaal waaruit de TGG is samengesteld.
- De doorlatendheid van de TGG zoals beproefd in dit onderzoek wijkt niet significant af van de doorlatendheid van het beproefde zand afkomstig van de steunberm.
- De sterkte eigenschappen worden uitgedrukt in termen van cohesie en interne hoek van wrijving. Gemiddeld bedragen ze 6,6 kPa (cohesie) en 37,1 graden (interne hoek van wrijving). Hoewel de cohesie enigszins hoger is in vergelijking met natuurlijk zand, zoals aangetroffen in de steunberm, is de interne hoek van wrijving niet significant verhoogd. Algemeen kan gesteld worden dat de sterkte eigenschappen van de TGG niet significant afwijken van die van natuurlijk zand zoals aangetroffen in de steunberm.
- De gemeten kalkgehalten in de TGG lijken lager te zijn dan in de eerdere rapportage uit het verkennende onderzoek van 2015/2016 (van 8% naar 4% (RAW gloeimethode)). Het is onduidelijk of deze lagere waarde is veroorzaakt door omzetting of dat het een gevolg is van variatie in samenstelling van TGG (die sterk kan zijn gegeven mogelijk een grote variatie van aangeboden verontreinigde grond). Wel wordt geconcludeerd dat sprake is van een significant hoog kalkgehalte.
- Gelieerd aan het (ongebliste) kalkgehalte bestaat de mogelijkheid tot verkitting. In geen van de monsters gehaald uit de boringen is verkitting waargenomen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de volgende theoretische scenario's nog steeds niet volledig kunnen worden uitgesloten:
 - Bij een verhoging van de pH kan een chemische reactie optreden waarbij de aanwezige kalk (ongebliste vorm) zich hecht aan het aanwezige silica. Dit is dezelfde reactie die plaats vindt in cement. Hiervoor moet de pH echter boven de 12 uit gaan komen. Het is zeer onwaarschijnlijk dat dit gaat gebeuren aangezien verwacht wordt dat de pH eerder zal dalen. Gegeven de observatie dat er tot op heden geen verkitting heeft plaatsgevonden, is het zeer onwaarschijnlijk dat dit in de toekomst nog zal gaan plaatsvinden.
 - Een omzetting van de aanwezige ongebluste kalk naar calciumcarbonaat, waarbij deze neerslag de korrels in het TGG-materiaal enigszins verkit. Als dit in de laatste vier jaar niet heeft plaatsgevonden, terwijl het kalkgehalte wel is afgenomen, lijkt het niet aannemelijk dat verkitting middels deze neerslag nog zal gaan plaatsvinden.
 - Bij een veel lagere pH kunnen zich andere neerslagreacties gaan aandienen (bijvoorbeeld met sulfaat) waarbij een zekere verkitting zou kunnen gaan plaatsvinden. Het is echter onduidelijk of dit in de toekomst gaat optreden.
- De onderzoeksresultaten uit dit aanvullende onderzoek (2017/2018) wijken op delen af van de resultaten van het verkennende onderzoek uit 2015/2016. De korrelverdelingen uit beide onderzoeken geven duidelijk aan dat de TGG een samengesteld niet natuurlijk voorkomend materiaal betreft. Toch zijn ook verschillen waargenomen. De fractie kleiner dan 2 µm was 0,8% in het 2015/2016 verkennende onderzoek en 4,1% in het 2017/2018 aanvullende onderzoek. Ook de fractie kleiner dan 63 µm was in het 2015/2016 onderzoek significant lager 6,9% versus 20,8%. Beiden vertonen wel een groot aandeel van de fractie groter dan 2 mm (43,3% in het 2015/2016 onderzoek versus 33% in het 2017/2018 onderzoek). Het verschil in de fractie kleiner dan 2 µm kan misschien liggen aan de bemonstering (handboring versus mechanische boring) waarbij meer van de kleine fractie niet naar boven gehaald kon worden (terugval). Voor een deel is dit waarschijnlijk ook de oorzaak achter het verschil in de fractie kleiner dan 63µm.
- De doorlatendheid in het 2015/2016 verkennende onderzoek van de TGG was $2,4 \cdot 10^{-6}$ m/s versus $1,3 \cdot 10^{-6}$ m/s in het 2017/2018 aanvullende onderzoek. Dit kan niet opgevat worden als een groot verschil.

- Het grootste verschil tussen het 2015/2016 en 2017/2018 onderzoek ligt in de resultaten van de triaxiaal proeven. In de 2015/2016 proeven kwamen erg hoge cohesie getallen naar voren en ook hogere waarden voor de 'hoek van interne wrijving'. Echter de triaxiaal proeven in 2015/2016 zijn uitgevoerd onder een ander protocol waar bij de parameters bij een veel lagere rek zijn bepaald.

Binnen de richtlijnen beschreven in de CUR die er op dit moment bestaan voor zand als ophoogmateriaal in dijken voldoet het materiaal aan de toepassingseisen voor ophoogmaterialen in dijken. Ook de niet beschreven geotechnische eigenschappen van de hier toegepaste TGG in termen van sterkte, doorlatendheid of anderszijds maken het hier toegepaste TGG materiaal geschikt voor toepassing in de dijk.

En hoewel er tot op heden geen verkitting is geconstateerd, bestaat er nog wel een kleine kans dat dit in de toekomst wel optreedt. De kans dat dit alsnog zal gaan optreden achten wij echter klein. Om dit toch uit te sluiten stellen we voor om over drie jaar tot vijf jaar nogmaals een beperkt aantal boringen (2) te laten uitvoeren en wederom de geofysische eigenschappen als doorlatendheid, sterkte maar ook kalkgehalte te laten bepalen.

Met de peilfilters die nu geplaatst zijn, kan ook worden bepaald of er sprake is van een fluctuerende seizoensgebonden grondwaterstand in de TGG die verkitting mogelijk kan beïnvloeden. De peilfilters dienen dan wel met divers te worden uitgerust om de grondwaterstand in de tijd te kunnen volgen.

5.5 Resultaten geofysisch onderzoek

Diverse geofysische metingen zijn uitgevoerd op de W-O dijk, gelegen in Deelgebied A, waar deels wel en deels geen TGG materiaal verwerkt is, en op de N-Z dijk met (verondersteld) alleen natuurlijk materiaal. De ligging van de meetlijnen met de verschillende technieken en de boorgaten is weergegeven in onderstaande figuur (Figuur 5.4).



Figuur 5.4 Ligging van de meetlijnen met de verschillende geofysische technieken. ERT = Electrical Resistivity Tomograph, EM = Elektromagnetische inductie, GPR = Ground Penetrating Radar. De boorgaten zijn gebruikt voor EM-Slimflex metingen, voor cross-hole tomografie en VSP = Vertical Seismic Profiling

Het doel van de inzet van verschillende technieken, de periode van uitvoering van het veldwerk en de locatie van de toepassing is te vinden in de Rapportagebijlage C. Heterogeniteit is onderzocht door gebruik te maken van oppervlaktegolven (Multichannel Analysis of Surface Waves, MASW), elektrische weerstandsmetingen (Electrical Resistivity Tomography, ERT), en elektromagnetische inductie metingen (EM). De interne laagstructuur is in kaart gebracht met boringen en boorgatmetingen (puntmetingen) en getracht te bemeten met grondradar en S-golf reflectie seismiek.

5.5.1 Onderzoeksvragen

Het doel van het geofysisch onderzoek is om met een set van diverse, grotendeels niet-destructieve, methoden de TGG in de kern van de dijk in beeld te brengen. Specifieke vragen zijn:

1. Kan de TGG worden onderscheiden van 'natuurlijk' materiaal?
2. Wat is de heterogeniteit van de aanwezige TGG?
3. Hoe kunnen de geotechnische parameters als stijfheid en sterkte worden afgeleid?
4. Wat is de relatie tussen de geofysische resultaten en de hydrologie?
5. Zijn de resultaten te veralgemeniseren voor andere dijken waarin TGG verwerkt is?
6. Welke techniek levert de grootste meerwaarde voor het in kaart brengen van TGG?

5.5.2 Conclusies

Ter plaatse van dijken in Perkpolder is geofysisch veldonderzoek uitgevoerd met diverse geofysische technieken. Er is onderzoek uitgevoerd ter plaatse van de west-oost georiënteerde TGG dijk (W-O dijk) en de noord-zuid georiënteerde dijk zonder TGG materiaal (N-Z dijk) daar loodrecht op. Het doel van het onderzoek was om de TGG in kaart te brengen.

1. Kan de TGG worden onderscheiden van 'natuurlijk' materiaal?

Ja, op basis van de schuifgolfsnelheid V_s en elektrische weerstand. De cross-hole en VSP metingen laten zien dat ter plaatse van TGG materiaal relatief hoge V_s waarden (~400-550 m/s) zijn waargenomen. Dit is ongeveer een factor twee hoger dan normaal in Nederland wordt gemeten voor zand op geringe diepte. De MASW inversie resultaten bevestigen de hoge V_s aan de westzijde van de W-O dijk in het diepte interval waar de aanwezigheid van TGG materiaal is aangetoond in boringen. Aan de oostzijde van deze dijk laten de MASW inversie resultaten lagere V_s waarden zien. Er is echter niet met boringen aangetoond dat ter plaatse van het stuk dijk van deze MASW meting geen TGG materiaal en alleen natuurlijk dijk materiaal aanwezig is. De energie inhoud per frequentie in de MASW data vertoont een sprong van relatief hogere naar relatief lagere V_s rond positie 160 m.

Ook de ERT resultaten laten een verloop van het patroon zien ter plaatse van de W-O dijk. Het westelijke deel, waar TGG toegepast is, heeft een relatief homogene middelhoge weerstand, terwijl meer naar het oosten vanaf circa 160 m de weerstand gevarieerder en hoger is. Dit komt overeen met de sprong in V_s in de dispersie weergaven van de MASW data. De N-Z raai vertoont een heel ander beeld aan weerstanden.

De TGG ter plaatse van het westelijke deel is te karakteriseren met oppervlaktegolven en ERT. De overgang van volledig TGG naar volledig natuurlijk materiaal is echter niet eenduidig aan te wijzen.

2. Wat is de heterogeniteit van de aanwezige TGG?

Op basis van de huidige gegevens lijkt het TGG materiaal zelf vrij homogeen te zijn qua weerstand. De variatie in V_s (VSP en cross-hole tomografie) is het gevolg van de matige datakwaliteit en niet zozeer van heterogeniteit. Voor het middendeel van de W-O dijk hangt de interpretatie van de heterogeniteit van TGG materiaal af van waar het materiaal wel en niet aanwezig is, of is bijgemengd met natuurlijk materiaal. Om deze vraag te kunnen beantwoorden zijn aanvullende boringen nodig, namelijk in het middendeel en in het oostelijke deel van de W-O dijk. Indien de boringen worden afgewerkt, zouden optioneel VSP en EM-Slimflex metingen gedaan kunnen worden.

3. Hoe kunnen de geotechnische parameters als stijfheid en sterkte worden afgeleid?

Met behulp van de MASW metingen op 5 lijnen langs de W-O dijk zijn waarden voor schuifgolfsnelheid V_s afgeleid. Op basis hiervan kan in principe de stijfheid worden bepaald.

Echter, een verdere verwerking om te komen tot een getalswaarde voor de stijfheid, zou de onzekerheid van de V_S profielen moeten meenemen, en ook zijn indicaties voor de dichtheid van de lagen nodig. De onzekerheid van de V_S profielen komt deels voort uit de niet-unieke waarden van de oplossingen. De VSP en de cross-hole tomografie data leveren data die gebruikt kan worden om V_S beter te bepalen en verder te verwerken tot stijfheid (bijvoorbeeld met behulp van de verhouding van V_P en V_S), maar slechts op basis van matige kwaliteit data. Indien een dichtheid zou worden aangenomen, zou een stijfheid kunnen worden afgeleid. Voor de onzekerheid in die afgeleide waarde zou echter een uitgebreidere analyse nodig zijn, bijvoorbeeld met een stochastische of Monte Carlo aanpak.

4. Wat is de relatie tussen de geofysische resultaten en de hydrologie?

In de ERT resultaten komen patronen in weerstanden naar voren die te relateren zijn aan bijvoorbeeld een drogere toplaag (hogere weerstand) en de aanwezigheid van zout in de oorspronkelijke materiaal onder de dijk waar het grondwater brak is. Er zijn ook verschillen tussen het noordelijke deel en het zuidelijke deel van de N-Z dijk. Mogelijk is dit het gevolg van een verschillend hydrologisch regime (water aan één of aan twee zijden van de dijk) of van opgebracht materiaal.

5. Zijn de resultaten te veralgemeniseren voor andere dijken waarin TGG verwerkt is?

Nee, op dit moment zijn de resultaten nog niet te veralgemeniseren. Daar is bevestiging voor nodig waar wel en waar geen TGG aanwezig is op de W-O dijk, bijvoorbeeld door het uitvoeren van een aantal boringen in het middendeel en het oostelijke deel. Bovendien is er op een dijk van natuurlijk materiaal (N-Z dijk) ook variatie in weerstand aanwezig en zijn op de N-Z dijk geen MASW metingen ter vergelijking voorhanden. Metingen met MASW en ERT op meer dan één TGG dijk zijn nodig om de resultaten te kunnen veralgemeniseren naar alle TGG dijken.

6. Welke techniek levert de grootste meerwaarde voor het in kaart brengen van TGG?

De grootste meerwaarde heeft de combinatie van de MASW met de ERT techniek. De MASW resultaten geven samen met cross-hole tomografie en VSP aan dat TGG een afwijkende, hoge V_S heeft. De MASW techniek staat echter niet alleen en middelt het gedrag uit over een groot volume. Meer detail kan verkregen worden met ERT. Op basis van deze twee technieken kunnen aanbevelingen worden gedaan over waar boringen gezet dienen te worden ter verificatie.

6 Conclusies en Aanbevelingen

6.1 Conclusies

6.1.1 Algemeen

Deltares heeft onderzoek gedaan naar de effecten van het toepassen van Thermisch Gereinigde Grond (TGG) bij de aanleg van nieuwe primaire keringen in de Perkpolder ten behoeve van het realiseren van een (buitendijks) getijdegebied. TGG is daarbij als kernmateriaal in de dijk toegepast.

TGG is ook op andere locaties toegepast. De conclusies die voor Perkpolder zijn getrokken, zijn zonder verdere analyse niet toepasbaar op andere locaties. De reden is dat iedere locatie zijn eigen omstandigheden kent en dat niet bekend is in hoeverre TGG een constante samenstelling heeft.

Boringen ter hoogte van de voormalige watergangen laten zien dat de watergangen niet met TGG zijn opgevuld, en dat ter plekke van die locaties het TGG dus niet onder de grondwaterstand ligt.

6.1.2 Milieuchemisch gedrag TGG Perkpolder

In de TGG bevinden zich een aantal stoffen, dat op basis van het reinigingsproces (verbranden) niet direct te verwachten is, incidenteel zelfs in een zeer hoog gehalte (tolueen). Bovendien bevat de TGG verhoogde gehalten voor diverse zware metalen. Het gaat hierbij over een gestoken monster en niet over een mengmonster conform de methodologie van een partijkeuring en daarom kan niet worden geconcludeerd dat geldende maximumwaarden ook daadwerkelijk zijn overschreden. Het materiaal heeft bovendien een hoge pH, als gevolg van een hoog gehalte aan ongebluste kalk. Sulfaat en vooral bromide zijn vaak in een verhoogde concentratie aangetroffen. De TGG toegepast in de Perkpolder is gevarieerd van samenstelling. Resultaten van analyses hebben dat ook laten zien. Als voorbeeld kunnen sulfaat en bromide worden genoemd. Variaties in gemeten gehalten met een factor vier zijn vastgesteld.

Regenwater dat op de dijk valt, infiltreert door het dijk materiaal, waaronder de TGG. Tijdens de infiltratie door de TGG kunnen goed oplosbare stoffen uitspoelen. Deze stoffen worden vervolgens meegenomen naar het ondiepe grondwater. Het ondiepe grondwater stroomt in de richting van de kwelsloot en naar het natuurgebied. Gebaseerd op waarnemingen domineert de stroming in de richting van de kwelsloot. De dominante en netto stromingsrichting van het diepe grondwater is in de richting van het kwelscherm (kwelvoorziening) met de kwelsloot. De aanwezigheid van de kwelvoorziening met de kwelsloot, zorgt voor afvang van infiltrerend regenwater dat in contact is geweest met de TGG. Het is dan ook niet te verwachten dat stoffen afkomstig van de TGG in het zoete grondwater in het landbouwgebied terechtkomen. De kwelsloot draineert het ondiepe grondwater afkomstig van de dijk en het kwelscherm draineert het diepere grondwater dat richting het landbouwgebied stroomt.

Bromide, of preciezer gezegd de verhouding tussen bromide en chloride, kan worden gezien als een goede tracer voor eventuele verspreiding van stoffen afkomstig van de TGG. De vaststelling van deze verhouding in grond- en oppervlaktewater kan worden gebruikt om vast te stellen of uitspoeling optreedt. Op basis van deze tracer is uitspoeling naar het grondwater van de zandlenzen direct onder de TGG waargenomen. Uitspoeling naar de kwelsloot en naar het oppervlaktewater van het natuurgebied is vooralsnog niet waargenomen. De samenstelling

van het water in de kwelsloot, maar ook in het getijdegebied, wordt bepaald door menging van water afkomstig van de verticale drainageputten en de bijdrage door afstroming van ondiep grondwater. Gezien de verhouding in debieten, domineert de drainage. Het gevolg is dat de kwaliteit van het water in de kwelsloot bepaald wordt door de samenstelling van het drainagewater afkomstig van de kwelvoorziening.

Infiltrerend regenwater dat in contact is geweest met de TGG, heeft vervolgens door uitspoeling dan ook niet geleid tot meetbare verhoogde concentraties in het oppervlakte water van de kwelsloot, en ook niet van het natuurgebied. Dit komt mede doordat in zeewater (en zout kwelwater) al een hoge achtergrondconcentratie van sulfaat en bromide aanwezig is. De grootste kans op uitloging naar de (zoutwater) kwelsloot bevindt zich ter hoogte van peilbuis B8, gelegen in deelgebied A, waar de TGG is toegepast in de dijk die dicht ligt bij de kwelsloot, en bovendien in direct contact staat met een drainerende zandlaag. Nader onderzoek naar de samenstelling van het water in sloten in de omgeving is nodig om verdere conclusies te trekken.

De beoordeling van stoffen behorende tot de PFAS is op dit moment moeilijk, aangezien nog geen norm bekend is, en omdat de gemeten gehalten dicht liggen bij de berekende meetlimiet. Verwacht wordt dat het normkader, en de meet- en conserveringsmethode de komende jaren verbeterd zullen worden, op basis waarvan toetsing kan plaatsvinden en de meetstrategie beter kan worden beoordeeld.

6.1.3 Geotechnisch gedrag TGG Perkpolder

TGG is ingezet als kernmateriaal in dijken in Perkpolder. Uit onderzoek blijkt dat de TGG geotechnisch goed toepasbaar is. Een van de zorgpunten betreft verkitting van het materiaal en eventuele afwijkende geotechnische eigenschappen in vergelijking met zand.

Tijdens het uitgevoerde werkzaamheden is geen verkitting waargenomen in de boringen. De pH zal in de toekomst vermoedelijk alleen maar afnemen en verkitting is dan onwaarschijnlijk. Monitoring moet uitwijzen of dat ook zo zal zijn. Onderzoek naar geotechnische eigenschappen van TGG is uitgevoerd. De resultaten blijken niet significant te verschillen met zand. Onder een belasting, bijvoorbeeld bij hoogwater in de Westerschelde, zal de TGG in de dijk zich dan ook vergelijkbaar gedragen als zand en de standzekerheid van de dijk zal dan niet nadelig beïnvloed worden.

Bovenop de TGG is een afdeklaag van klei en grond aangebracht. De afdeklaag is verder voorzien van een graslaag. Onderzoek naar de dikte en samenstelling van de afdeklaag heeft aangetoond dat ze voldoet aan de gestelde eisen. Alleen voor Deelgebied D, nabij de voormalige Veerhaven, moet dit onderzoek nog uitgevoerd worden.

De eigenschappen van de TGG samen met de karakterisatie van de afdeklaag in Deelgebied A en Deelgebied C, tonen aan dat de dijk voldoet aan de constructieve eisen zoals opgenomen in het wettelijk beoordelings-instrumentarium. Eerder is het ontwerp van de dijk getoetst aan de eisen voor de waterveiligheid.

6.2 Aanbevelingen

6.2.1 Maatregelen milieuchemisch

De aanwezigheid van de kwelvoorziening bestaande uit verticale drainageputten en een kwelsloot zorgt voor afvangen van infiltrerend regenwater dat in contact is geweest met de TGG. Deze voorziening zorgt er ook voor dat de grondwaterstand zoveel mogelijk lager ligt dan de onderkant van de TGG. Voor het afvangen van regenwater dat in contact is geweest met

de TGG, wordt aanbevolen om het kwelsysteem te blijven gebruiken en te controleren. De kwelvoorziening is aanwezig in Deelgebied A en Deelgebied C. In Deelgebied D is de TGG aan de bovenzijde afgedekt met een laag breuksteen. Deze laag is vol en zat gepenetreerd met gietasfalt en dus zijn de holtes tussen de breuksteen afgesloten. Infiltrerend regenwater zal dan vervolgens oppervlakkig afstromen over deze laag maar niet infiltreren tot in de TGG.

Op enkele plaatsen ligt de TGG op een ondiepe zandlaag en staat in contact met het grondwater en ligt bovendien dicht bij de kwelsloot (bijvoorbeeld peilbuis B8, gelegen in deelgebied A). In boring B8 is overigens, in tegenstelling tot het ontwerp, TGG waargenomen. Het verdient aanbeveling om op deze plaatsen de monitoring voort te zetten. Indien nodig, is het gewenst om tegenmaatregelen te treffen.

De praktijk heeft geleerd dat het behoud van kennis in een organisatie niet vanzelfsprekend is. Er wordt wel eens gezegd dat het institutionele geheugen van een organisatie niet veel langer is dan 20 tot 25 jaar, en soms nog wel korter. Het is dan belangrijk om waarborgen op te stellen om de aanwezigheid van TGG in de Perkpolder vast te leggen. Ingrepen die effect hebben op de geohydrologie, de grondwaterstroming, dienen te worden beoordeeld op mogelijk negatieve gevolgen wat betreft uitloging van stoffen afkomstig uit de TGG.

6.2.2 Milieuchemische monitoring

De monitoring van het grondwater naar milieuvreemde stoffen heeft plaatsgevonden over een relatief korte tijdsperiode. Mede gezien deze korte tijdsperiode, zijn geen trends in de tijd waar te nemen. Echter, er is uitspoeling van - in ieder geval - bromide naar de zoute kwelsloot waargenomen en daarom wordt aanbevolen de monitoring voort te zetten om vast te stellen of de situatie ook over een langere tijd stabiel blijft. Daarbij kan worden volstaan met een beperkter analysepakket dan in dit onderzoek is gebruikt. Mocht er sprake zijn van stijgende concentraties van de gidsparameters, dan kan het pakket veiligheidshalve weer worden uitgebreid. Het monitoringspakket zou (naast een standaardpakket zoals genoemd in NEN 5740 (NEN, 2009/2016)) tevens de volgende stoffen moeten bevatten:

- Drie anionen; bromide, sulfaat en chloride.
- 15 zware metalen (in plaats van 9); 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) en Zink (Zn).
- PFAS metingen. Indien de meetlimieten problemen geven, of indien de gemeten concentraties sterk variëren, wordt aanbevolen we om 'passive sampling' in te zetten en daarmee een beter beeld te krijgen over aanwezige gehalten in het langsstromende grondwater.
- Dioxines analyseren

Voor het trekken van conclusies is het nodig om te beschikken over referentielocaties. Deze locaties dienen buiten de invloed zone van de TGG te liggen om gebruikt te worden voor het bemonsteren (en analyseren) van het oppervlaktewater. Kortom, het oppervlaktewater van enkele sloten bemonsteren in de directe omgeving maar buiten de deelgebieden waar TGG is toegepast. Richt daarbij in eerste instantie de aandacht op sulfaat en bromide omdat deze stoffen niet adsorberen aan gronddeeltjes en dus goede tracers zijn.

6.2.3 Geotechnische monitoring

Verkitting valt in de toekomst niet volledig uit te sluiten en daarom wordt aanbevolen om over drie tot vijf jaar twee boringen uit te voeren. Aan de hand van deze boringen kan vervolgens worden vastgesteld of verkitting al dan niet heeft plaatsgevonden.

Onderzoek in de Deelgebieden A en C naar de toplaag heeft plaatsgevonden. Onderzoek in Deelgebied D (nabij de voormalige Veerhaven) moet nog plaatsvinden. De toplaag is begroeid met een gesloten grasmatt. Een blijvende aanwezigheid van de grasmatt is van belang. Gezien de kwetsbaarheid van deze jonge grasmatt, wordt aanbevolen de grasmatt de komende jaren jaarlijks te monitoren en zo nodig maatregelen te nemen (zoals doorzaaien). Veiligheidshalve kan daarbij ook de kwaliteit van de toplaag worden meegenomen door middel van een beoordeling aan de hand van de NEN 5740. De beoordeling van de kwaliteit van de toplaag kan na 3 tot 5 jaar plaatsvinden.

7 Referenties

- Antea. (2018). *Verkennd bodemonderzoek toplaag boven TGG-laag "Nieuwe dijk" te Perkpolder*. Rapport, projectnummer 434906, concept revisie 00, 22 oktober 2018, 166 bladzijden.
- Bbk. (2007). Besluit bodemkwaliteit. *Staatsblad*(469), Wet, 22 november 2007.
- CROW. (2010). *Publicatie 281. Materialen in (constructieve) ophogingen en aanvullingen*.
- CROW. (2015). *Standaard RAW Bepalingen 2015*.
- CUR. (1989). *Rapport 89-1. Toepassing van alternatieve materialen in de waterbouw-literatuurstudie.* .
- CUR. (1992). *Rapport 162: Construeren met Grond, Grondconstructies op en in weinig draagkrachtige en sterk samendrukbare ondergrond*.
- 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. (2016b). *Analyse TGG Perkpolder*. eindrapport, 1220438-000-GEO-0012-jvm, mei 2016.
- EUR-ECO en Deltares. (2018). *Grasbekleding nieuwe dijk Perkpolder*. MEMO, 18 juli 2018, 20 bladzijden (Bijlage I van Bijlagerapport B).
- 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.
- H2O. (2019, januari 26). <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/delfland-schort-baggeren-op-vanwege-pfos>. Opgeroepen op maart 28, 2019, van <https://www.h2owaternetwerk.nl/>: <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/delfland-schort-baggeren-op-vanwege-pfos>
- Kramer, M. G. (2008). *Ontwerpnoot Natuurcompensatie Perkpolder (NCP)*. Opgehaald van https://www.projectenportfolio.nl/images/a/a1/Bind_2_-_Ontwerpnoot_Natuurcompensatie_Perkpolder_Com_1.0.pdf
- Lubking, P. (2018a). *Cohesie en watergehalte van vochtig zand*. Geotechniek, nr. 3, september 2018, bladzijde 11.
- Lubking, P. (2018b). *Cohesie- en druksterktewaarden van vochtig en gedroogd zand (cohesie in zand Deel 2)*. Geotechniek, nr. 22, december 2018, bladzijde 14.
- NEN. (2004a). *Uitloogkarakteristieken - Bepaling van de uitloging van anorganische componenten uit poeder- en korrelvormige materialen met een kolomproef - Vaste grond- en steenachtige materialen*. Rapport, NEN7373:2004 nl, ICS-code 13.030.10, 15 bladzijden.
- NEN. (2004b). *Uitloogkarakteristieken - Bepaling van de cumulatieve uitloging van anorganische componenten uit poeder- en korrelvormige materialen met een vereenvoudigde procedure voor de kolomproef - Vaste grond- en steenachtige materialen*. Rapport, NEN 7383:2004 nl, ICS-code 13.030.10, 10 bladzijden.
- NEN. (2006). *NEN6740, Geotechniek - TGB 1990 - Basiseisen en belastingen*.
- NEN. (2009/2016). *NEN 5740:2009+A1:2016 nl Bodem - Landbodem - Strategie voor het uitvoeren van verkennend bodemonderzoek - Onderzoek naar de milieuhygiënische kwaliteit van bodem en grond*.
- RIVM. (2018). *Risicobeoordeling van het gebruik van thermisch gereinigde grond in Perkpolder (Zeeland)*. doi:10.21945/RIVM-2018-0063

- SIKB. (2014). *Protocol 9335-2: Grond uit projecten, Milieuhygiënische keuring van partijen grond uit projecten in het kader van het Besluit bodemkwaliteit, Versie 3.4.*
- Staatscourant. (2013, juni 27). *Circulaire Bodemsanering per 1 juli 2013.* Opgeroepen op 01 25, 2018, van <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2013-16675.html>
- Staatscourant. (2016, 05 24). *Besluit bodemkwaliteit geldend van 24-05-2016 t/m heden.* Opgeroepen op 02 07, 2017, van <http://wetten.overheid.nl/BWBR0022929/2016-05-24>.
- Steketee, J. (2007). *SKB Cahier - Zware Metalen.* SKB, rapport, juli 2007, 74 bladzijden.
- TAW. (1996). *Technisch Rapport Klei voor Dijken.* Rapport, TR-17, mei 1996, 81 bladzijden.
- TNO Bouw en Ondergrond. (2005). *NITG 05-169-B Analyse van het ATM-gegevensbestand in het kader van het onderzoek naar het voorkomen van 'bijzondere parameters' in grond.*
- Witteveen+Bos. (2008). *Rapportage Verkennend bodemonderzoek Veerplein te Perkpolder.* Rapport, MDB221-5/spij2/027, 8 oktober 2008, 182 bladzijden.

A Bodemopbouw en geohydrologie

B Milieukundige en milieuchemische aspecten

In Bijlage D van het Bijlagerapport B zijn enkele onduidelijkheden geslopen. Figuur 2.1 op Blad 4 bevat twee locaties waar TGG is toegepast. Gesproken wordt over 'TGZ waterkering-C' en 'TGZ waterkering-B'. In het hoofdrapport wordt echter gesproken over Deelgebied A ('TGZ waterkering-B') en Deelgebied C ('TGZ waterkering-C').

C Geotechnische aspecten