

RAPPORT

Milieurendementsonderzoek TGG Perkpolder: Bijlagerapport geohydrologie

Bijlagerapport als onderdeel van het conceptueel model

Klant: Rijkswaterstaat

Referentie: BH7547TPRP2104061343

Status: Definitief/1.0

Datum: 27 juli 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Industry & Buildings
Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 T
+31 33 463 36 52 F
reception.ame-la@nl.rhdhv.com E
royalhaskoningdhv.com W

Titel document: Milieurendementsonderzoek TGG Perkpolder: Bijlagerapport geohydrologie

Ondertitel: PP-TGG_CM-BR
Referentie: BH7547TPRP2104061343
Status: 1.0/Definitief
Datum: 27 juli 2021
Projectnaam: PP-TGG_CM-BR
Projectnummer: BH7547
Auteur(s):

Opgesteld door:

Gecontroleerd door:

Datum: 27-07-2021 / RB

Goedgekeurd door:

Datum: 21-07-2021 / JV

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veeleenvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

1	Situatie	1
1.1	Situatie	1
1.2	Methodiek en onderzoeksvragen	1
2	Geohydrologische situatie algemeen	3
2.1	Schematische weergave situatie	3
2.2	Bodemopbouw en indeling van de waterkeringen in segmenten	3
2.3	Geohydrologisch beschrijving van het gebied	4
2.4	Afvoer kwelwater	6
2.5	Het weeltje ten zuiden van de westelijke kering	8
3	Geohydrologische situatie Westelijke waterkering	10
3.1	Basisinformatie	10
3.2	Globale waterbalans en verdunning	11
3.3	Verspreidingsmogelijkheden naar zoetwaterbel	13
3.4	Interpretatie	15
4	Geohydrologisch situatie Zuidelijke waterkering	16
4.1	Basisinformatie	16
4.2	Globale waterbalans en verdunning	17
4.3	Verspreidingsmogelijkheden naar zoetwaterbel	19
4.4	Interpretatie	19
5	Geohydrologische situatie bij de Koppeldijk	20
5.1	Basisinformatie	20
5.2	Globale grondwaterbalans en verdunning	20
5.3	Verspreidingsmogelijkheden naar zoetwaterbel	21
5.4	Interpretatie	21
6	Samenvatting	22
7	Literatuurlijst	23

1 Situatie

1.1 Situatie

In enkele kernen van de waterkeringen van de Natuurcompensatie Perkpolder (NCP) is thermisch gereinigde grond (TGG) toegepast. Dit betreft de kernen van de zuidelijke waterkering (paars), de westelijke waterkering (oranje) en de Koppeldijk (geel) in Figuur 1.1.

Uit landelijk onderzoek is gebleken dat de TGG stoffen bevat die door uitloging de bodem, het grondwater en het oppervlaktewater negatief kunnen beïnvloeden/verontreinigen. Rijkswaterstaat, als eigenaar, is een onderzoeksprogramma gestart met als doel inzicht te krijgen in of en welke mate de TGG-toepassing effect heeft op bodem, het grondwater en het oppervlaktewater.

Hiervoor is een conceptueel model opgesteld volgens de NTA 5755 [1] en bestaat uit een beschrijving van de toepassing met TGG, een beschrijving van de bodem onder de TGG-toepassing, een beschrijving van de milieuhygiënische kwaliteit van grond, grondwater en oppervlaktewater in de directe omgeving van de toepassing, een beschrijving van de geohydrologische situatie en de beschrijving van effecten op de omgeving.

Dit bijlage-rapport bij het conceptueel model beschrijft de geohydrologie ter plaatse van de waterkeringen waarin de TGG is toegepast.



Figuur 1.1 locatie TGG-toepassing Perkpolder

1.2 Methodiek en onderzoeksvragen

De geohydrologische situatie onder en in de directe omgeving van de waterkeringen met TGG is inzichtelijk gemaakt door de onderstaande informatie te verzamelen:

1. Algemeen:
 - Schematische situatie van de toepassing van TGG in de omgeving.
 - Indeling per waterkering naar de segmenten op basis van de bodemopbouw.
 - Raaien en meetpunten in het uitgevoerd onderzoek.
 - Ligging (voormalige) sloten.
2. Westelijke, Zuidelijke waterkering en Koppeldijk (per segment):
 - Mogelijkheden en mate van infiltratie hemelwater.
 - Vaststellen stromingsrichting grondwater.
 - Richting afvoer verontreiniging.
 - Verspreidingsmogelijkheden naar zoetwaterbel.

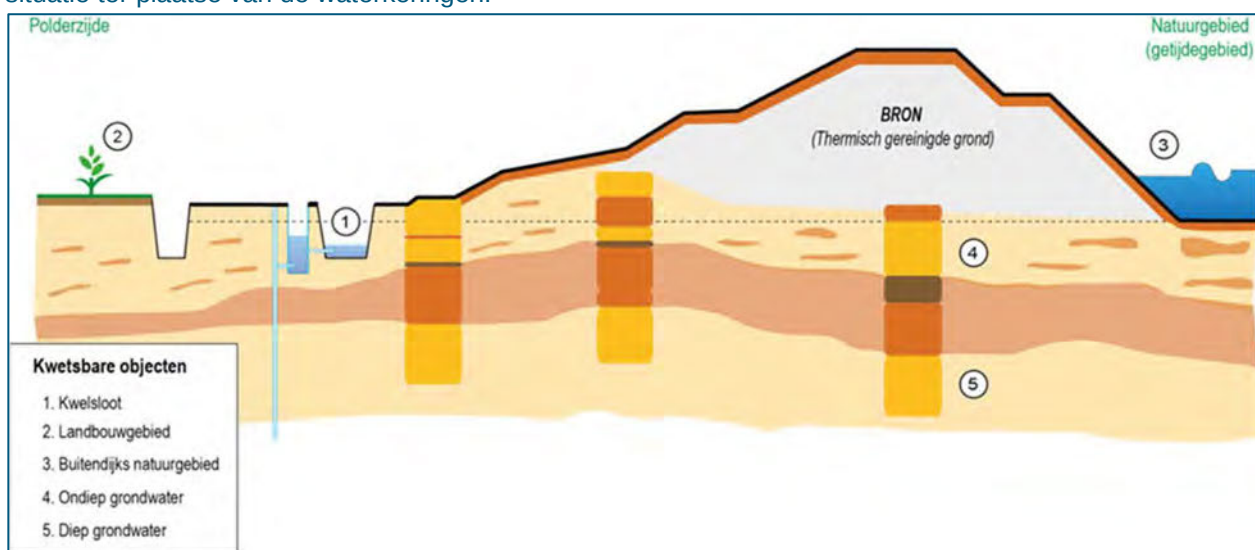
Voor het vaststellen of en in welke mate de stoffen kunnen verspreiden zijn de volgende onderzoeksvragen gedefinieerd:

1. Kan er hemelwater infiltreren, hoeveel is dit en welk effect kan dit hebben op de grondwaterstand in of onder de TGG in de segmenten noord, midden en zuid?
2. Wat is het effect van het getij (eb/vloed) op de freatische grondwaterstanden in de segmenten noord, midden en zuid?
3. Wat is de stromingsrichting van het grondwater onder de TGG in de segmenten noord, midden en zuid?
4. Wat is de mate van verspreiding en de verspreidingsrichting van verontreinigingen uit de TGG in de segmenten noord, midden of zuid (naar de kwelsloot en/of naar de Westerschelde door het grondwater)?
5. Is er een verspreidingsmogelijkheid van de verontreiniging uit de TGG naar de zoetwaterbel achter de kwelsloot?

2 Geohydrologische situatie algemeen

2.1 Schematische weergave situatie

Voor het afleiden van verspreidingsroutes van verontreiniging vanuit de TGG is inzicht in de bodemopbouw en de geohydrologische situatie ter plaatse van de toepassing van de TGG nodig. In Figuur 2-1 is een illustratie van de opbouw van de waterkering, de bodemopbouw en de ligging van het oppervlaktewater en de kwelmaatregel opgenomen. Het profiel is een versimpelde weergave en daardoor niet representatief voor de complexiteit van de situatie. Het profiel kan wel worden gebruikt om een indicatie te geven van de situatie ter plaatse van de waterkeringen.



Figuur 2-1: dwarsprofiel waterkering met versimpelde weergave van de bodemopbouw inclusief onderscheid watervoerende pakketten, dijkopbouw, oppervlaktewater en kwelmaatregelen.

2.2 Bodemopbouw en indeling van de waterkeringen in segmenten

De bodemopbouw (lithologie) van Perkpolder is beschreven in bijlage rapport Bodemopbouw van het conceptueel model (Milieurendementsonderzoek TGG Perkpolder: Bijlagerapport bodemopbouw, 7 juni 2021, status concept). De bodemopbouw onder de waterkering varieert. Naar aanleiding hiervan zijn de waterkeringen in segmenten met een vergelijkbare bodemopbouw beschreven. In de bodem onder het onder het zuidelijk deel van de westelijke kering wordt geen klei aangetroffen in de eerste meters onder de kering. De bodem onder kering bestaat hier uit zand, terwijl bij de andere (deel)segmenten de bodem onder dijk uit klei bestaat met lokale tussenzandlagen. De waterkeringen met de ligging van de segmenten is op de kaart in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** weergegeven.



Figuur 2-2 indeling in segmenten met vergelijkbare bodemopbouw

Tabel 2-1 toelichting segmenten

Segment	Bodemopbouw onder de waterkering/onder de TGG
Westelijke waterkering	
Segment 'noord'	Klei met zand en veenlagen met een dikte van 6 tot 8 meter waarbij noordelijk de dikte van de zandlaag toeneemt.
Segment 'midden'	Klei met zand en veenlagen met een dikte van 6 tot 8 meter
Segment 'zuid'	Zand met een enkele kleilaag
Zuidelijke waterkering	
Segment 'west'	Waarschijnlijk zand, er zijn weinig meetpunten om bodemopbouw met voldoende mate van zekerheid af te leiden.
Segment 'oost'	Klei met zand- en veenlagen met een minimale dikte van 4 m en een oplopende dikte in oostelijke richting.
Koppeldijk	
Segment 'Koppeldijk'	Antropogene ophooglaag (zand) die tot circa +4 m NAP ligt.

2.3 Geohydrologische beschrijving van het gebied

Situatie voor de uitvoering van de NCP

De ondergrond van het projectgebied is schematisch onderverdeeld in de volgende geohydrologische eenheden:

- Een slecht doorlatende deklaag;
- Een watervoerend pakket;
- Een slecht doorlatende basis.

De slecht doorlatende deklaag ligt aan maaiveld als een holocene klei-veendek. De dikte van de deklaag varieert van 0 tot 5 meter. De verticale hydraulische weerstand van de deklaag wordt geschat op enkele honderden dagen (Witteveen+Bos, 2009).

Het watervoerend pakket is overwegend samengesteld uit fijne tot matig grove zanden van mariene, fluviale en eolische oorsprong. Stratigrafisch omvat het pakket de Formatie van Oosterhout. De dikte van het pakket is circa 40 meter. Geschatte waarden voor de transmissiviteit (kD) van het watervoerend pakket variëren van 100 tot 500 m²/dag. Binnen het watervoerend pakket bevindt zich een scheidende laag (dikte circa 5 meter). De weerstand van de scheidende laag wordt geschat op circa 1.000 dagen. De slecht

doorlatende basis is opgebouwd uit kleilagen van de Formatie van Rupel. Nabij Kloosterzande bereikt de basis een diepte van circa NAP -45 meter.

Grondwaterstanden

Oorspronkelijk gold voor het projectgebied grondwatertrap VI. Bij grondwatertrap VI bevindt de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) zich tussen de 0,40 meter en 0,80 meter beneden maaiveld. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) bevindt zich dieper dan 1,20 meter beneden maaiveld.

Kwel en infiltratie

Het gemiddelde waterpeil van de Westerschelde (gemiddeld peil +0.12 mNAP) is hoger dan het oorspronkelijk polderpeil (polderpeilvak Walsoorden: zp -0,85 mNAP en wp -1,10 mNAP) in het projectgebied. Als gevolg hiervan ontstaat er een landinwaarts gerichte zoute grondwaterstroom door het watervoerend pakket. De aanwezige waterlopen vangen de brakke kwel af. Als gevolg van de brakke kwel is het water in de watergangen niet zoet. Ter plaatse van de kreekrug ten westen van het gebied is de deklaag zeer dun en kan het regenwater dieper in de bodem doordringen. Hier is sprake van een infiltratie situatie.

Zoet en zout

Kenmerkend voor het projectgebied is dat de ondergrond grotendeels brak tot zout grondwater bevat. Dit komt omdat de ondergrond is opgebouwd uit mariene afzettingen (afzettingen door de zee). Ondanks het gegeven dat in het studiegebied de infiltratiemogelijkheden beperkt zijn, bevindt er zich een dunne regenwater gevoede zoetwaterlaag met een dikte van 1 tot 2 meter bovenin de deklaag. Deze zoetwaterlaag is voldoende dik voor de watervoorziening van landbouwgewassen. De diepte van het brak-zout grensvlak in het studiegebied varieert van NAP tot NAP -0,50 meter.

Oppervlaktewater

In de oorspronkelijke situatie werd het grondwaterpeil beheerst door de aanwezigheid van poldersloten (zie Figuur 2-2), waarbij zoetwaterbellen ontstonden tussen de sloten en ter plaatse van de sloten werd het ondiepe zoete water en het diepere zoutwater aangetrokken en gemengd in de sloten. De Westelijke Perkpolder ontvangt water vanuit de Kievitpolder en de bovenstrooms gelegen natuurgebieden. Dat water stroomt in het noordwesten het gebied binnen via een duiker door de polderdijk. Het gaat slechts om kleine afvoeren. Via de hoofdwatgang stroomt het water naar het zuidoosten van de Westelijke Perkpolder, waar het via een duiker onder het Veerplein door naar de Oostelijke Perkpolder wordt getransporteerd. Van daaruit stroomt het zuidwaarts naar de rest van het regionale watersysteem (Witteveen+Bos, 2009).



Figuur 2-2:- Oorspronkelijk oppervlaktewatersysteem volgens de legger van het waterschap Scheldestromen (datum 23-04-2021)

Situatie na het aanleggen van de NCP

Na het aanleggen van de nieuwe keringen kan zout water via het grondwater intreden in het gebied en wordt het ondiepe grondwater hier ook zout. Daarnaast neemt de druk van het zoute water op het binnendijkse gebied langs de nieuwe keringen toe. Het zoute water zou hierdoor verder kunnen indringen in het diepe grondwater in het binnendijks gebied. Door de aanleg van een kwelsloot en de aanleg van kwelfilters aan de binnendijkse zijde van de kwelsloot wordt deze kweldruk verminderd. Het verder indringen van de zoute kwel wordt hierdoor voorkomen. Het ondiepe freatisch grondwater blijft hierdoor zoet en bruikbaar voor de landbouw.

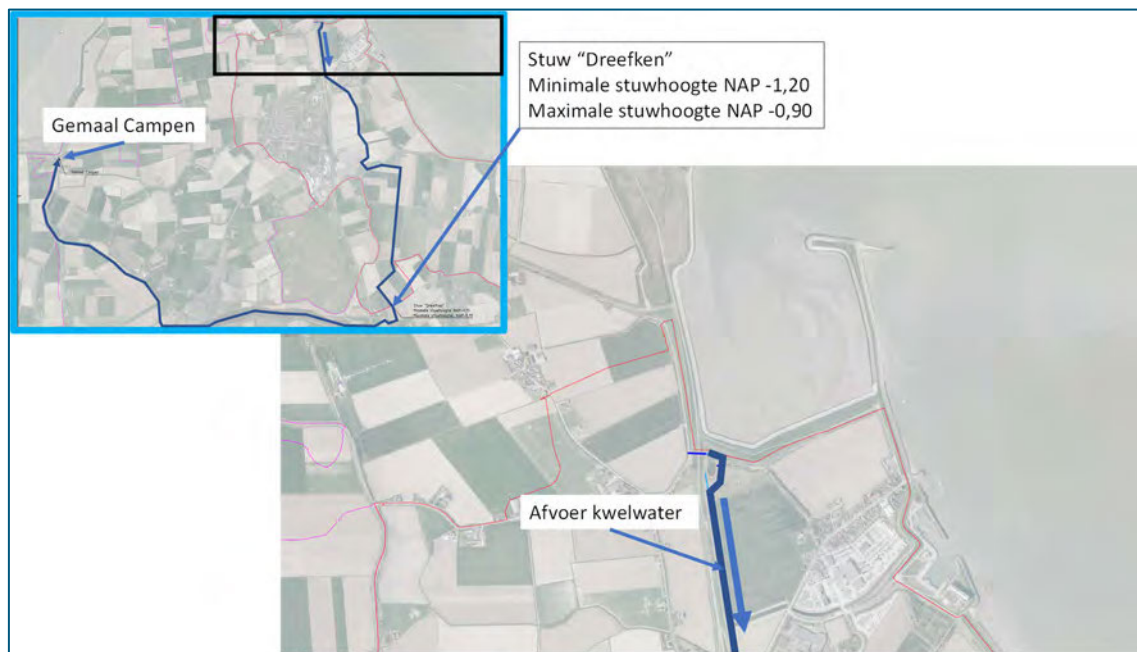
2.4 Afvoer kwelwater

Het huidige oppervlaktewatersysteem is weergegeven in Figuur 2-3. De kwelsloten langs de westelijk en de zuidelijke dijk vangen niet alleen lokaal langs de dijk de kwel af, maar wateren ook het water af van de naastliggende poldersloten. Hierdoor treedt een verversing van de kwelsloten op, waardoor het kwelwater dat onder de dijk doorstroomt en dat wordt afgevangen door de kwelsloot, wordt verdund.



Figuur 2-3 – Huidig oppervlaktewatersysteem volgens de legger van het Waterschap Scheldestromen

Het kwelwater dat in de kwelsloot wordt afgevangen wordt in zuidelijke richting afgevoerd via stuw Dreefken naar het gemaal Campen [bron: IV.1_Situatietekening afvoertraject Perkpolder - gemaal Campen.pdf, RWS, Projectorganisatie Waterveiligheid] met een stuwpeil variërend van -0,90 tot -1,20 mNAP (onder- en bovengrens vastgesteld in 2017). Verontreinigingen in het kwelwater zullen terwijl ze naar het Gemaal Campen stromen worden verdund door de aanstroom van water vanuit de overige polders (zie Figuur 2-4).

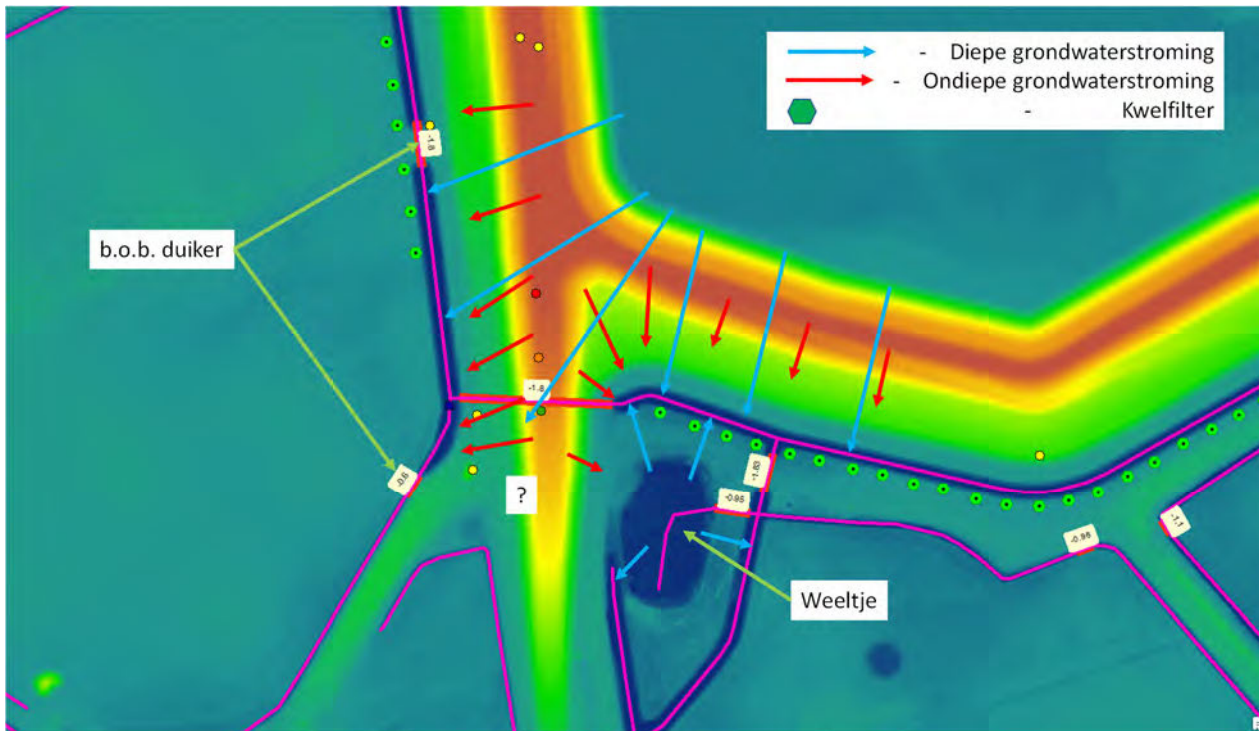


Figuur 2-4: Afvoer kwelsloot via stuw Dreefken naar gemaal Campen

2.5 Het weeltje ten zuiden van de westelijke kering

Ten zuiden van de zuidelijke kering bij het westelijke uiteinde bevindt zich een “Weeltje”, dat is ontstaan ten gevolge van een dijkdoorbraak (zie Figuur 2-5). Het peil in het Weeltje ligt op circa -0.95 mNAP (b.o.b. duiker) en gemiddeld iets hoger dan het peil in de kwelsloot (-0.90 tot -1.20 mNAP). Gemiddeld zal er enige uitstroom van water uit het Weeltje optreden naar de omliggende sloten.

De grondwaterstroming tussen de twee keringen is onduidelijk. In Figuur 2-5 is met peilen weergegeven hoe het grondwater mogelijk onder en door de keringen stroomt. Mogelijk stroomt er grondwater tussen de twee kwelsloten door. Het is niet duidelijk wat de kwaliteit is van dit grondwater en in welke sloot dit grondwater uiteindelijk opkwelt. Om meer inzicht te krijgen in de werkelijke grondwaterstroming zou een 3D grondwatermodel opgesteld moeten worden.

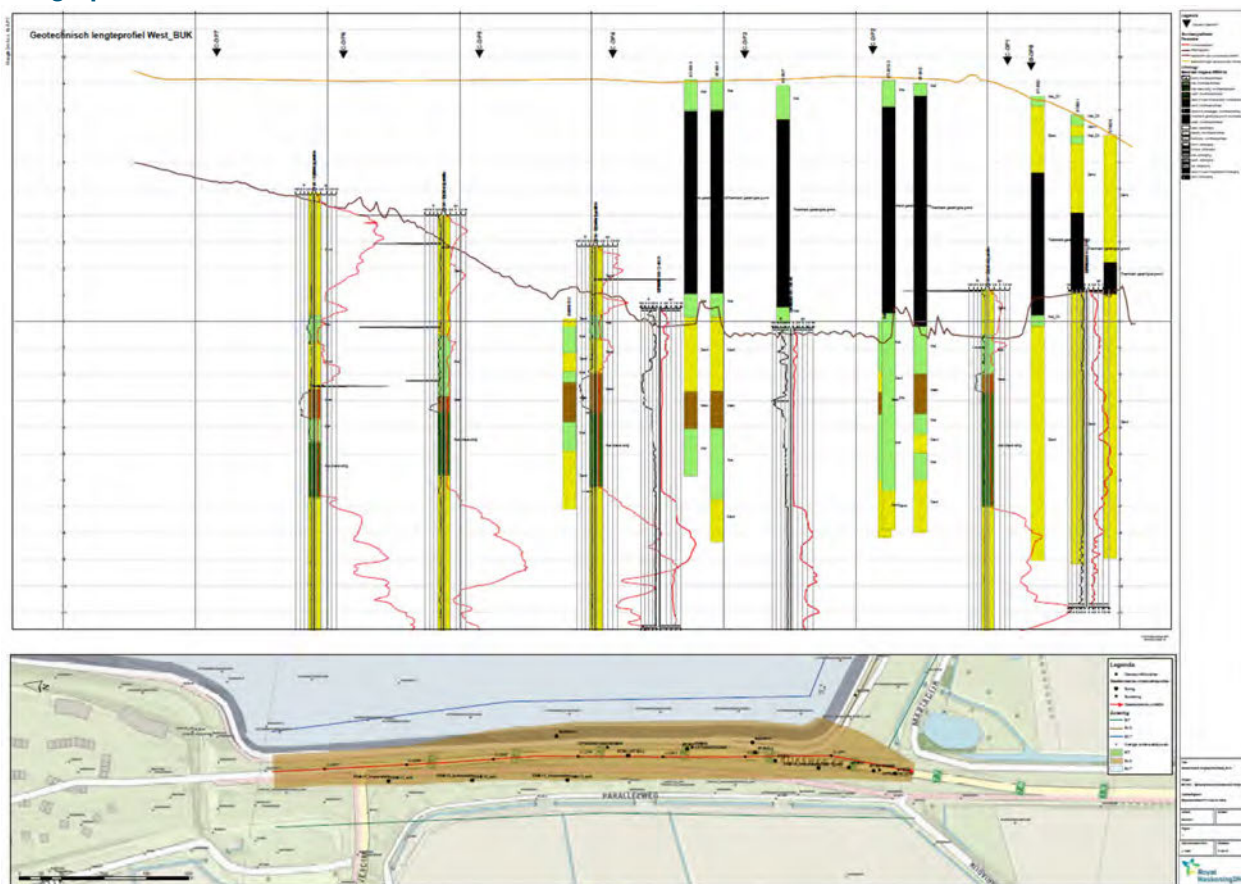


Figuur 2-5 – Situatie rondom Weeltje en mogelijke stromingsrichtingen van het grondwater

3 Geohydrologische situatie Westelijke waterkering

3.1 Basisinformatie

Lengteprofiel



Figuur 3-1: Lengteprofiel (noord-zuid) over de kruin van de westelijke waterkering. De bovenste oranje lijn geeft de hoogte van het huidig maaiveld aan.

Uit de bodemopbouw blijkt het volgende:

- Het oorspronkelijke maaiveld lag rond 0 tot 1 m NAP. Er zijn grondwerkzaamheden verricht (geprofileerd of egaal gemaakt) om de waterkering te kunnen bouwen.
- Bij de aanleg zijn de watergangen gedempt. De gegevens over het materiaal waarmee gedempt is zijn niet eenduidig. De nieuwe waterkering ligt over een aantal voormalige sloten. Volgens de grondstromenevaluatie zijn deze gedempt met gebiedseigen grond (dat voldoet aan de achtergrondwaarde) die is vrijgekomen bij de aanleg van nieuwe kreken [7]. In de ontwerp- [11] en de as-built tekeningen [14] is aangegeven dat deze met gedempt zijn met TGG. Deltares heeft een aantal boringen geplaatst ter hoogte van de gedempte sloten, in het gedempte deel is geen TGG aangetroffen. De informatie uit de grondstromenevaluatie is hiermee bevestigd en daardoor is het uitgangspunt dat de sloten niet met TGG zijn gedempt maar met gebiedseigen grond.
- Van het noordelijk deel zijn minder meetpunten van de bodemopbouw aanwezig dan van het zuidelijk deel onder de kruin. De meetpunten in het noordelijk deel die zijn opgenomen in het lengteprofiel liggen op de buitenberm en de binnenberm. Deze metingen geven doorgaande klei- en veenlagen onder de dijk.

Er zijn in het noordelijk deel (niet in database) sonderingen beschikbaar onder de kruin [9]. Dit bevestigt het beeld van de sonderingen in de binnen- en buitenberm uit de database en wijst op doorgaande klei en veenlagen in de eerste 10 meter onder de dijk.

- Het bodemprofiel onder de waterkering bestaat uit zand en klei met op veel plaatsen een veenlaag. Er is een verloop van noord naar zuid.
- De waterkering is in drie segmenten te verdelen
 - o Noordelijke segment met een lengte van circa 200 meter: het lijkt erop dat de TGG op zand is toegepast met daaronder klei en veenlagen. Echter zijn hier maar een beperkt aantal meetpunten bekend waardoor dit onzeker is. De diepere bodemopbouw bestaat uit doorgaande klei- en veenlagen. Direct onder de TGG zijn weinig meetpunten beschikbaar van na de aanleg.
 - o Het middelste segment met een lengte van circa 400 meter: hier is de TGG op klei toegepast, het kleipakket is vrij dik en hierin zijn zand en veenlagen aanwezig. In dit segment zijn voldoende meetpunten om de bodemopbouw betrouwbaar af te leiden.
 - o Het zuidelijke segment met een lengte van circa 150 meter: hier is de TGG toegepast op zand (waarschijnlijk snijdt de vroegere kreek de waterkering), er is nagenoeg geen klei in bodem daaronder aanwezig. In dit segment zijn voldoende meetpunten om de bodemopbouw betrouwbaar af te leiden.
- De overgang tussen de klei- en de zandgrond ligt tussen boring B12 (Deltares, 2019) en sondering DKM16 (Grontmij, 2008).

3.2 Globale waterbalans en verdunning

Het kwantificeren van de grondwaterstroming en daarmee de verspreiding van verontreinigingen uit de TGG is afhankelijk van:

- De grondwaterstroming door de TGG en
- De grondwaterstroming onder de TGG.

Uitgangspunten:

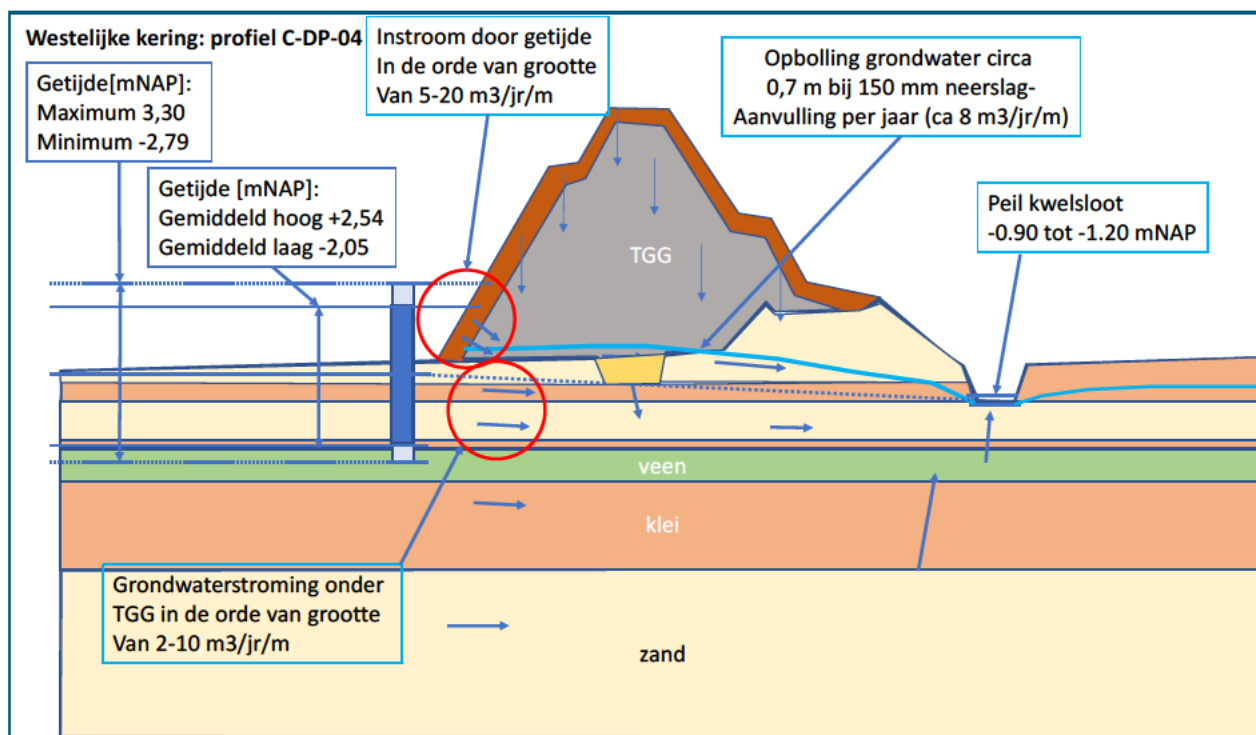
- De horizontale en verticale grondwaterstroming door en onder de dijk is afhankelijk van de voeding door middel van neerslag en door het (gemiddelde) verschil in waterstanden aan weerszijden van de dijk. Aan de buitenzijde treedt een getijdebeweging tussen -2,8 en +3,3 m NAP op (minimum en maximum). Aan de binnenzijde is een kwelsloot aanwezig met een peil van -0,90 tot -1,20 m NAP (zomer en winterpeil).
- De hoeveelheid voeding door neerslag (netto neerslagoverschot) is afhankelijk van de neerslag hoeveelheid, de neerslagintensiteit, de infiltratiecapaciteit van de toplaag en de hoeveelheid verdamping.
- Wanneer de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overschrijdt treedt oppervlakkige afstroming van neerslag op (run off).
- De hoeveelheid verdamping is afhankelijk van de potentiële verdamping en de bodembedekking (gras). Voor de berekening van de actuele verdamping wordt de potentiële verdamping vermenigvuldigd met een gewasfactor. Voor gras geldt de gewasfactor 1,0. De verdamping door gras is dus gelijk aan de actuele verdamping.
- De toplaag die aanwezig is bovenop de TGG bestaat uit een goed afdekkende kleilaag. Op de westelijke en zuidelijke waterkering voldoet deze kleilaag met een dikte >0,8 m aan de vereiste minimale dikte van 0,50 m uit het besluit bodemkwaliteit (Bbk). De deklaag is voorzien van een graszode. Inspectie laat zien dat sprake is van een gesloten graszode. De afdeklaag en de graszode voldoen aan de eisen die aan een dergelijke laag gesteld worden vanuit het wettelijke

beoordelingsinstrumentarium voor primaire waterkeringen (WBI2017) [I.3 11200482-000-GEO-0022_v3.0-Onderzoek naar effecten TGG.pdf].

- In de rapportages van Deltares [I.3 11200482-000-GEO-0022_v3.0-Onderzoek naar effecten TGG.pdf] en [11200482-013-GEO-0002_v1.0-Bijlagerapport A Grondwateronderzoek primaire kering Perkpolder.pdf] zijn doorlatendheden van de bodemeenheden samengevat:
 - Klei/veen (ondergrond): 0,001-0,01 m/d
 - Zandlagen 0,06-0,7 m/d
- Uit de as built tekeningen van de aanleg van de waterkeringen [o.a. 154425-TEK-ASB-00058.02-002_Waterkering_B_Dwarsdoorsnede 1-8-Blad 1 van 4] blijkt dat voor kleibekleding van de waterkering categorie 2 klei is toegepast. De doorlatendheid hiervan wordt geschat op 0,01-0,05 m/d (Bron: Grondwaterzakboekje, 2011). Uit de tekeningen blijkt ook dat de kleilaag op enkele locaties afwezig is (onder de weg). Het op enkele locaties ontbreken van de kleibekleding is ook gebleken tijdens het laatst uitgevoerde veldwerk (2021). Door verdroging van de deklaag kan scheurvorming ontstaan. Hierdoor zal de doorlatendheid van de kleibekleding lokaal veel hoger zijn.
- De gemiddelde doorlatendheid van de deklaag is voldoende hoog, waardoor de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de kleibekleding niet zal overschrijden (dus geen of vrijwel geen runoff).

Globale waterbalans

Op basis van de doorlatendheden, de neerslaghoeveelheden, het peil in de kwelsloot en de getijdebeweging is globale waterbalans gemaakt over de dwarsdoorsnede in de zuidelijke waterkering segment oost (B-DP-04, zie Figuur 3-2). Bij deze dwarsdoorsnede is relatief veel klei aanwezig in de ondergrond. Ter plaatse van de westelijke waterkering segment zuid is de ondergrond zandiger en zal de waterbalans er anders uitzien.



Figuur 3-2: Globale waterbalans per strekkende meter waterkering bij Westelijke waterkering segment midden C-DP-04

Mate van verdunning

Deze waterbalans geeft een orde van grootte van de hoeveelheid netto neerslagoverschot, de hoeveelheid water die ten gevolge van de getijdebeweging infiltreert en de hoeveelheid water die onder de TGG doorstroomt. Hiermee kan de verwachte mate van verdunning van de uitloging uit de TGG wordt afgeleid.

De opbolling ten gevolge van de neerslag is berekend met de drainageformule van Hooghoudt. In de grondwaterstandsmetingen in peilbuizen in de waterkering zijn ook verhoogde grondwaterstanden gemeten die de berekende opbolling bevestigen (B3-1 en B3-2, Bron: Grondwateronderzoek primaire kering Perkpolder, Deltares, 2019). De grondwaterstandsmetingen dichtbij de kwelsloot laten duidelijk de werking van de kwelsloot zien (B1-1 en B1-2). De diepere peilbuizen hebben hier een peil dat hoger is dan het peil in de kwelsloot (Bron: Metingen grondwatersysteem Perkpolder tot december 2018 en werking kwelvoorziening, Rapportage meetjaren 2016 – december 2018, Deltares).

Formule van Hooghoudt:

$$L^2 = \frac{8 k_2 d m + 4 k_1 m^2}{q}$$

Waarbij:

- L = drainafstand (in dit geval breedte dijklichaam): 80 m
- q = specifieke afvoer (neerslagoverschot): 150 mm/jr = 0.000411 m/d
- k1 = doorlatenheid boven drain niveau = 0.35 m/d
- k2 = doorlatenheid onder drain niveau = 0.35 m/d
- m = opbolling = 0.7 m
- d = dikte van de equivalentlaag (m)

Waarin: d=

$$= \frac{D}{1 + \frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{u}} \quad (d \leq \frac{1}{4}L)$$

Waarin:

- u = natte omtrek sloot = 1 m
- D = de laagdikte onder de draindiepte = 1 m

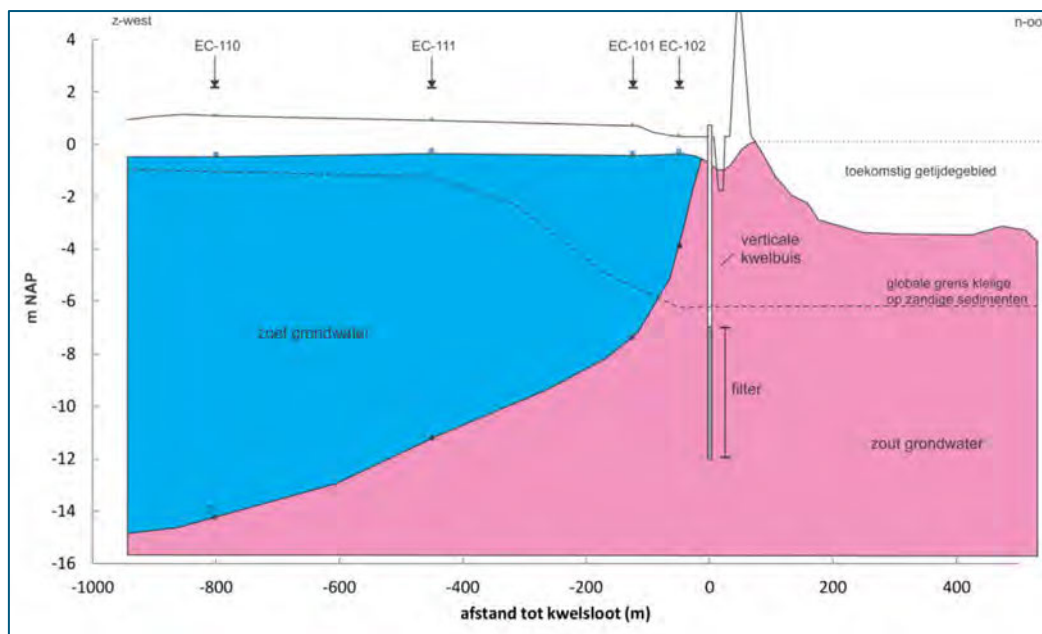
Het water dat uit de TGG naar de kwelsloot stroomt wordt verdund doordat het grondwater over de gehele natte omtrek instroomt in de sloot en de vrijwel horizontale instroom van het water uit de TGG hier slechts een deel vanuit maakt. Naar schatting bedraagt het deel uit de TGG in de orde van grootte van 30-50% van de natte omtrek. Verder treedt in de kwelsloot verdunning op door water uit de bovenstroomse polders.

3.3 Verspreidingsmogelijkheden naar zoetwaterbel

De kwelsloot en de kwelfilters hebben een goede beheersende werking. Uit de grondwaterstandsmetingen (in doorsnede C-DP4, westelijke dijk segment noord, Bron: Grondwateronderzoek primaire kering Perkpolder, Deltares, 2019) blijkt dat het grondwater niet alleen van de waterkering naar de kwelsloot stroomt, maar ook van de achterliggende polder naar de kwelsloot. Deze doorsnede heeft een kleiige ondergrond. De westelijke waterkering segment zuid heeft een sterk zandige ondergrond. De goede doorlatendheid bevordert de werking van de kwelsloot en kwelfilters, hierdoor zal hier meer water de kwelsloot instromen.

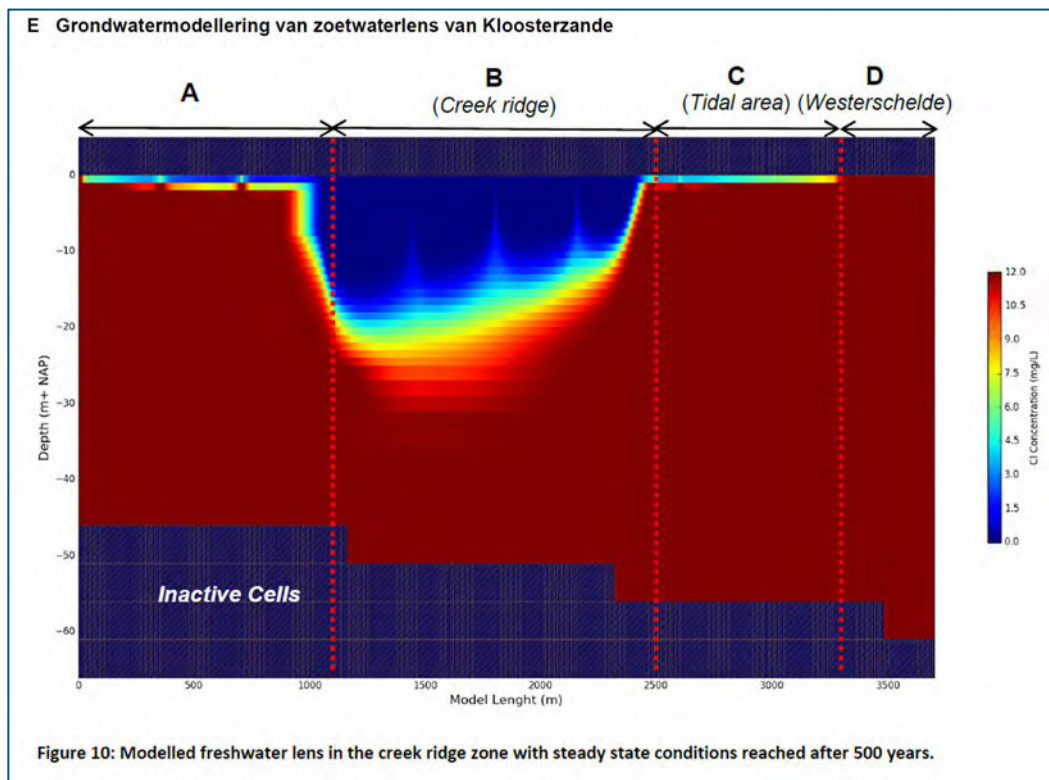
Bij beide segmenten van de westelijke waterkering zal zoetwaterbel niet worden beïnvloed door de TGG. In Figuur 3-3 is de ligging van het “Zoetwatervoorkomen” weergegeven. De kwelsloot en kwelfilters zijn ook aangelegd om het zoetwatervoorkomen te behouden achter de dijk.

Over de bodemopbouw ter plaatse van de Westelijke kering segment noord is minder bekend. Vermoedelijk komt de situatie grotendeels overeen met segment midden.



Figuur 3-3: Dwarsdoorsnede met gemeten dikte zoetwaterbel en ligging kwelvoorziening [Bron: Metingen grondwatermeetsysteem Perkpolder tot juni 2017 en werking kwelvoorziening (Deltares)]

In Figuur 3-4 is in dwarsdoorsnede weergegeven hoe de verwachte ontwikkeling van de zoetwaterbel is, zoals is berekend door Deltares. Hieruit blijkt dat er upconing plaatsvindt ter plaatse van de sloten. Bij elk van deze sloten is er sprake een waterscheiding, waardoor er geen horizontale stroming onder de sloot door optreedt.



Figuur 3-4: Dwarsdoorsnede berekening ontwikkeling zoetwaterbel (Deltares, 2020)]

3.4 Interpretatie

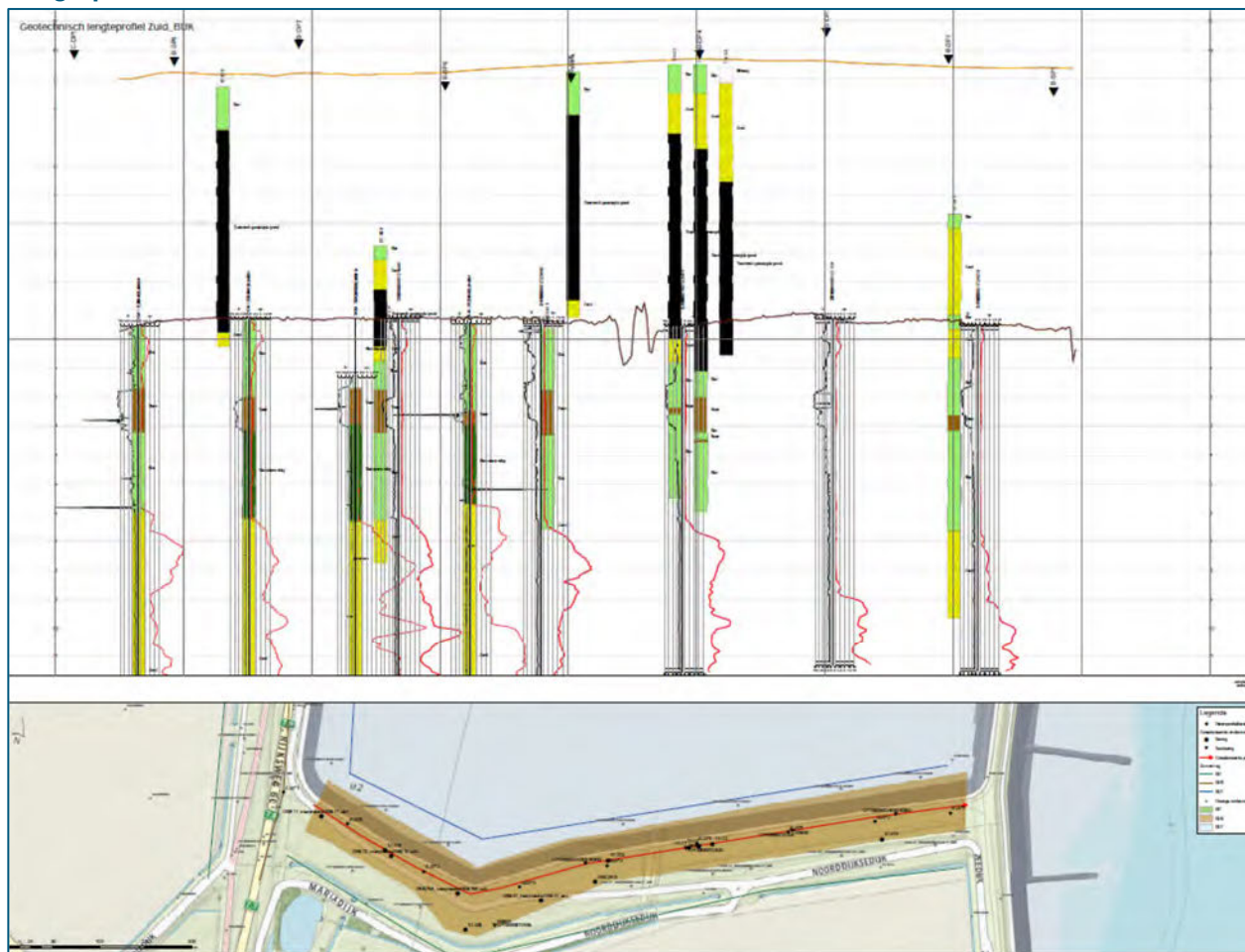
Uit de geohydrologische informatie blijkt het volgende:

- Er infiltreert een geringe hoeveelheid regenwater in de TGG via de niet waterdichte kleibekleding van de dijk.
- Door getij werking infiltreert zeewater in de TGG.
- Er vindt uitloging plaats van water uit de TGG naar het grondwater er direct onder. Het is niet waarschijnlijk dat het diepere grondwater wordt beïnvloed door de uitloging.
- Het uitgeloogde water wordt bij intreden in de kwelsloot met circa 30-50% verdund met het overige instromende grondwater.
- Het grondwater wordt afgevoerd via de kwelsloot. Door het kwelwater uit bovenstroomse polders vindt er extra verdunning plaats.
- Het kwelscherm beschermt de zoetwaterbel tegen het zoute water. Omdat vanuit de TGG geen beïnvloeding plaatsvindt naar het diepere grondwater heeft het kwelscherm geen invloed op het afvangen van water uit de TGG.
- De zoetwaterbel wordt niet beïnvloed door de aanwezigheid van de TGG.

4 Geohydrologisch situatie Zuidelijke waterkering

4.1 Basisinformatie

Lengteprofiel



Figuur 4-1: lengteprofiel (west-oost) over de kruin van de zuidelijke waterkering.

Uit de bodemopbouw blijkt het volgende:

- In de zuidelijke waterkering is voor 2/3 deel TGG toegepast. Aan de Westzijde is Extractief gereinigd zand toegepast.
- Het oorspronkelijke maaiveld lag rond 0 tot 1 m NAP. Voorafgaand aan aanleg van waterkering is de oude toplaag van circa 30 cm verwijderd. De vrijkomende grond is elders in het natuurontwikkelingsproject hergebruikt (bijv. gedempte watergangen). Hierna is een laag zand van maximaal 50 cm dikte aangebracht met om de 50 meter een horizontale drain waarmee water dat nog uit de TGG komt wordt afgevoerd. Deze drains zijn na oplevering van de waterkering afgedopt.
- Bij de aanleg zijn de watergangen gedempt. De gegevens over het materiaal waarmee gedempt is zijn niet eenduidig. De nieuw waterkering ligt over een aantal voormalige sloten. Volgens de grondstromenevaluatie zijn deze gedempt met gebiedseigen grond (dat voldoet aan de achtergrondwaarde) die is vrijgekomen bij de aanleg van nieuwe kreken [7]. In de ontwerp- [11] en de as-built tekeningen [14] is aangegeven dat deze met gedempt zijn met TGG. Deltares heeft een aantal boringen geplaatst ter hoogte van de gedempte sloten, in het gedempte deel is geen TGG

aangetroffen. De informatie uit de grondstromenevaluatie is hiermee bevestigd en daardoor is het uitgangspunt dat de sloten niet met TGG zijn gedempt maar met gebiedseigen grond.

- Over het gehele tracé van de waterkering zijn voorafgaand aan de aanleg sonderingen geplaatst. Deze liggen gemiddeld ongeveer 150 meter uit elkaar. Na aanleg van de waterkering zijn een aantal meetpunten door de TGG heen gezet. De boringen zijn echter gestopt zodra de egaliserende zandlaag werd aangetroffen.
- Het bodemprofiel onder de waterkering bestaat uit klei met af en toe een veenlaag en daaronder zand. Aan de westkant van de waterkering lijkt de kleilaag afwezig, maar dit kan ook het gevolg zijn van het gebrek aan meetpunten in de oorspronkelijke bodem in dit deel van de waterkering. De dikte van de kleilaag onder het dijklichaam lijkt naar het westen toe kleiner te worden. Dit past bij het beeld dat onder het westelijke deel van de zuidelijke waterkering een kreek aanwezig is geweest.
- De waterkering met TGG is in twee segmenten te verdelen:
 - o Westelijke segment met een lengte van circa 250 meter: hier is de TGG toegepast op zand (waarschijnlijk snijdt de vroegere kreek de waterkering), er is nagenoeg geen klei in bodem daaronder aanwezig. De bodemopbouw onder dit segment van de waterkering is vergelijkbaar met de bodemopbouw van het segment zuid van de westelijke waterkering. Wel zijn er in dit segment weinig meetpunten om dit te verifiëren.
 - o Het oostelijke segment met een lengte van circa 550 meter: hier is de TGG (300 meter) en het extractief gereinigd zand (250 meter) voornamelijk op klei toegepast, het kleipakket is vrij dik en hierin zijn zandlagen aanwezig. In dit segment zijn voldoende meetpunten om de bodemopbouw betrouwbaar af te leiden.

4.2 Globale waterbalans en verdunning

Het kwantificeren van de grondwaterstroming en daarmee de verspreiding van verontreinigingen uit de TGG is afhankelijk van:

- De grondwaterstroming door de TGG en
- De grondwaterstroming onder de TGG.

Uitgangspunten

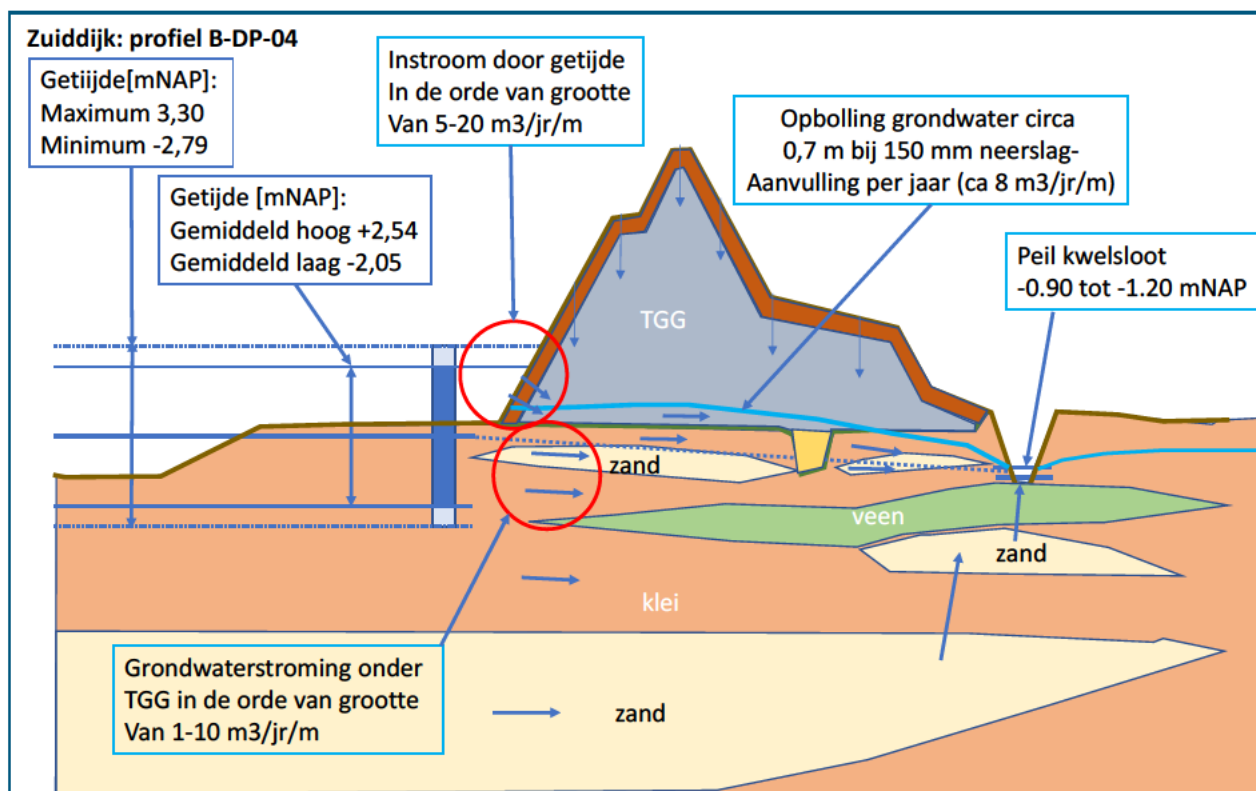
- De horizontale en verticale grondwaterstroming door en onder de dijk is afhankelijk van de voeding door middel van neerslag en door het (gemiddelde) verschil in waterstanden aan weerszijden van de dijk. Aan de buitenzijde treedt een getijdebeweging tussen -2,8 en +3,3 m NAP op. Aan de binnenzijde is een kwelsloot aanwezig met een peil van -0,90 tot -1,20 m NAP (zomer en winterpeil).
- De hoeveelheid voeding door neerslag (netto neerslagoverschot) is afhankelijk van de neerslag hoeveelheid, de neerslagintensiteit, de infiltratiecapaciteit van de toplaag en de hoeveelheid verdamping.
- Wanneer de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit overschrijdt treedt oppervlakkige afstroming van neerslag op (run off).
- De hoeveelheid verdamping is afhankelijk van de potentiële verdamping en de bodembedekking (gras). Voor de berekening van de actuele verdamping wordt de potentiële verdamping vermenigvuldigd met een gewasfactor. Voor gras geldt de gewasfactor 1,0. De verdamping door gras is dus gelijk aan de actuele verdamping.
- De toplaag die aanwezig is bovenop de TGG bestaat uit een goed afdekkende kleilaag. Op de westelijke en zuidelijke waterkering voldoet deze kleilaag, met een dikte >0,8 m, aan de vereiste minimale dikte van 0,50 m uit het besluit bodemkwaliteit (Bbk). De deklaag is voorzien van een graszode. Inspectie laat zien dat sprake is van een gesloten graszode. De afdeklaag en de graszode voldoen aan de eisen die aan een dergelijke laag gesteld worden vanuit het wettelijke

beoordelingsinstrumentarium voor primaire waterkeringen (WBI2017) [I.3 11200482-000-GEO-0022_v3.0-Onderzoek naar effecten TGG.pdf].

- In de rapportages van Deltares [I.3 11200482-000-GEO-0022_v3.0-Onderzoek naar effecten TGG.pdf] en [11200482-013-GEO-0002_v1.0-Bijlagerapport A Grondwateronderzoek primaire kering Perkpolder.pdf] zijn doorlatendheden van de bodemeenheden samengevat:
 - Klei/veen (ondergrond): 0,001-0,01 m/d
 - Zandlagen 0,06-0,7 m/d
- Uit de as built tekeningen van de aanleg van de waterkeringen [o.a. 154425-TEK-ASB-00058.02-002_Waterkering_B_Dwarsdoorsnede 1-8-Blad 1 van 4] blijkt dat voor kleibekleding van de waterkering categorie 2 klei is toegepast. De doorlatendheid hiervan wordt geschat op 0,01-0,05 m/d (Bron: Grondwaterzakboekje, 2011). Uit de tekeningen blijkt ook dat de kleilaag op sommige locaties afwezig is (onder de weg). Het op sommige locaties ontbreken van de kleibekleding is ook gebleken tijdens het laatst uitgevoerde veldwerk (2021). Door verdroging van de deklaag kan scheurvorming ontstaan. Hierdoor zal de doorlatendheid van de kleibekleding lokaal veel hoger zijn.
- De gemiddelde doorlatendheid van de deklaag is voldoende hoog, waardoor de neerslagintensiteit de infiltratiecapaciteit van de kleibekleding niet zal overschrijden (dus geen of vrijwel geen runoff).

Globale waterbalans

Op basis van de doorlatendheden, de neerslaghoeveelheden, het peil in de kwelsloot en de getijdebeweging is globale waterbalans gemaakt over de dwarsdoorsnede in de zuidelijke waterkering segment oost (B-DP-04) (zie Figuur 4-2). Bij deze dwarsdoorsnede is relatief veel klei aanwezig in de ondergrond. Ter plaatse van de zuidelijke waterkering segment west is de ondergrond zandiger en zal de waterbalans er anders uitzien.



Figuur 4-2 Globale waterbalans per strekkende meter waterkering bij Zuidelijke waterkering segment oost B-DP-04

Verdunning

Deze waterbalans geeft een orde van grootte van de hoeveelheid netto neerslagoverschot, de hoeveelheid water die ten gevolge van de getijdebeweging infiltreert en de hoeveelheid water die onder de TGG doorstroomt. Hiermee kan de verwachte mate van verdunning van de uitloging uit de TGG wordt afgeleid.

De opbolling ten gevolge van de neerslag is berekend met de drainageformule van Hooghoudt. In de grondwaterstandsmetingen in peilbuizen in de westelijke waterkering zijn ook verhoogde grondwaterstanden gemeten die de berekende opbolling bevestigen (B3-1 en B3-2, Bron: Grondwateronderzoek primaire kering Perkpolder, Deltares, 2019). De grondwaterstandsmetingen dichtbij de kwelsloot laten duidelijk de werking van de kwelsloot zien (B1-1 en B1-2). De diepere peilbuizen hebben hier een peil dat hoger is dan het peil in de kwelsloot.

Het water dat uit de TGG naar de kwelsloot stroomt wordt verdund doordat het grondwater over de gehele natte omtrek instroomt in de sloot en de vrijwel horizontale instroom van het water uit de TGG hier slechts een deel vanuit maakt. Naar schatting bedraagt het deel uit de TGG in de orde van grootte van 30-50% van de natte omtrek. Verder treedt in de kwelsloot verdunning op door water uit de bovenstroomse polders.

4.3 Verspreidingsmogelijkheden naar zoetwaterbel

De kwelsloot en de kwelfilters hebben een goede beheersende werking. Uit de grondwaterstandsmetingen bij de westelijke kering (in doorsnede C-DP4, Bron: Grondwateronderzoek primaire kering Perkpolder, Deltares, 2019) blijkt dat het grondwater niet alleen van de waterkering naar de kwelsloot stroomt, maar ook van de achterliggende polder naar de kwelsloot.

Deze doorsnede heeft een kleiige ondergrond. Dit geldt ook voor de zuidelijke waterkering segment oost. De zuidelijke waterkering segment west heeft een sterk zandige ondergrond. De goede doorlatendheid bevordert de werking van de kwelsloot en kwelfilters, hierdoor zal hier meer water in de kwelsloot stromen. Bij beide segmenten van de zuidelijke waterkering zal zoetwaterbel door de goede werking van de kwelsloot niet worden beïnvloed door de TGG. Bovendien ligt het zoetwatervoorkomen op grotere afstand van de waterkering in westelijke richting. In Figuur 3-3 is de ligging van het "Zoetwatervoorkomen" weergegeven. De zoetwaterbel is ook ontstaan ten gevolge van het functioneren van de kwelsloten.

4.4 Interpretatie

Uit de geohydrologische informatie blijkt het volgende:

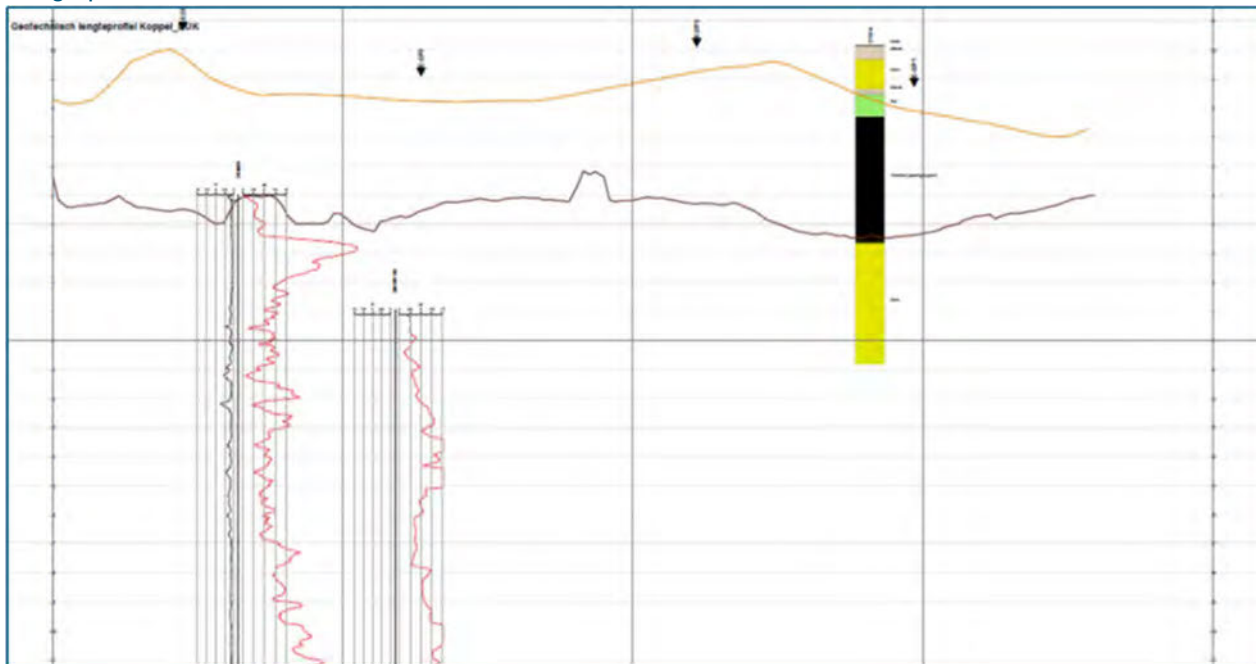
- Er infiltreert een geringe hoeveelheid regenwater in de TGG via de niet waterdichte kleibekleding van de dijk.
- Door getij werking infiltreert zeewater in de TGG.
- Er vindt uitloging plaats van water uit de TGG naar het grondwater er direct onder. Het is niet waarschijnlijk dat het diepere grondwater wordt beïnvloed door de uitloging.
- Het uitgeloopte water wordt bij intreden in de kwelsloot met circa 30-50% verdund met het overige instromende grondwater.
- Het grondwater wordt afgevoerd via de kwelsloot. Door het kwelwater vindt er extra verdunning plaats.
- Het kwelscherm beschermt de zoetwaterbel tegen het zoute water. Omdat er geen beïnvloeding plaatsvindt naar het diepere grondwater heeft het kwelscherm geen invloed op het afvangen van water uit de TGG.

De zoetwaterbel wordt niet beïnvloed door de aanwezigheid van de TGG.

5 Geohydrologische situatie bij de Koppeldijk

5.1 Basisinformatie

Lengteprofiel



Figuur 5-1: lengteprofiel over de kruin van de Koppeldijk. De stippellijn geeft de hoogte van het voormalige maaiveld aan. De delen van de meetpunten die boven het voormalige maaiveld liggen zijn minder helder weergegeven.

Uit de bodemopbouw blijkt het volgende:

- De TGG is toegepast op een antropogene zandlaag met een dikte van tenminste 4 meter.
- De TGG is toegepast op een hoogte van ongeveer +4 m NAP.
- Er zijn weinig meetpunten bekend waarmee de bodemopbouw onder de waterkering en antropogene zandlaag inzichtelijk kan worden gemaakt.
- De waterkering is op basis van bekende gegevens en de ligging op een antropogene ophooglaag niet in verschillende segmenten te verdelen.

5.2 Globale grondwaterbalans en verdunning

Het kwantificeren van de grondwaterstroming en daarmee de verspreiding van verontreinigingen uit de TGG is afhankelijk van:

- De grondwaterstroming door de TGG en
- De grondwaterstroming onder de TGG.

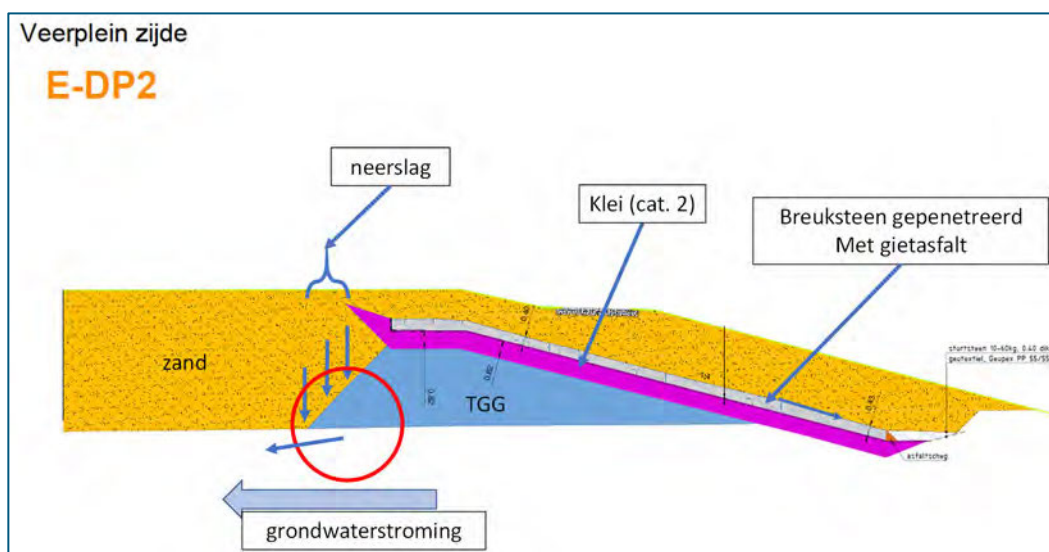
Uitgangspunten

- De TGG ter plaatse van de koppeldijk is ruim boven het grondwater en hoger dan het hoogtij aangebracht. De TGG is grotendeels (aan de noordoost zijde) afgedekt met een kleilaag (categorie 2), waar bovenop een met gietasfalt gepenetreerde breuksteenlaag is aangebracht. Dit vormt een waterdichte afdichting aan de bovenzijde van de TGG, indien de gietasfalt volledig dekkend is aangebracht.

- Aan de zuidwestelijke zijde is de afdekking niet volledig. Hier bevindt zich een strook waar aan maaiveld infiltrerende neerslag in de TGG kan dringen en voor uitloging kan zorgen.

Globale waterbalans en verdunning

Op basis van de doorlatendheden, de neerslaghoeveelheden, het peil in de kwelsloot en de getijdebeweging is globale waterbalans gemaakt over de dwarsdoorsnede in Koppeldijk (zie Figuur 5-2). Als dit gepercoleerde regenwater het grondwater bereikt zal het met het grondwater in zuidwestelijke richting verspreiden, vermoedelijk tot de eerste kwelsloot (zie Figuur 5-2). Vanwege gebrek aan informatie over de diepere ondergrond en grondwaterstroming is de mate van verdunning van uitgeloopte stoffen tijdens de verspreiding naar de (kwel)sloot niet af te leiden.



Figuur 5-2 Globale waterbalans per strekkende meter waterkering bij Koppeldijk E-DP-02

5.3 Verspreidingsmogelijkheden naar zoetwaterbel

Het grondwater met mogelijke verontreinigingen zal zich in zuidwestelijke richting verplaatsen tot aan de eerste kwelsloot. Hierdoor wordt het afgevangen voordat het in de richting van het zoetwatervoorkomen verplaatst. De zoetwaterbel is ook ontstaan ten gevolge van het functioneren van de kwelsloten.

5.4 Interpretatie

Uit de geohydrologische informatie blijkt het volgende:

- Er infiltreert een zeer geringe hoeveelheid regenwater in de TGG via rand langs de niet afgesloten leeflaag van zand.
- Door de hoge ligging van de TGG komt er geen water in de TGG, het getij heeft geen invloed.
- Het grondwater met mogelijke verontreinigingen zal zich in zuidwestelijke richting verplaatsen tot aan de eerste kwelsloot. Vanuit daar wordt het verder afgevoerd.
- De zoetwaterbel wordt niet beïnvloed door de aanwezigheid van de TGG.

6 Samenvatting

Voor het vaststellen of en in welke mate de stoffen kunnen verspreiden zijn in paragraaf 1.2 de volgende onderzoeksvragen gedefinieerd:

1. Kan er hemelwater infiltreren, hoeveel is dit en welk effect kan dit hebben op de grondwaterstand in of onder de TGG in de segmenten noord, midden en zuid?
2. Wat is het effect van het getij (eb/vloed) op de freatische grondwaterstanden in de segmenten noord, midden en zuid?
3. Wat is de stromingsrichting van het grondwater onder de TGG in de segmenten noord, midden en zuid?
4. Wat is de mate van verspreiding en de verspreidingsrichting van verontreinigingen uit de TGG in de segmenten noord, midden of zuid (naar de kwelsloot en/of naar de Westerschelde door het grondwater)?
5. Is er een verspreidingsmogelijkheid van de verontreiniging uit de TGG naar de zoetwaterbel achter de kwelsloot?

Antwoorden onderzoeksvragen (samengevat).

Zuidelijke en westelijke waterkering

Uit de geohydrologische informatie blijkt dat er een geringe hoeveelheid regenwater in de TGG infiltreert door en dat het getij een klein deel van de TGG ook in contact komt met water. Hierdoor vindt uitloging plaats van water uit de TGG naar het grondwater er direct onder. Het is niet waarschijnlijk dat het diepere grondwater wordt beïnvloed door de uitloging.

Het uitgelopen water wordt onder de TGG in de orde van grootte van 30-50% verdund met het grondwater bij instroom in de kwelsloot. In de kwelsloot vindt er nog meer verdunning plaats. Het kwelscherm beschermt de zoetwaterbel tegen het zoute water. Er treedt geen verspreiding van verontreinigingen vanuit de TGG op naar het diepere grondwater. De zoetwaterbel wordt niet beïnvloed door de aanwezigheid van de TGG.

Koppeldijk

Uit de geohydrologische informatie blijkt dat er een zeer geringe hoeveelheid regenwater in de TGG via rand langs de niet afgesloten leeflaag van zand infiltreert. Door de hoge ligging van de TGG komt er geen grondwater in de TGG en heeft het getij geen invloed. Het grondwater met mogelijke verontreinigingen ten gevolge van het contact met infiltrerende regenwater zal zich in zuidwestelijke richting verplaatsen tot aan de eerste kwelsloot. Vanuit daar wordt het verder afgevoerd. De zoetwaterbel wordt niet beïnvloed door de aanwezigheid van de TGG.

7 Literatuurlijst

- Bouw- & Managementservice Nederland bv. (2010). *Geotechnisch onderzoek t.b.v. het project "Geplande ruimtelijke ontwikkelingen in de gebieden Waterdunen en Perkpolder"*; kenmerk 20090071/1050300.
- Deltares. (2019). *Grondwateronderzoek primaire kering Perkpolder, Bijlagerapport A bij Eindrapportage TGG in dijken Perkpolder, rapportnummer 11200482-013-GEO-0002.*
- Deltares. (2019). *Milieuchemische analyses Perkpolder, Bijlagerapport B bij Eindrapportage TGG Perkpolder, rapportnummer 11200482-000-GEO-0015.*
- Deltares. (2019). *Onderzoek naar de effecten aanwezigheid van TGG in dijken van de Perkpolder, rapportnummer 11200482-000-GEO-0022.*
- Deltares. (2020). *Analyse bodemopbouw en doorlatendheid ondergrond onder TGG in Perkpolder; kenmerk 11203217-007-BGS-0003.*
- Deltares (2020). *Metingen grondwatersysteem Perkpolder tot december 2018 en werking kwelvoorziening, Rapportage meetjaren 2016 – december 2018, kenmerk 1210613-000*
- Fugro Geoservices B.V. (2012). *Natuurcompensatie Perkpolder, projectnummer 6011-0232-001.*
- Grontmij. (2008). *Milieukundig- en geotechnisch grondonderzoek, rapportnummer 13/99083829/VC.*
- Van Oord. (2013). *Definitief Ontwerp waterkeringen dwarsprofielen, tekeningnummer 154425-TEK-DO-00064.02-002.*
- Van Oord. (2016). *ASB Waterkering B, Dwarsdoorsnede & Details, Tekeningnummer 154425-TEK-ASB-00058.02-002.*

