

Rapport

Projectnummer: 360562

Referentienummer: SWNL0256056 rapp 20200204 rapp geohydrologie WAM Sterke Lekdijk

Datum: 04-02-2020

Oriënterende vergelijking van de hydrologische en ecologische effecten van mogelijke maatregelen voor dijkversterking WAM

Concept

Opdrachtgever:
Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Verantwoording

Titel	Oriënterende vergelijking van de hydrologische en ecologische effecten van mogelijke maatregelen voor dijkversterking WAM
Subtitel	
Projectnummer	360562
Referentienummer	SWNL0256056 rapp 20200204 rapp geohydrologie WAM Sterke Lekdijk
Revisie	C1
Datum	04-02-2020
Auteur	Kees van Immerzeel
E-mailadres	kees.vanimmerzeel@sweco.nl
Gecontroleerd door	Lysbet Bonnema
Paraaf gecontroleerd	
Goedgekeurd door	Ron Buitelaar
Paraaf goedgekeurd	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Oriënterend geohydrologisch onderzoek	5
3	Scoremethodiek.....	8
3.1	Scoretabel 'Grondwaterstanden'	8
3.2	Scoretabel 'Kwel'	9
3.3	Score-tabel 'Waterbezwaar'	10
3.4	Score-tabel 'Natuurwaarden (grondwaterstanden)'	11
3.5	Score-tabel 'Natuurwaarden (kwel)'	12
4	Modellen ter plaatse van dwarsprofiel 3 (dijktraject DWP8)	13
4.1	Referentie (huidig)	13
4.2	Alternatief A: verticale oplossing	15
4.3	Alternatief B1: binnendijkse klei-ingraving of bentoniet mat onder het maaiveld. .	15
4.4	Alternatief B2: drainageconstructie.....	16
4.5	Alternatieven C1 en C2: buitendijkse klei-ingraving of bentoniet-mat onder het maaiveld	16
4.6	Alternatief B2a (drainageconstructie) met maatregel 'ophogen van een oude stroomrug' in de Lunenburgerwaard.....	17
4.7	Alternatief B2b (drainageconstructie) met maatregel 'herstellen (uitgraven) van de verlandde en volgegroeide kleiputten' in Lunenburgerwaard.....	18
5	Resultaten	19
	Geciteerde werken.....	24

Bijlage 1	GeoTOP dwarsprofielen
Bijlage 2	Locatie dwarsprofiel 3
Bijlage 3	Profiel dijk
Bijlage 4	Dwarsdoorsnede referentiemodel

1 Inleiding

In het kader van het dijkversterkingsproject in het tracé Wijk bij Duurstede – Amerongen worden in hoofdlijnen drie alternatieve oplossingsrichtingen overwogen¹:

- Alternatief A: 'krachtig behoud'. Door met *verticale oplossingen* het piping-probleem op te lossen, kan namelijk binnen het bestaande ruimtebeslag gewerkt worden en verandert de aanblik van de dijk nauwelijks.
- Alternatief B: 'rijk cultuurland'; Door het piping-probleem hier op te lossen met een *binnendijkse* klei-ingraving of bentoniet-mat onder het maaiveld.
- Alternatief C: 'beleefbare dijk': Door het piping-probleem *buitendijks* op te lossen – met een klei-ingraving of bentoniet-mat onder het maaiveld kan de (buitendijkse) dijkvoet worden vernat.

Op basis van een oriënterend onderzoek zal hieruit een voorkeursoplossingsrichting worden gekozen. Deze oplossingsrichting kan per dijkvak anders zijn. De resultaten van het oriënterende onderzoek zullen worden samengebracht in een vijfpuntsschaal:

Scoretabel referentiesituatie

Score	Beoordeling ten opzichte van de referentiesituatie
- -	Sterk negatief effect kan optreden
-	Negatief effect kan optreden
0	Neutraal effect / geen significant effect
+	Positief / gunstig effect kan optreden
++	Sterk positief / gunstig effect kan optreden

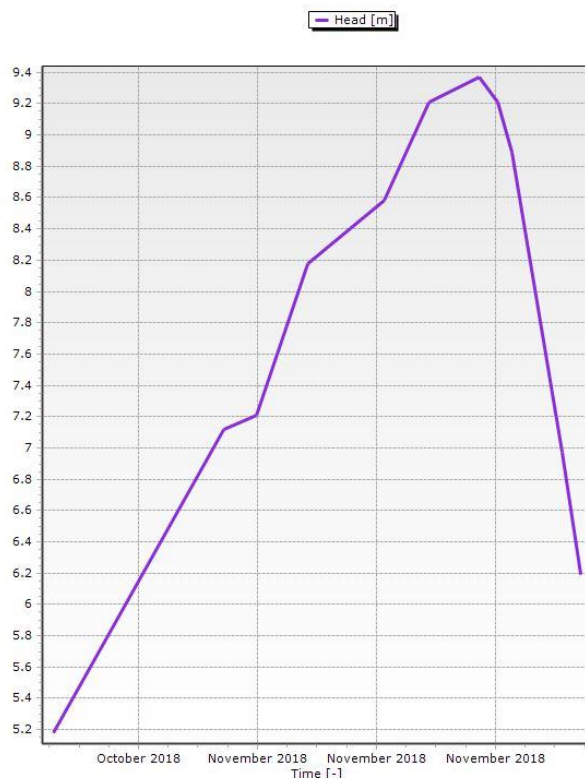
Deze notitie bevat:

- de resultaten van een oriënterend geohydrologisch onderzoek (hoofdstuk 2);
- een vertaling van het oriënterend geohydrologisch onderzoek naar een *scoremethodiek* met betrekking tot:
 - a. de effecten op grondwaterstanden, kwel en waterbezwaar (paragrafen 3.1 t/m 3.3);
 - b. de effecten op de natuurwaarden: grondwaterstanden en kwel (paragrafen 3.4 t/m 3.5);
- een vertaling van het oriënterend geohydrologisch onderzoek en een aantal oplossingsrichtingen naar de *modellen*, waarmee deze effecten worden doorgerekend (hoofdstuk 4);
- en de vergelijking van de verschillende oplossingsrichtingen op basis van de vastgestelde scoremethodiek en de resultaten van de modelberekeningen.

¹ <https://ggc.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=b0347ada1b17463b8206abed1751c265>

2 Oriënterend geohydrologisch onderzoek

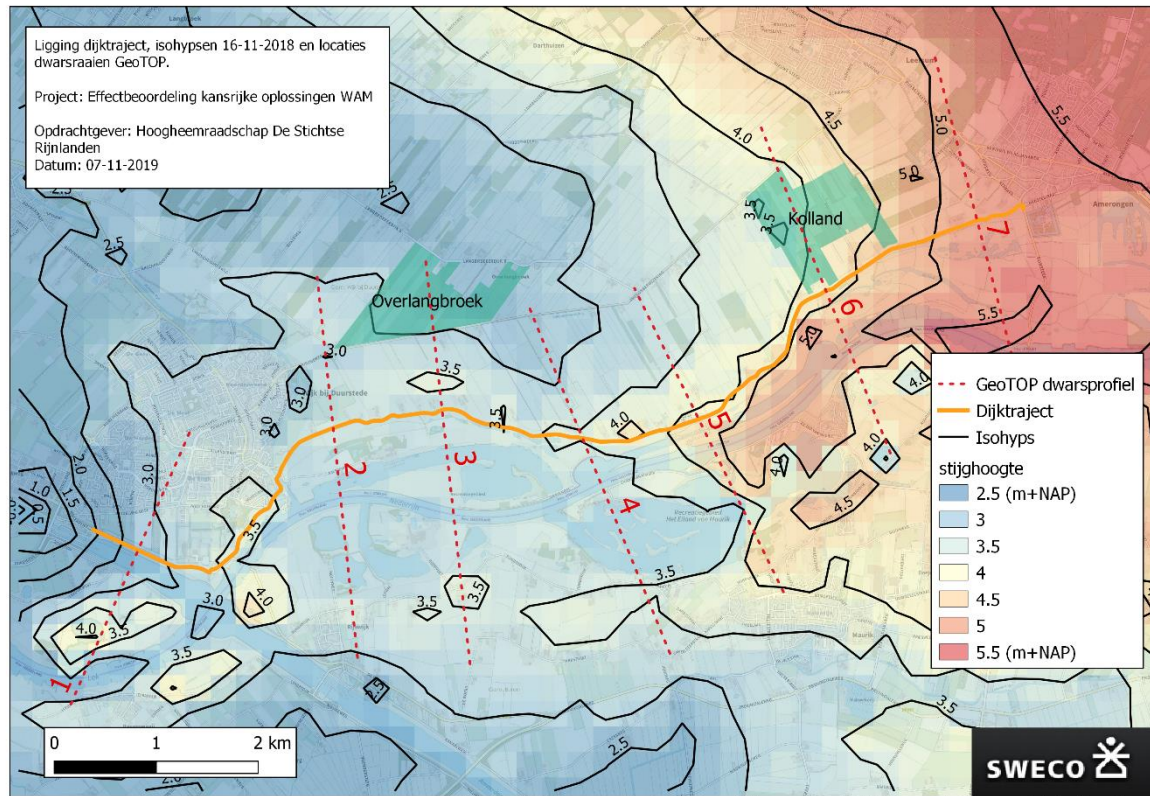
Bij hoge waterstanden in de Nederrijn inundeert de uiterwaard en ontstaat er een versterkte kwelstroom. Figuur 1 toont bij wijze van illustratie een piek in de waterstand van de Nederrijn in november 2018. De mogelijke effecten van dijkversterking op de kwel en grondwaterstanden, zijn het grootst als de uiterwaard overstroomd is, maar niet noodzakelijkerwijs bij de hoogste grondwaterstanden: bij hoge grondwaterstanden treedt het tertiaire drainagesysteem (greppels) in werking, waardoor eventuele effecten op de grondwaterstand worden beperkt.



Figuur 1: Piek in de waterstand van de Nederrijn (november 2018).

De effecten van de verschillende alternatieven (A, B of C) worden vergeleken bij een waterstand van 6 m +NAP. De uiterwaard is dan geïnundeerd. Omdat het gaat om een oriënterende analyse, volstaat vooralsnog een stationaire (=niet tijdsafhankelijke) benadering.

De effecten van de alternatieven worden met een grondwatermodel bepaald in een representatief dwarsprofiel: dwarsprofiel 3. Daarbij is van belang dat met deze berekeningen ook de mogelijke effecten in de natuurgebieden Overlangbroek en Kolland (oriënterend) worden bepaald. Figuur 2 toont de ligging van deze natuurgebieden en de locatie van het dwarsprofiel.



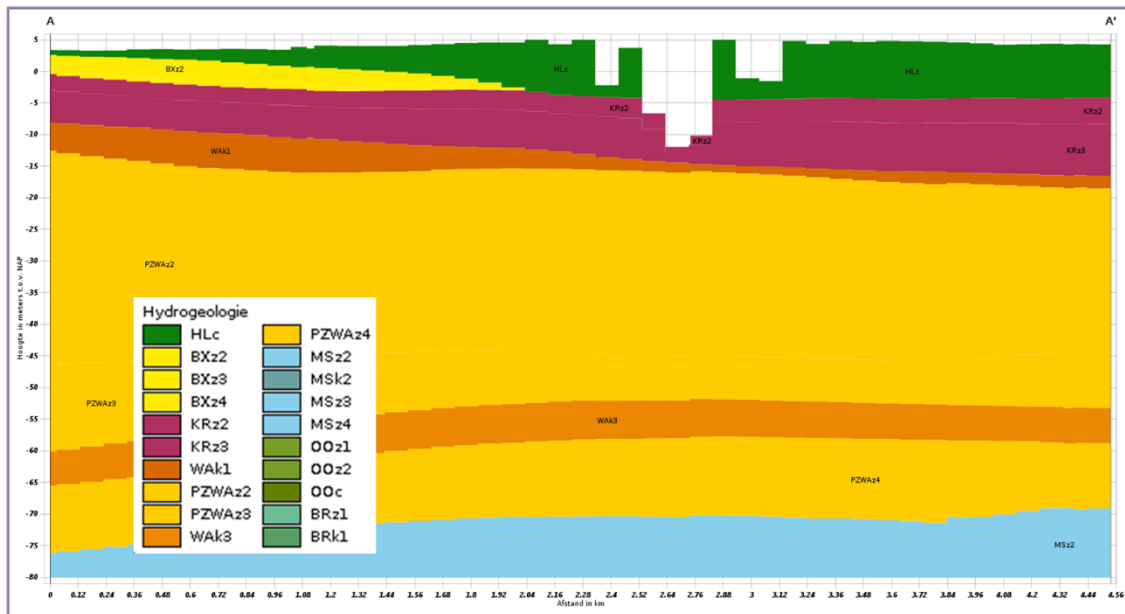
C:\Users\NLCIMM\Documents\Projects\Courant\Dijkversterking Wijk bij Duurstede Amerongen\gis\qgz\locatie.qgz

Figuur 2: Ligging dijktraject, isohyps 16-11-2018 en locaties van de dwarsprofielen uit GeoTOP (zie bijlage 1).

Bijlage 1 toont de opbouw van de ondergrond ter plaatse van de dwarsprofielen. Daaruit blijkt dat in de meest westelijke dwarsprofielen (1 en 2) ondiep (< -12 m +NAP) het meeste veen en klei kan worden aangetroffen. In de overige dwarsprofielen wordt vooral zand aangetroffen.

Zoals gezegd zijn de grondwaterberekeningen uitgevoerd ter plaatse van dwarsprofiel 3, zodat de effecten op het natuurgebied Overlangbroek kunnen worden bepaald. In deze oriënterende fase van het onderzoek volstaat het om te veronderstellen dat de effecten in Kolland vergelijkbaar zijn met de effecten in Overlangbroek.

Figuur 3 toont de representatieve opbouw van de ondergrond ter plaatse van dwarsprofiel 3. De getoonde laagindeling is als basis gebruikt voor de samenstelling van het grondwatermodel (zie hoofdstuk 4).



Figuur 3: Opbouw van de ondergrond ter plaatse van dwarsprofiel 3 (dijktraject DWP8). Bron: Regis II v2.2. HLC=Holoceen (deklaag); BXz2=Formatie van Boxtel (zand); KRz2: Formatie van Kreftenheije (zand); Wak1: Formatie van Waalre (klei); PZWaz2, PZWaz3=Formatie van Peize-Waalre (zand); Wak3: Formatie van Waalre (klei); PZWaz4: Formatie van Peize-Waalre (zand); MSz2: Formatie van Maassluis (zand).

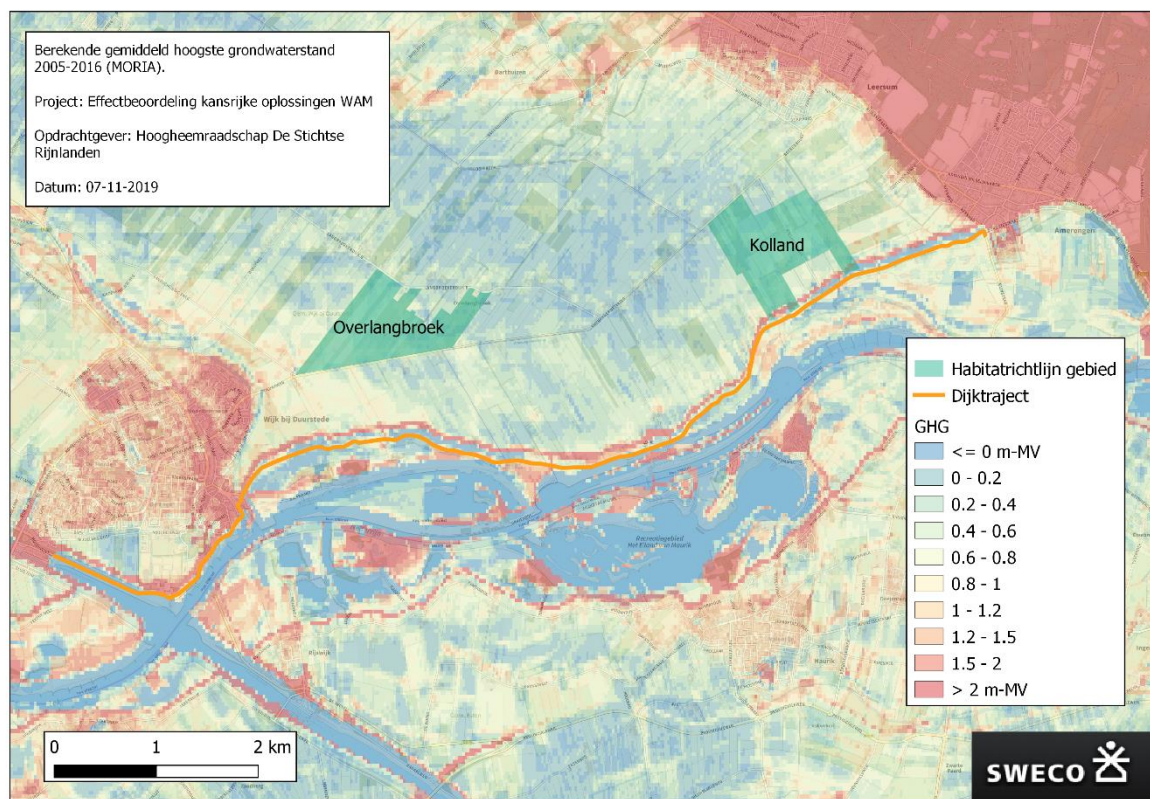
3 Scoremethodiek

De uitgangspunten bij het samenstelling van de score tabellen zijn:

- de effecten worden bepaald ten opzichte van de referentiesituatie in 2030, waarbij de herinrichting van de Lunenburgerwaard in de zone vlak langs de dijk is opgenomen;
- zeer positieve (++) en negatieve scores (--) worden alleen bij een zeer grote impact toegekend;
- scores zijn kwantitatief onderbouwd (oppervlak beïnvloed gebied bijvoorbeeld);
- de effecten met betrekking tot de natuurwaarden richten zich op de habitatrichtlijn gebieden ('Overlangbroek' en 'Kolland').

3.1 Scoretabel 'Grondwaterstanden'

Figuur 4 toont de berekende gemiddeld hoogste grondwaterstand in de periode 2005-2016².



C:\Users\NLCIMM\Documents\Projects\Courant\Dijkversterking Wijk bij Duurstede Amerongen\gis\qgz\locatie.qgz

Figuur 4: Berekende gemiddeld hoogste grondwaterstand 2005-2016 (MORIA).

In de ca. 1 km brede zone, ten noorden van het dijktraject tussen Overlangbroek en Kolland, worden overwegend ondiepe gemiddelde hoogste grondwaterstanden berekend (= ondieper dan 40 cm -mv). Met name bij hoge rivierstanden mag worden verwacht dat daardoor natschade ontstaat voor de landbouw. Als door het nemen van maatregelen de grondwaterstand wordt verlaagd, leidt dit tot een afname van de natschade. Theoretisch kan de verlaging van de grondwaterstand leiden tot een toename van de droogteschade. Dit wordt in deze context minder relevant geacht, omdat hoogwater doorgaans aan de orde is in het 'natte' deel van het groeiseizoen.

² MORIA grondwatermodel.

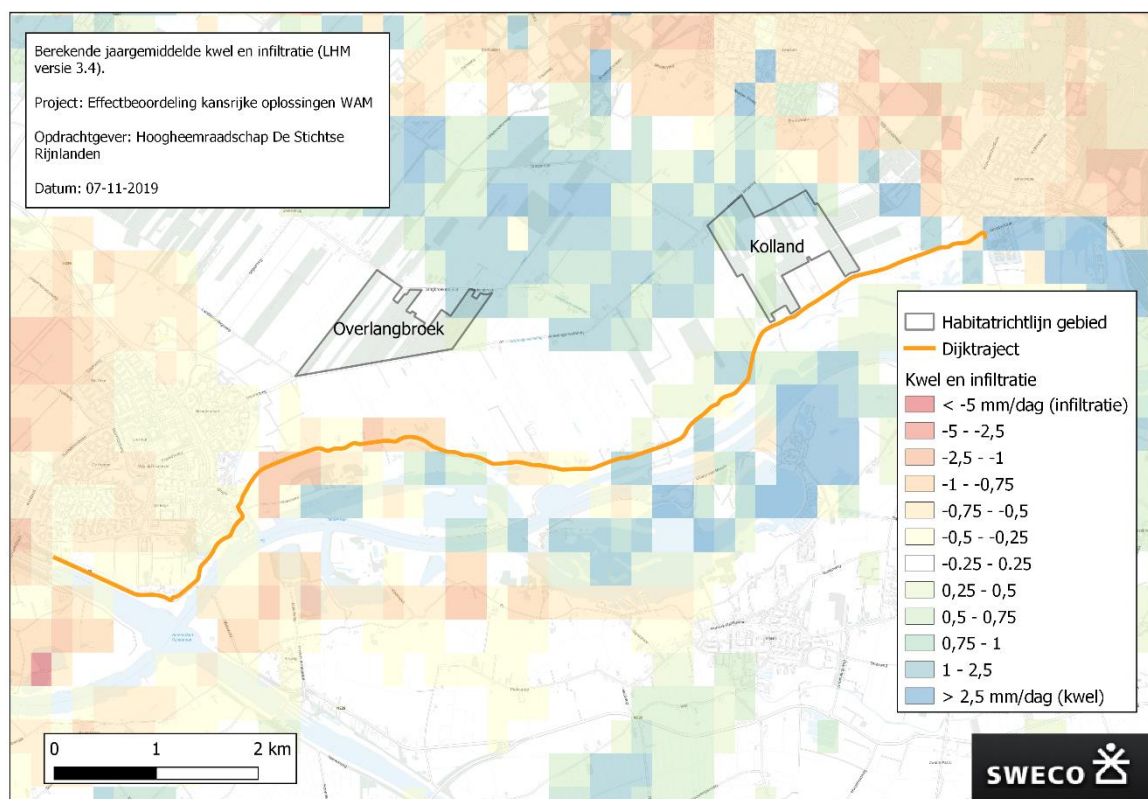
Een berekende verlaging van de grondwaterstand kan vanaf 5 cm gelden als betekenisvol (d.w.z. voldoende betrouwbaar); een verlaging van 5-25 cm als duidelijk positief en een verlaging van meer dan 25 cm als sterk positief. Op basis van deze overwegingen is de volgende score tabel samengesteld:

Scoretabel Grondwaterstanden

Score	Gemiddelde verlaging (dgws) van de grondwaterstand in de zone tot 500 m vanaf de dijk
--	dgws < -25 cm (=natter)
-	-5 < dgws <= -25 cm
0	-5 < dgws <= 5 cm
+	5 < dgws <= 25 cm
++	dgws > 25 cm (droger)

3.2 Scoretabel 'Kwel'

Figuur 5 toont de berekende jaargemiddelde kwel en infiltratie³. Jaargemiddeld is er in de ca. 1 km brede zone ten noorden van het dijktraject vrijwel geen kwel berekend.



Figuur 5: Berekende jaargemiddelde kwel en infiltratie (Landelijk Hydrologisch Model versie 3.4).

Bij hoge rivierstanden is dit wel het geval. Een verhoging van de kwel is ongunstig omdat dit leidt tot een vergroting van het waterbezwaar. Daarnaast kunnen extreem hoge kwelintensiteiten ondermijnend zijn voor de stabiliteit van de dijk (piping).

In dit verband kan een verandering van de kwel van 1 mm/dag als relatief onbeduidend worden aangemerkt; een verandering van de kwel van 5 mm/dag kan worden aangemerkt als 'significant'.

Op basis van deze overwegingen is de volgende score tabel samengesteld:

³ Landelijk Hydrologisch Model versie 3.4 (<https://data.nhi.nu/>).

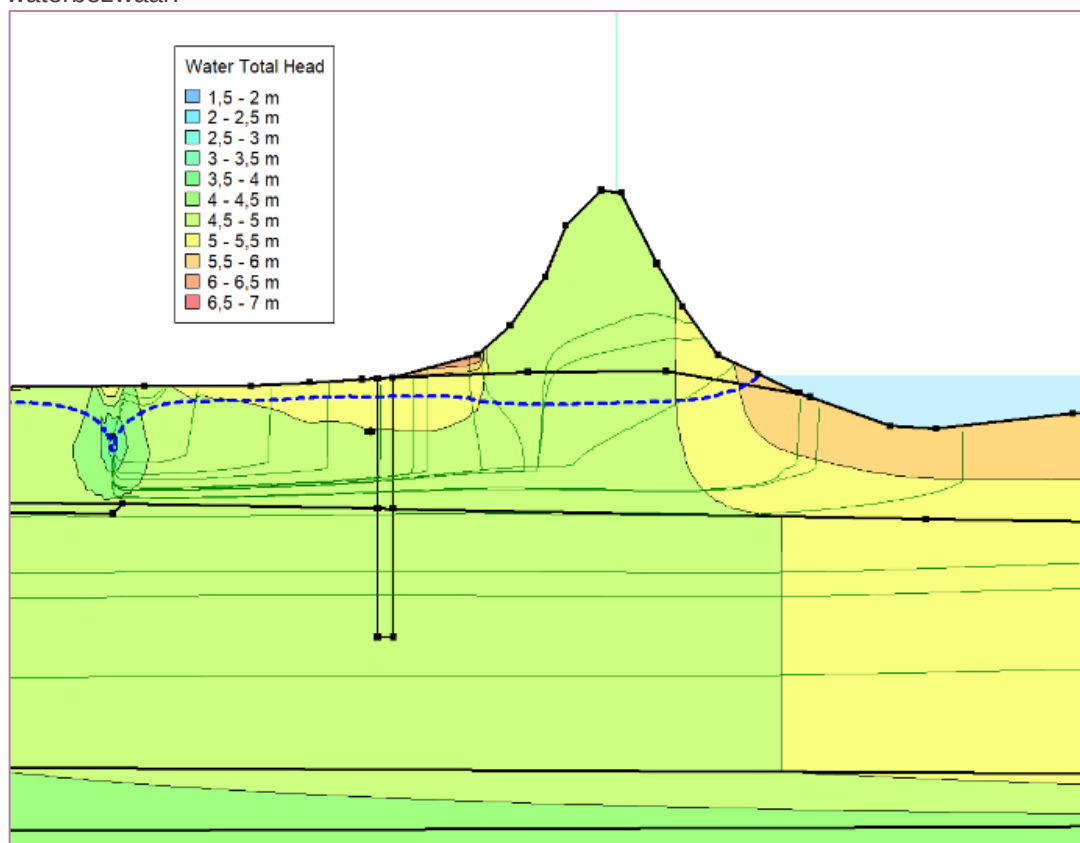
Scoretabel Kwel

Score	Gemiddelde verhoging (dkwel) van de kwel in de zone tot 500 m vanaf de dijk
- -	dkwel < -5 mm/dag (=meer kwel)
-	-1 < dkwel <= -5 mm/dag
0	-1 < dkwel <= 1 mm/dag
+	1 < dkwel <= 5 mm/dag
++	dkwel > 5 mm/dag (minder kwel)

3.3 Score-tabel 'Waterbezwaar'

Het waterbezwaar is water dat door diverse oorzaken de polder instroomt en door spuien of bemaling verwijderd moet worden⁴. Een toename van het waterbezwaar is om die reden niet wenselijk.

In hoogwater situaties mag worden aangenomen dat een toename van de stroming (flux, m²/dag) door en onder de dijk ook een (even grote) toename betekent van het waterbezwaar.



Figuur 6: Impressie stroming door- en onder de dijk. De stroomlijnen zijn als groene lijnen weergegeven.

Een afname van dit waterbezwaar met minder dan 5% wordt in dit verband als relatief onbetekenend beschouwd; een afname van het waterbezwaar van 25% of meer wordt als relatief fors aangemerkt.

⁴ <https://www.infrawiki.nl/index.php/begrippenlijst/1339-waterbezwaar>

Op basis van deze overwegingen is de volgende scoretabel samengesteld:

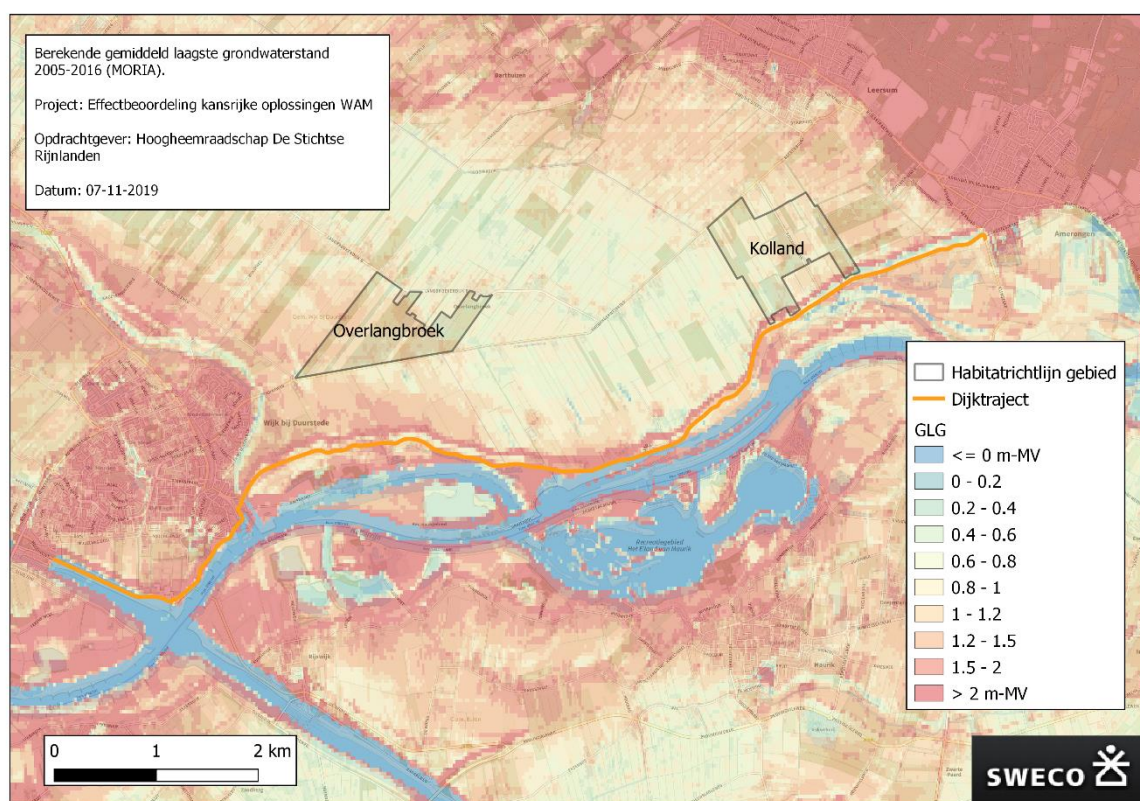
Scoretabel Waterbezwaar

Score	Afname van het waterbezwaar (dwb, %)
- -	dwb < -25% (=groter waterbezwaar)
-	-5 < dwb <= -25 %
0	-5 < dwb <= 5 %
+	5 < dwb <= 25 %
++	dwb > 25 % (kleiner waterbezwaar)

3.4 Score-tabel 'Natuurwaarden (grondwaterstanden)'

Figuur 4 laat zien dat zowel in het habitatrictlijngebied 'Overlangbroek' als in het habitatrictlijngebied 'Kolland' ondiepe hoogste grondwaterstanden worden berekend (= ondieper dan 40 cm -mv).

Figuur 7 laat de berekende gemiddeld laagste grondwaterstand in de periode 2005-2016 zien⁵.



Figuur 7: Berekende gemiddeld laagste grondwaterstand 2005-2016 (MORIA).

Een verlaging van de grondwaterstand is in deze gebieden ongewenst, waarbij een (berekende) verlaging van 5 cm als 'significant' kan worden aangemerkt en een verlaging van 25 cm als 'aanzienlijk'. Omgekeerd geldt dat een vernatting als 'positief' kan worden aangemerkt.

⁵ MORIA grondwatermodel.

Op basis van deze overwegingen is de volgende score tabel samengesteld:

Scoretabel Natuurwaarden Grondwaterstand

Score	Gemiddelde verlaging (dgws) van de grondwaterstand in het habitatgebied
- -	$dgws < -25 \text{ cm}$ (=droger)
-	$-5 < dgws \leq -25 \text{ cm}$
0	$-5 < dgws \leq 5 \text{ cm}$
+	$5 < dgws \leq 25 \text{ cm}$
++	$dgws > 25 \text{ cm}$ (natter)

3.5 Score-tabel 'Natuurwaarden (kwel)'

Figuur 5 laat zien dat er in het habitatgebied Kolland jaargemiddeld sprake is van kwel. Bij hoge waterstanden is dat waarschijnlijk ook het geval voor het habitatgebied Overlangbroek.

Een relatief geringe kwelverandering (vanaf 0,1 mm/dag) kan voor grondwaterafhankelijke vegetatie betekenisvol zijn. Een kwelverandering groter dan 0,5 mm/dag kan als relatief fors worden beschouwd.

Op basis van deze overwegingen is de volgende score tabel samengesteld:

Scoretabel Natuurwaarden Kwel

Score	Gemiddelde verlaging (dkwel) van de kwel in het habitatgebied
- -	$dkwel < -0,5 \text{ mm/dag}$ (= minder kwel)
-	$-0,1 < dkwel \leq -0,5 \text{ mm/dag}$
0	$-0,1 < dkwel \leq 0,1 \text{ mm/dag}$
+	$0,1 < dkwel \leq 0,5 \text{ mm/dag}$
++	$dkwel > 0,5 \text{ mm/dag}$ (meer kwel)

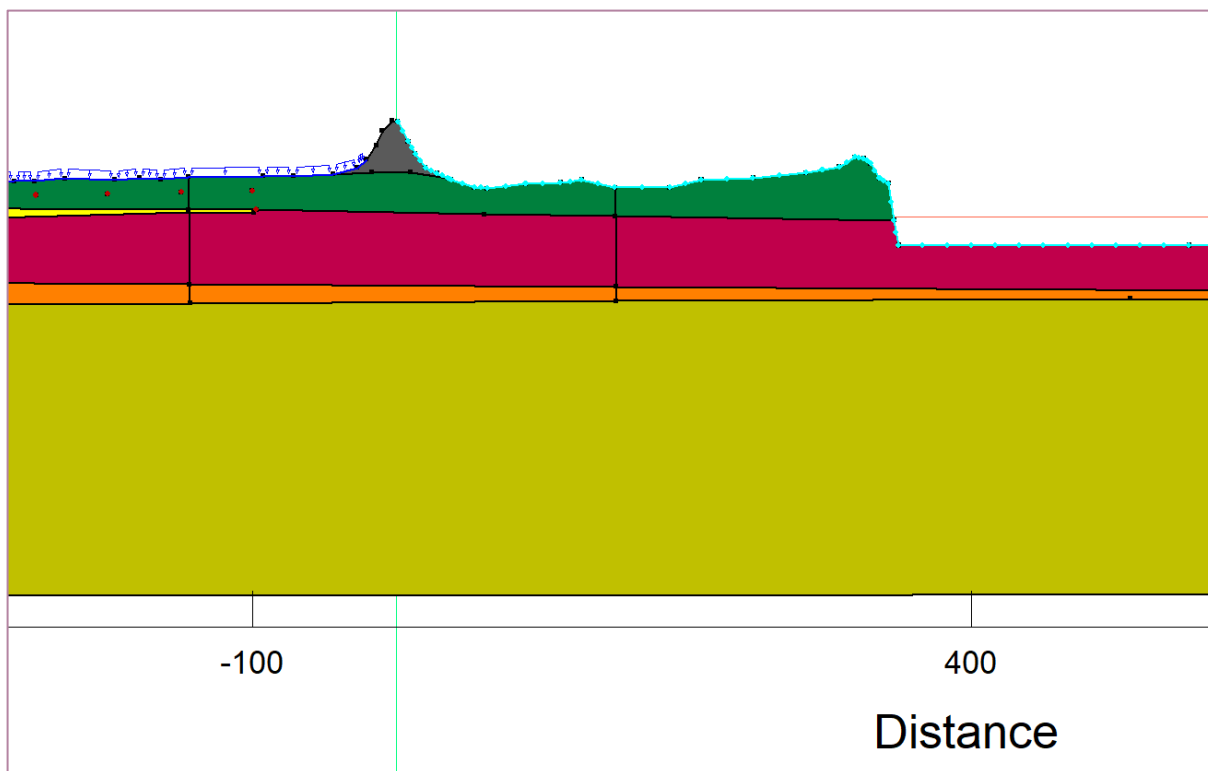
4 Modellen ter plaatse van dwarsprofiel 3 (dijktraject DWP8)

De grondwaterstanden en -fluxen in en rondom de dijk zijn berekend met het model Seep/W. Dit is een programma waarmee stationair en tijdsafhankelijke analyses tussen grondwater en atmosfeer kunnen worden gemodelleerd in de verzadigde en onverzadigde zone. In het model wordt een dwarsdoorsnede van de dijk en haar omgeving gemaakt. Oppervlaktewaterpeilen en stijghoogtes van het grondwater worden gebruikt als randvoorwaarden in het model. Randvoorwaarden zijn belangrijk omdat ze invloed hebben op de opbolling van het grondwater en zo de grondwaterstanden en -fluxen beïnvloeden.

4.1 Referentie (huidig)

Profiel dijk en omgeving

Deze dwarsdoorsnede van de dijk is gemaakt ter hoogte van dwarsprofiel 3 (zie Figuur 2; dit is een uitsnede ter hoogte van dijktraject DWP8, zie bijlage 4). De dwarsdoorsnede van de dijk is bijna 4 km lang en reikt van het natuurgebied Overlangbroek tot aan het verlengde van de Parkstraat ten zuiden van de Nederrijn. De locatie van de dwarsdoorsnede is opgenomen in Bijlage 2. De dimensies van het profiel van de dijk zijn bepaald aan de hand van de referentietekeningen die gemaakt zijn van de dijk. Hiervoor is gebruik gemaakt van dwarsprofiel acht (DW-08). Dit dwarsprofiel is opgenomen in bijlage 3. Het profiel van de omgeving is bepaald aan de hand van de AHN2. Een groter formaat van de afbeelding van de dwarsdoorsnede van het model is opgenomen in Bijlage 4.



Figuur 8: Profiel van het referentie model (detail). De deklaag (donker groen) bestaat uit een Holocene afzetting. Het eerste watervoerend pakket bestaat uit de Formatie van Kreftenheye (paars). De eerste scheidende laag (oranje) is afkomstig van de Formatie van waalre (klei). Het tweede watervoerend pakket: Peize/Waalre (goud).

De maatregelen spelen zich voornamelijk af in de deklaag (groene laag in Figuur 8), met uitzondering van alternatief A. In alternatief A (verticale oplossing), wordt binnendijks een scherm aangebracht tot 10 m -mv. Het scherm steekt daarmee in het eerste watervoerend pakket (paarse laag in Figuur 8).

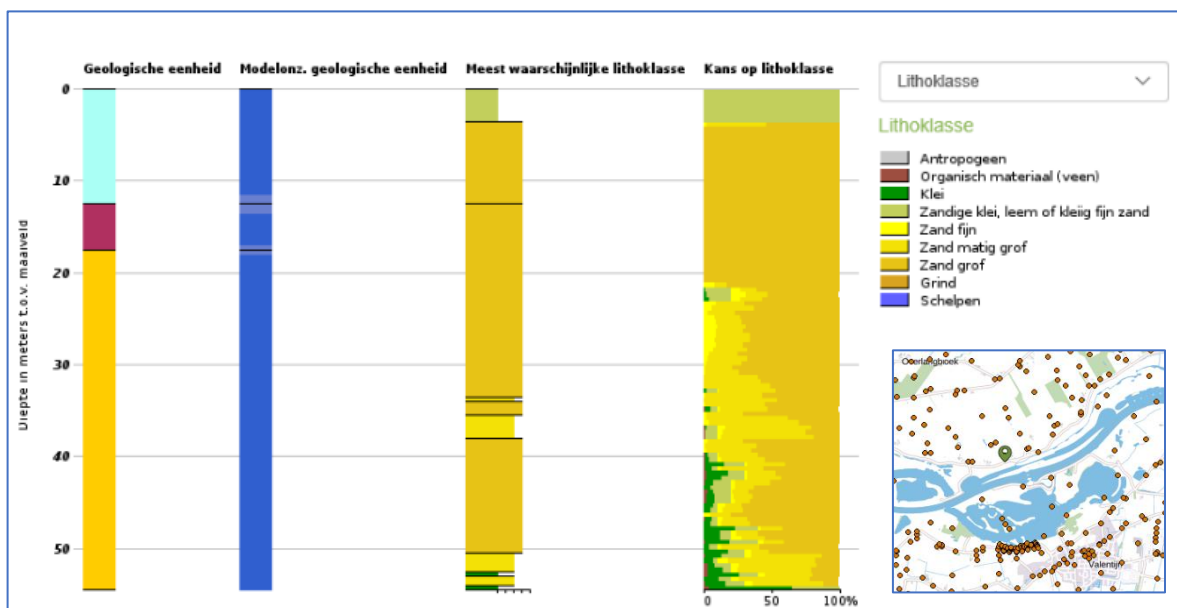
Bodemopbouw

Voor de opbouw van de ondergrond zijn gegevens van GeoTop en Regis II v2.2 gebruikt. De bodemparameters zijn in een eerste benadering overgenomen uit (Optimalisatie piping dijkverbetering WAM, 31 oktober 2019) en Regis II v2.2.

Deze parameters zijn als volgt:

- weerstand deklaag: 900 dagen;
- doorlatendheid eerste watervoerend pakket (de Formatie van Kreftenheye: 80 m/dag);
- weerstand eerste scheidende laag (Waalre klei): 300 dagen (Regis II v2.2);
- doorlatendheid tweede watervoerend pakket: 67 m/dag;
- doorlatendheid dijk: 0,05 m/dag (ervaringsgetal).

Opgemerkt wordt dat, ter plaatse van de Nederrijn en de zandwinplas in het model, de deklaagweerstand is verwijderd. Lokaal kan de deklaagweerstand kleiner zijn dan de genoemde 900 dagen. Figuur 9 toont een boorprofiel nabij de dijk waarbij de deklaagweerstand hier vanaf afwijkt in de buurt van de dwarsdoorsnede.



Figuur 9: Boorprofiel (bron: GeoTOP).

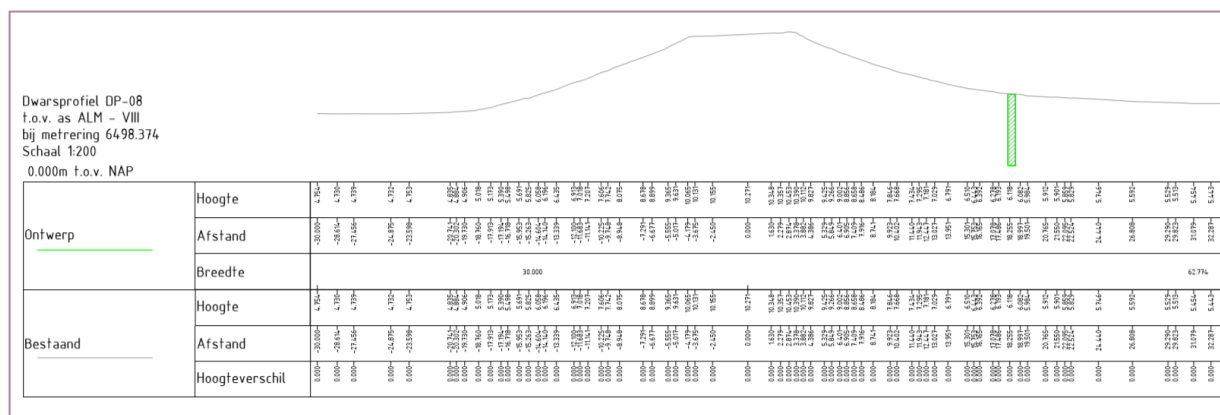
In het boorprofiel is te zien dat de deklaag op de boorlocatie effectief bestaat uit een 3,5 m dikke laag zandige klei, leem of kleig fijn zand. De doorlatendheid hiervan kan worden geschat op 0,05 m/dag (Optimalisatie piping dijkverbetering WAM, 31 oktober 2019). De verwachte hydraulische weerstand van de deklaag ter plaatse is daarom $3,5/0,05 = 70$ dagen. Deze lokale beperkte weerstand van de deklaag is als maatgevend beschouwd en als zodanig in het grondwatermodel gebracht.

Randvoorwaarden

Aan de randen van het model zijn de stijghoogtes van het grondwater gebruikt als randvoorwaarden. De stijghoogte aan de noord- en zuidgrens van het model zijn afkomstig van grondwatertools.nl. De watergangen zijn verwerkt als drains in het model. Het niveau van het oppervlakte waterpeil in de Nederrijn wordt gehanteerd op 6 m +NAP (Figuur 4). In het model is het neerslagoverschot ingebracht van 0,8 mm/dag.

4.2 Alternatief A: verticale oplossing

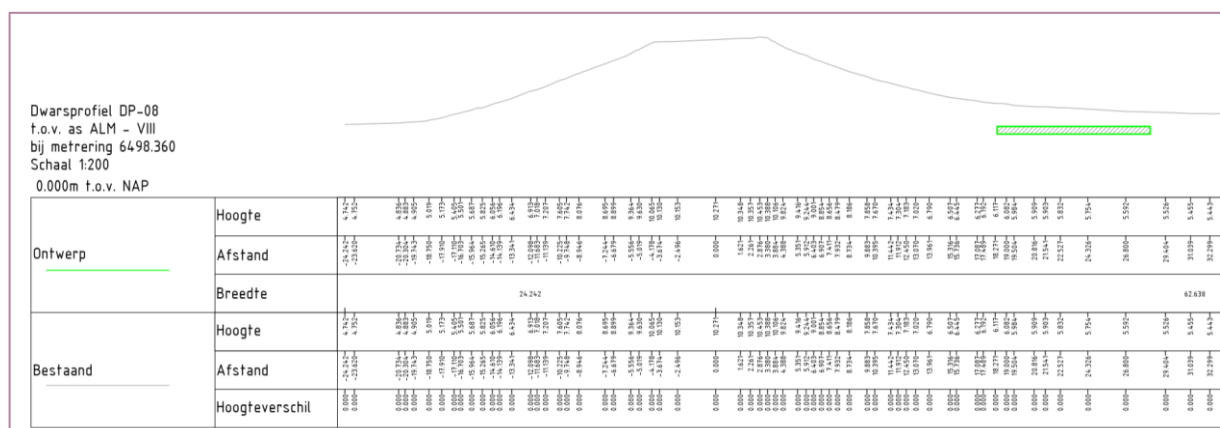
In alternatief A wordt binnendijs een scherm aangebracht tot 10 m -mv (zie Figuur 10). Het scherm 'steekt' daarmee door de deklaag heen in het eerste watervoerend pakket. Het scherm reikt echter niet tot de eerste scheidende laag (Waalre-klei), waardoor het effect van het scherm op de stijghoogten en kwel binnendijs beperkt wordt.



Figuur 10: Alternatief A: verticale oplossing.

4.3 Alternatief B1: binnendijkse klei-ingraving of bentoniet mat onder het maaiveld.

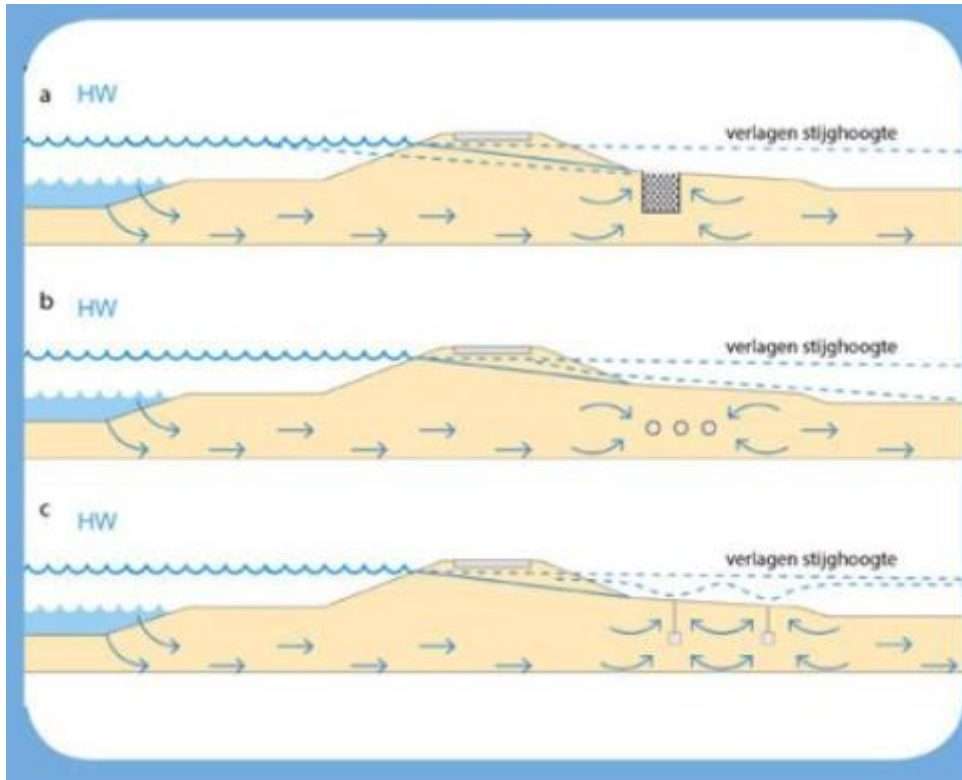
Een binnendijkse klei-ingraving of bentoniet mat onder het maaiveld (zie Figuur 11) kan de opwaartse stroming in de deklaag verkleinen. Van deze ingreep mag een alleen lokaal effect op de stroming worden verwacht, omdat de mat is ingebed in de deklaag.



Figuur 11: Alternatief B1: binnendijkse klei-ingraving of bentoniet mat onder het maaiveld.

4.4 Alternatief B2: drainageconstructie.

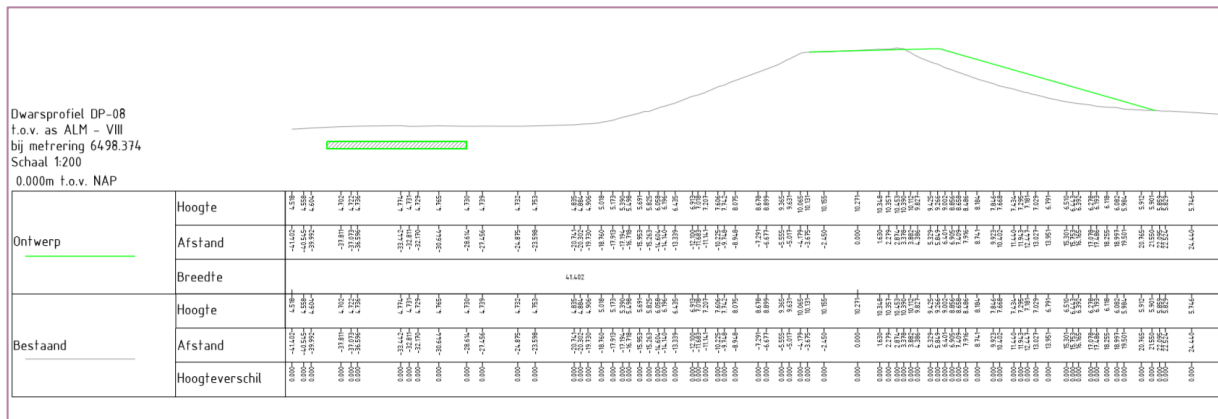
Met een drainageconstructie wordt de opwaartse druk van het grondwater, net achter de dijk, verlaagd en het risico op piping verkleind. Ook zorgt het drainagestelsel voor een stabielere binnenberm (zie Figuur 12).



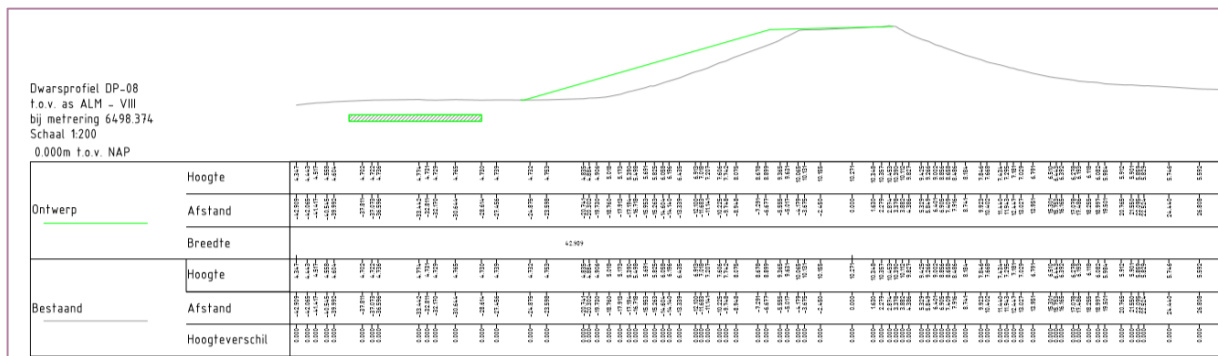
Figuur 12: Oplossing B2: drainageconstructie.

4.5 Alternatieven C1 en C2: buitendijkse klei-ingraving of bentoniet-mat onder het maaiveld

Een buitendijkse klei-ingraving of bentoniet-mat onder het maaiveld (zie Figuur 13 en Figuur 14) kan ter plaatse de neerwaartse stroming in de deklaag verkleinen. Van deze ingreep mag alleen een lokaal effect op de stroming worden verwacht, omdat de mat is ingebed in de deklaag. De oplossingen C1 en C2 verschillen alleen op het punt van de locatie van de bermophoging (binnendijs of buitendijs). Voor de uitwerking van de hydrologische effecten is de locatie van de bermophoging irrelevant.



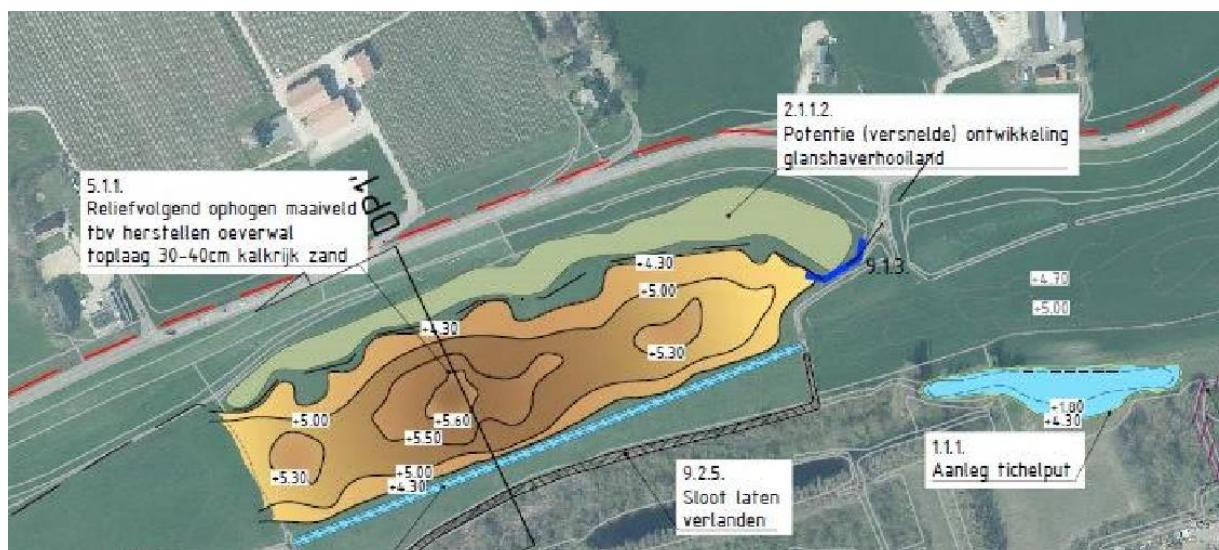
Figuur 13: Oplossing C1 (buitendijkse klei-ingraving of bentoniet-mat onder het maaiveld gecombineerd met binnendijkse bermophoging.



Figuur 14: Oplossing C2 (buitendijkse klei-ingraving of bentoniet-mat onder het maaiveld gecombineerd met buitendijkse bermophoging.

4.6 Alternatief B2a (drainageconstructie) met maatregel 'ophogen van een oude stroomrug' in de Lunenburgerwaard

In een deel van de Lunenburgerwaard wordt overwogen het maaiveld 'reliëfvolgend' op te hogen ten behoeve van het herstel van de oeverwal (zie Figuur 15).



Figuur 15: Herstel oeverwal Lunenburgerwaard.

Het betreft een ophoging van ca. 1 m. Het effect van het verhogen van de oeverwal is in het model ingebracht door het maaiveld in een ca. 80 m brede (buitendijkse) zone te verhogen (zie Figuur 15). Modelmatig betekent de verhoging van het maaiveld een verhoging van de hydraulische weerstand van de deklaag. Het grootste effect hiervan mag worden verwacht op de locaties waar de deklaag relatief dun is en een relatief geringe weerstand heeft. Bij een doorlatendheid van 0,05 m/dag (zie paragraaf 4.1) en een ophoging van 1 m, betekent dit een (beperkte) verhoging van de deklaagweerstand van $1/0,05 = 20$ dagen.

4.7 Alternatief B2b (drainageconstructie) met maatregel 'herstellen (uitgraven) van de verlandde en volgegroeide kleiputten' in Lunenburgerwaard

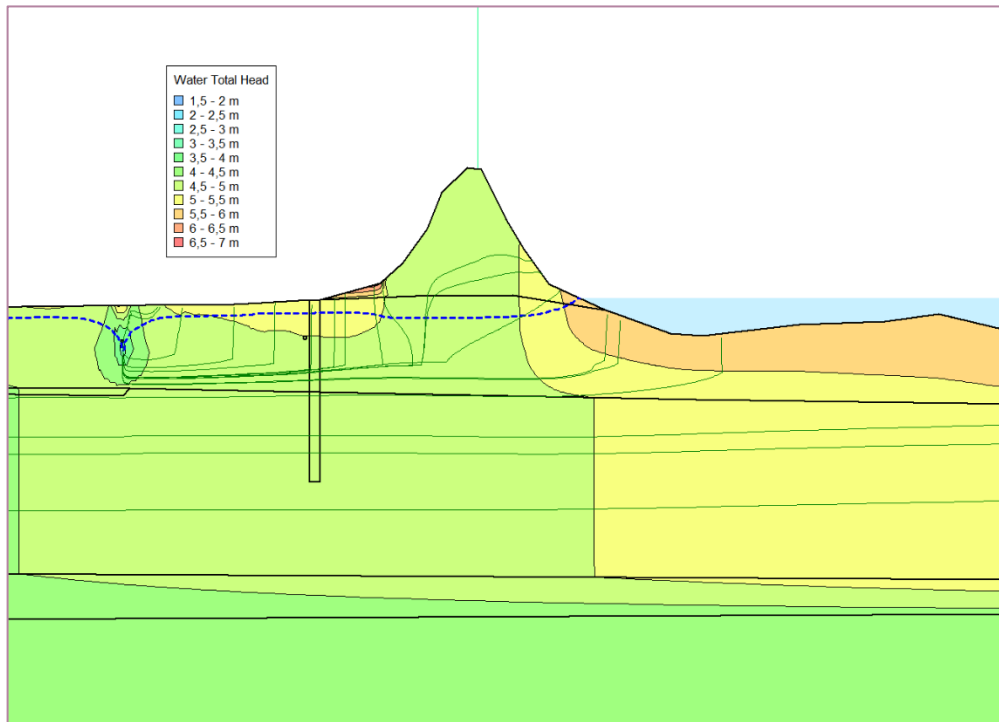
In een deel van de Lunenburgerwaard wordt overwogen de verlandde (= volgegroeide) kleiputten uit te graven tot een niveau van ca. 0,6 m +NAP (zie Figuur 16). Het effect van deze vergraving is in het model ingebracht door het verlagen van het maaiveld tot dit niveau, in een ca. 50 m brede (buitendijkse) zone. Modelmatig betekent het verlagen van het maaiveld een verlaging van de hydraulische weerstand van de deklaag.



Figuur 16: Herstellen (uitgraven) van verlandde en vol gegroeide kleiputten Lunenburgerwaard .

5 Resultaten

In de referentieberekening ontstaat bij hoogwater een landinwaartsgerichte stroming. De stroming vindt vooral plaats in het eerste watervoerend pakket (zie Figuur 17). De opwaartse stroming in de deklaag (kwel) wordt beperkt door de relatief grote hydraulische weerstand in de deklaag.

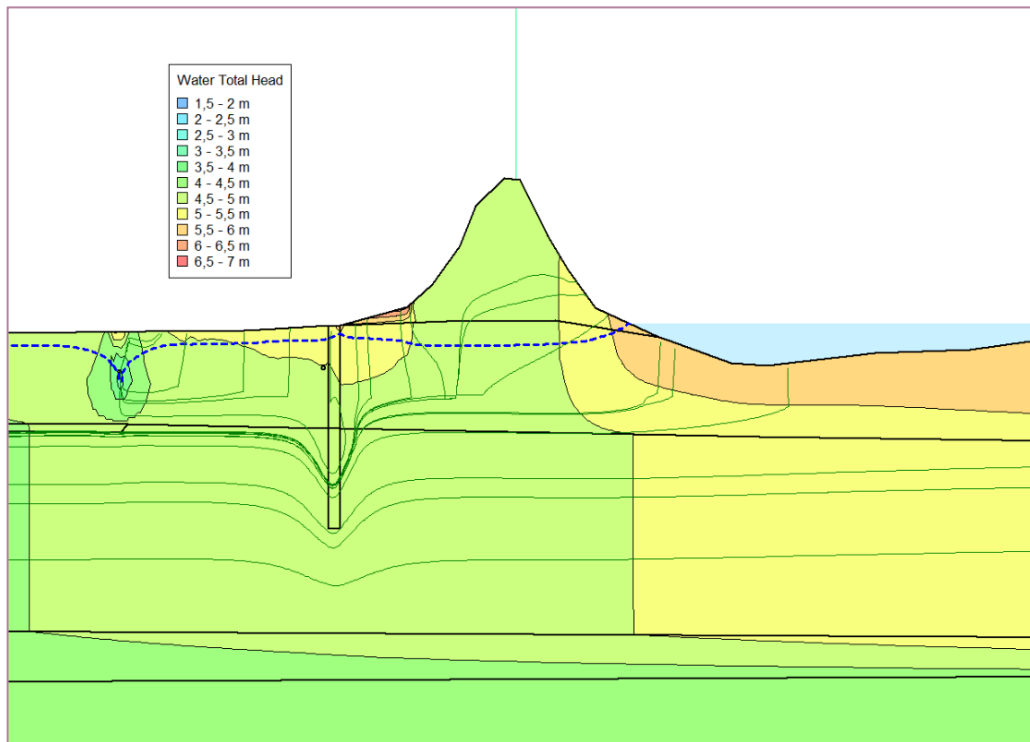


Figuur 17: Berekende stijghoogten en stroombanen t.p.v. dwarsprofiel 3 (referentie situatie, dijktraject DWP8).

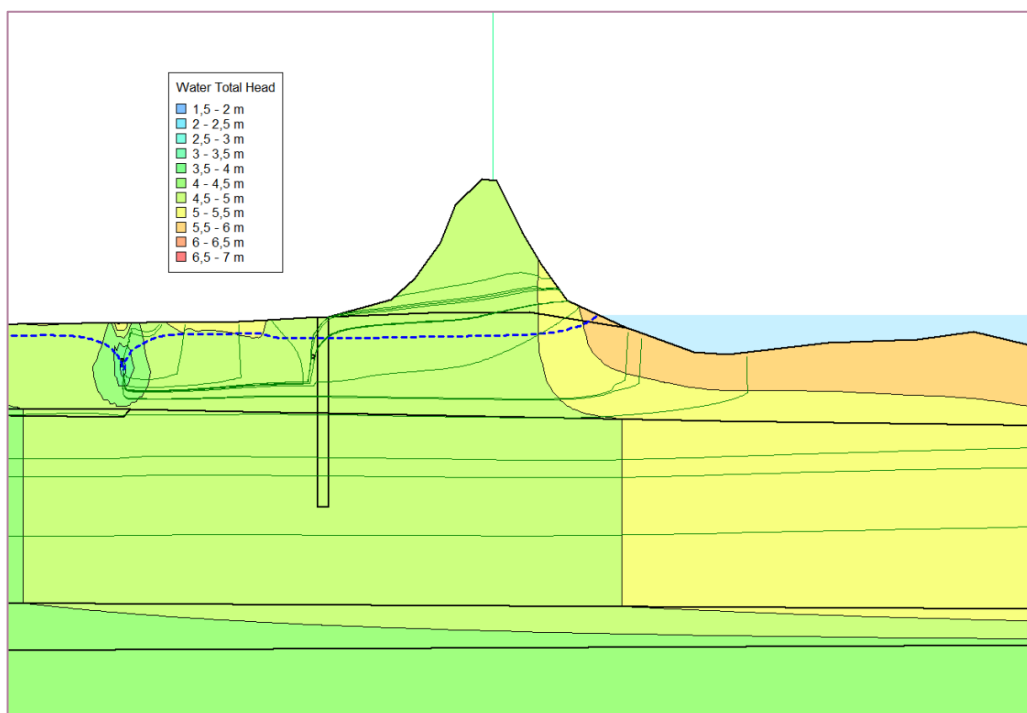
Resultaten van de referentieberekening:

- gemiddelde van de grondwaterstand in de zone tot 500 m vanaf de dijk: 4,52 m +NAP;
- gemiddelde kwel in de zone tot 500 m vanaf de dijk: 0,61 mm/dag;
- waterbezwaar: 1,97 m³/dag/m;
- gemiddelde grondwaterstand in het habitatgebied: 2,51 m +NAP;
- gemiddelde kwel in het habitatgebied: 0,57 mm/dag.

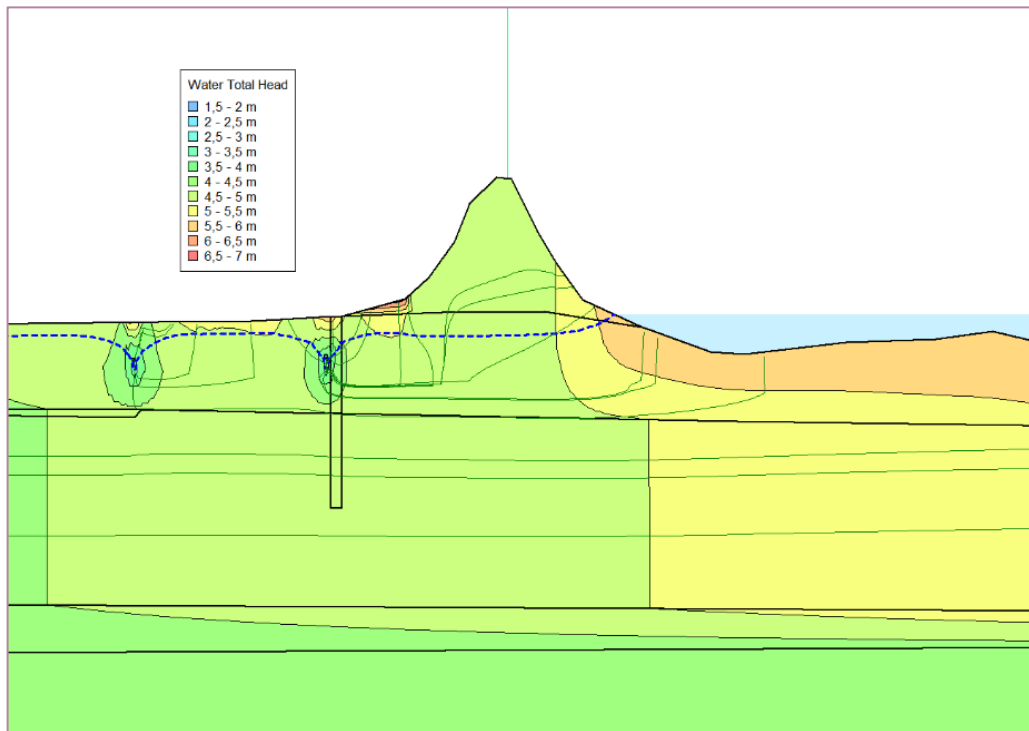
Figuur 18 tot en met 23 tonen de berekende stroombanen en stijghoogten bij de alternatieven A t/m C.



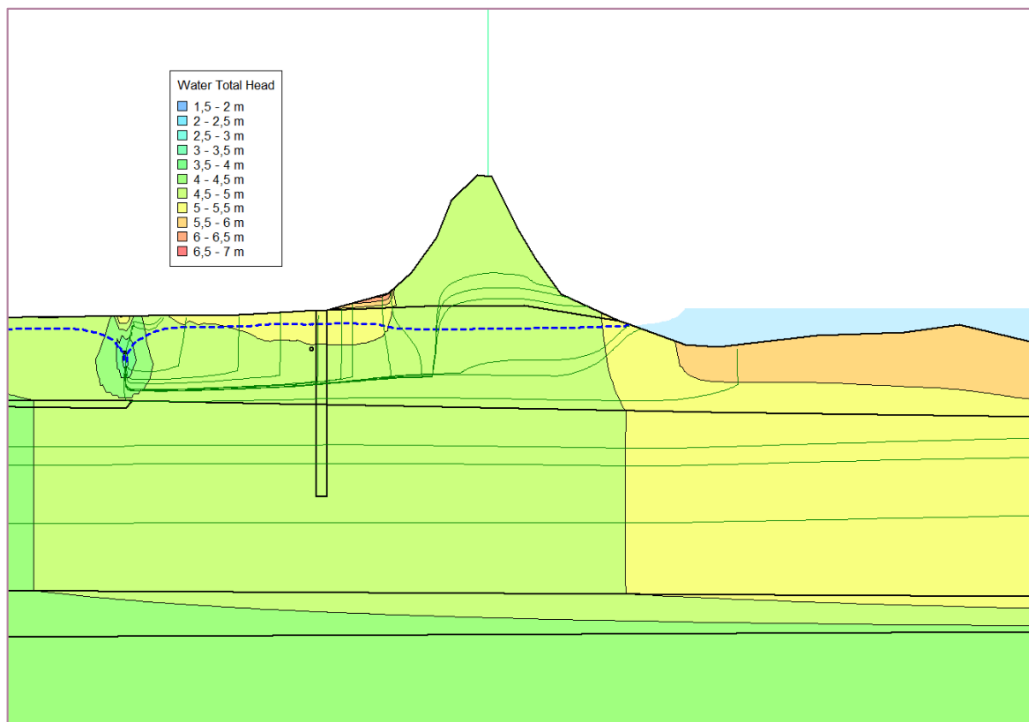
Figuur 18: Berekende stijghoogten en stroombanen t.p.v. dwarsprofiel 3 (alternatief A-verticale oplossing-, dijktraject DWP8).



Figuur 19: Berekende stijghoogten en stroombanen t.p.v. dwarsprofiel 3 (alternatief B1-binnendijkse klei-ingraving-, dijktraject DWP8).

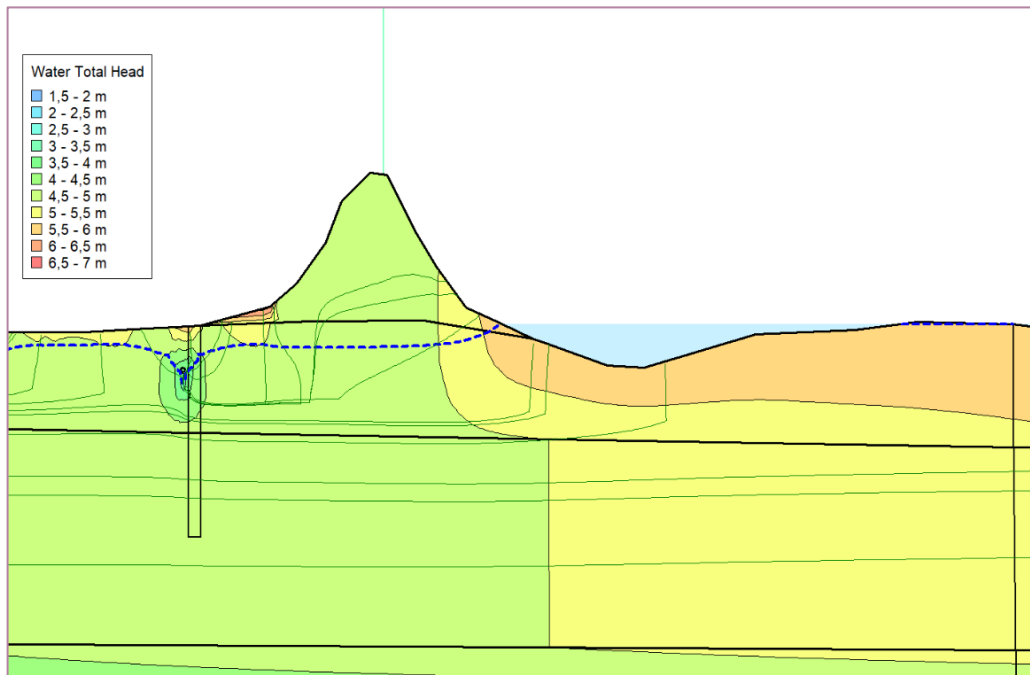


Figuur 20: Berekende stijghoogten en stroombanen t.p.v. dwarsprofiel 3 (alternatief B2-drainageconstructie-, dijktraject DWP8).

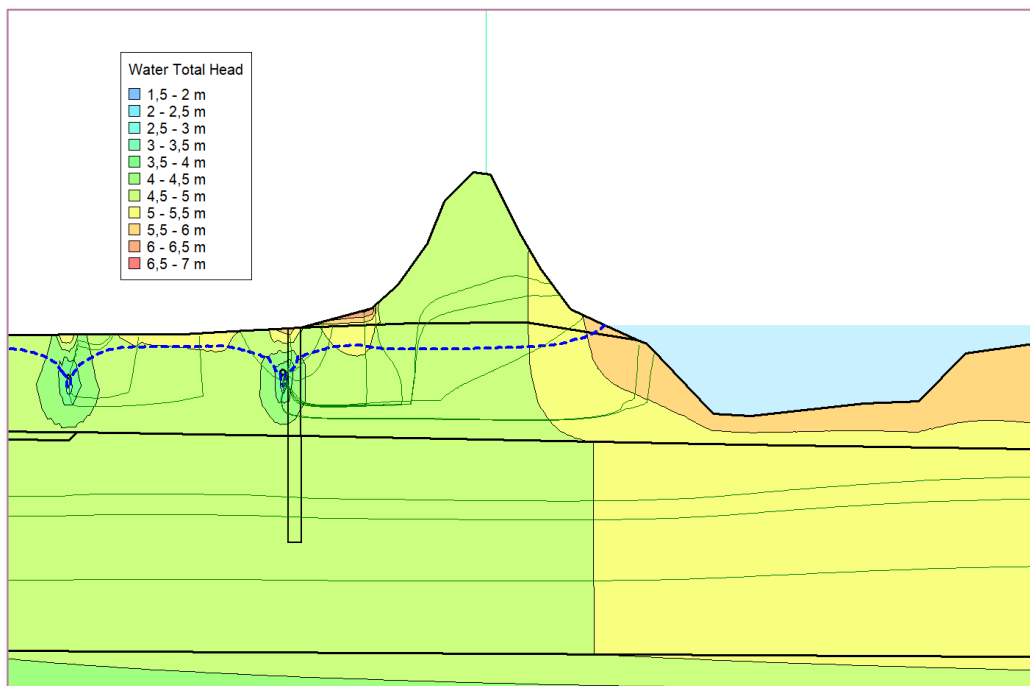


Figuur 21: Berekende stijghoogten en stroombanen t.p.v. dwarsprofiel 3 (alternatief C-buitendijkse klei-ingraving, dijktraject DWP8).

Uit de berekeningen blijkt dat de maatregelen een lokaal (tot 100 m afstand van de dijk) effect hebben op het stromingspatroon en de stijghoogten in met name de deklaag.



Figuur 22: Alternatief B2a (drainageconstructie) met maatregel 'ophogen van een oude stroomrug' in de Lunenburgerwaard.



Figuur 23: Alternatief B2b (drainageconstructie) met maatregel 'herstellen (uitgraven) van de verlandde en volgegroeide kleiputten' in Lunenburgerwaard.

Deze bevindingen resulteren in de onderstaande score tabel.

Tabel 1: Resultaten (score tabel).

Alternatief	A (verticale oplossing)	B1 (binnendijkse klei ingraving of bentoniet mat onder het maaiveld)	B2 (drainage-constructie)	C1/C2 (buiten-dijkse klei ingraving of bentoniet mat onder het maaiveld)	Alternatief B2a (als B1 met ophogen van een oude stroomrug)	Alternatief B2b (als B2 plus uitgraven kleiputten)
Grondwaterstanden	0	0	0	0	0	0
Kwel	0	0	0	0	0	0
Waterbezwaar	0	0	0	0	0	-
Natuurwaarden (grondwaterstanden)	0	0	0	0	0	0
Natuurwaarden (kwel)	0	0	0	0	0	0

De maatregelen hebben een zeer beperkt effect op de stromingssituatie in het eerste watervoerend pakket, waardoor de scores conform de score-methodiek (hoofdstuk 3) vrijwel altijd 'neutraal' zijn. Een uitzondering is alternatief B2b. In alternatief B2b (uitgraven kleiputten) ontstaat een ca. 5% hoger waterbezwaar, doordat lokaal de weerstand van de deklaag wordt verminderd.

Geciteerde werken

- Bot, B. (2011). Grondwaterzakboekje.
- (31 oktober 2019). Optimalisatie piping dijkverbetering WAM. Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden.

Bijlage 1 GeoTOP dwarsprofielen

In deze bijlage zijn dwarsprofielen (raaien) opgenomen van de ondergrond. De coderingen in die dwarsprofielen worden toegelicht door de twee tabellen hieronder.

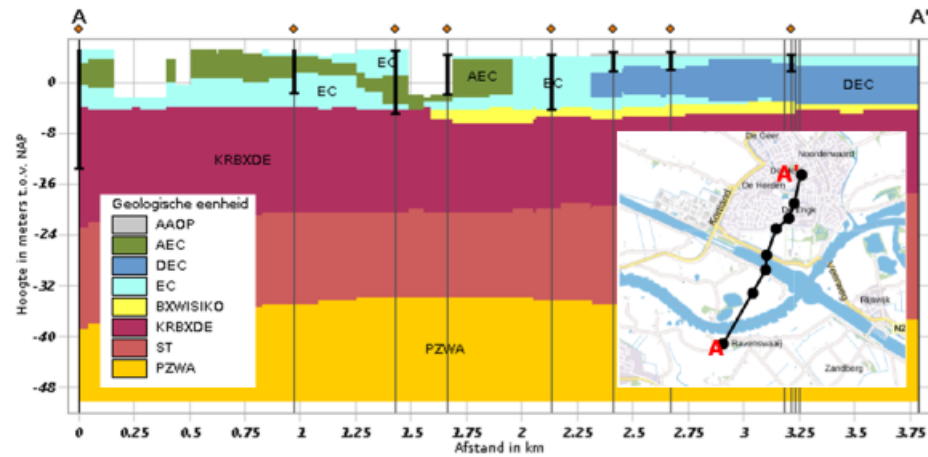
Coderingen Geologische eenheden

- AAOP: Antropogene afzettingen
- AEC: Formatie van Echteld (geulafzettingen generatie A)
- DEC: Formatie van Echteld (geulafzettingen generatie D)
- EC: Formatie van Echteld
- BXWISIKO: Formatie van Boxtel, laagpakketten van Wierden, Singraven en Kootwijk
- KRBXDE: Formatie van Kreftenheye en Formatie van Boxtel, Laagpakket van Delwijnen
- ST: Formatie van Sterksel
- PZWA: Formatie van Peize en Formatie van Waalre
- DR: Formatie van Drente
- GE: Door landijs gestuwde afzettingen

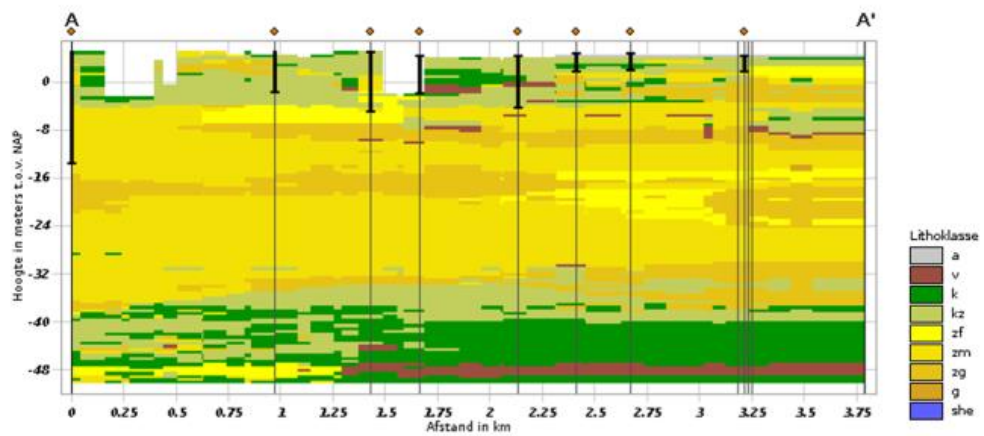
Coderingen Lithoklassen

<u>LITHO</u>	<u>CLASS</u>	<u>CD</u>	<u>DESCRIPTION</u>
a			antropogeen
v			organisch materiaal (veen)
k			klei
kz			klei zandig, leem, kleig fijn zand
zf			zand fijn
zm			zand matig grof
zg			zand grof
g			grind
she			schelpen
z			zand niet gedifferentieerd
o			overig

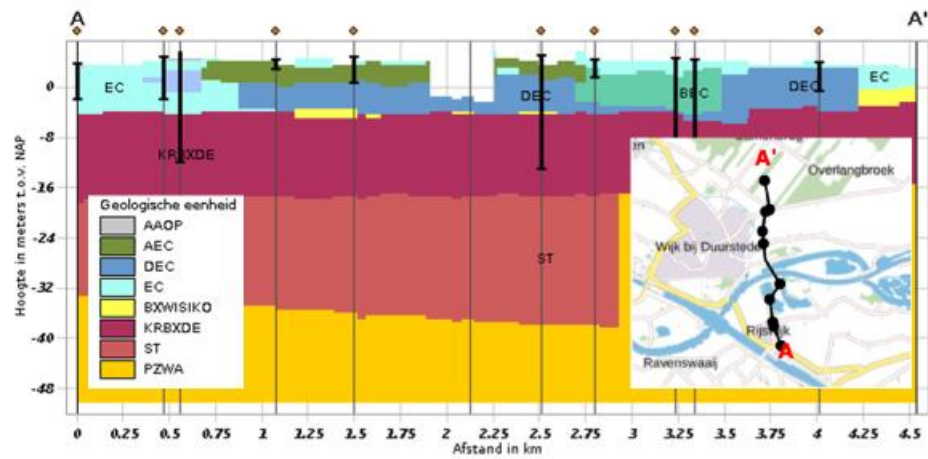
Raai 1 (Geologische eenheid)



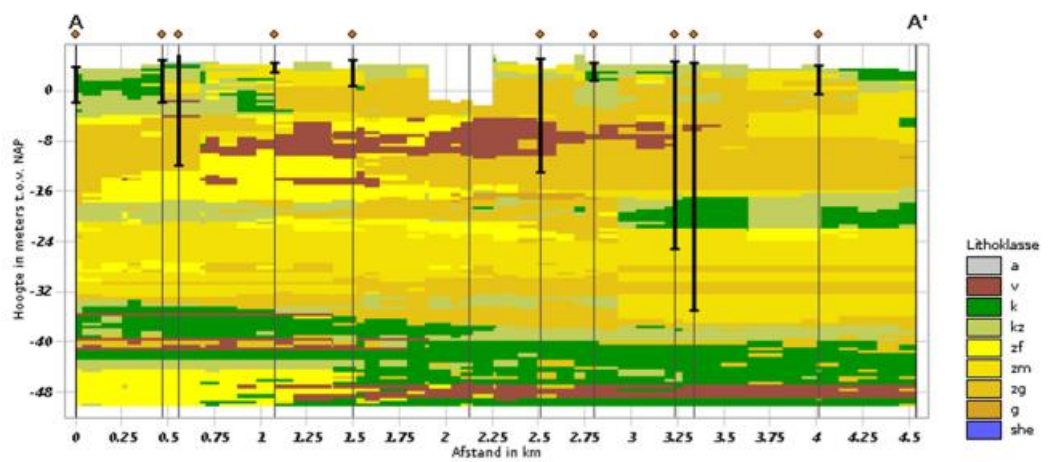
Raai 1 (Lithoklasse)



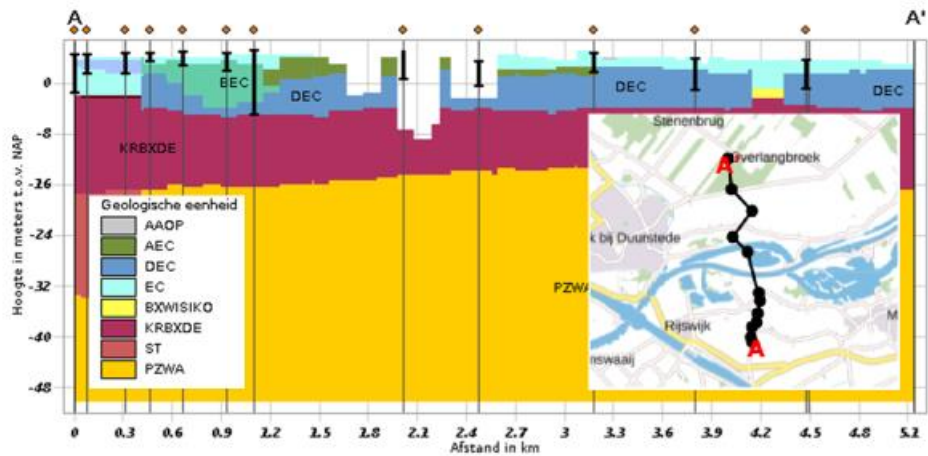
Raai 2 (Geologische eenheid)



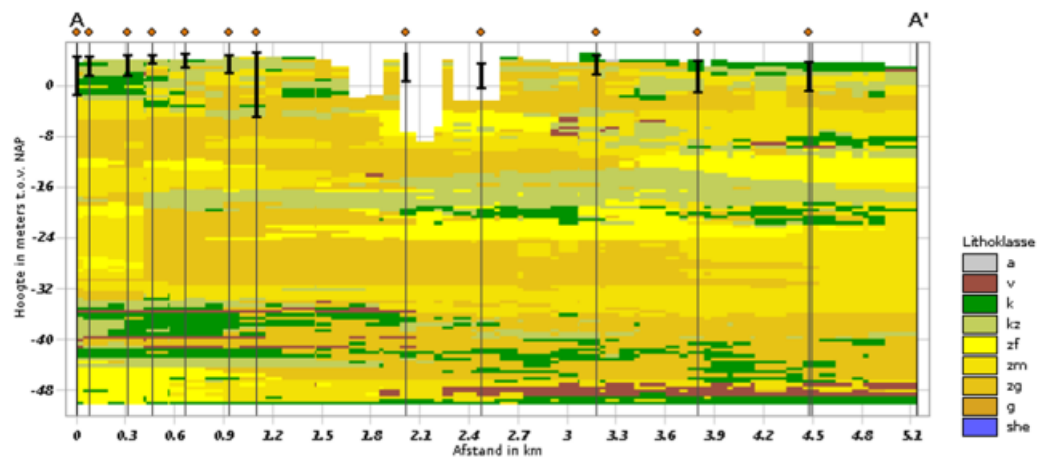
Raai 2 (Lithoklasse)



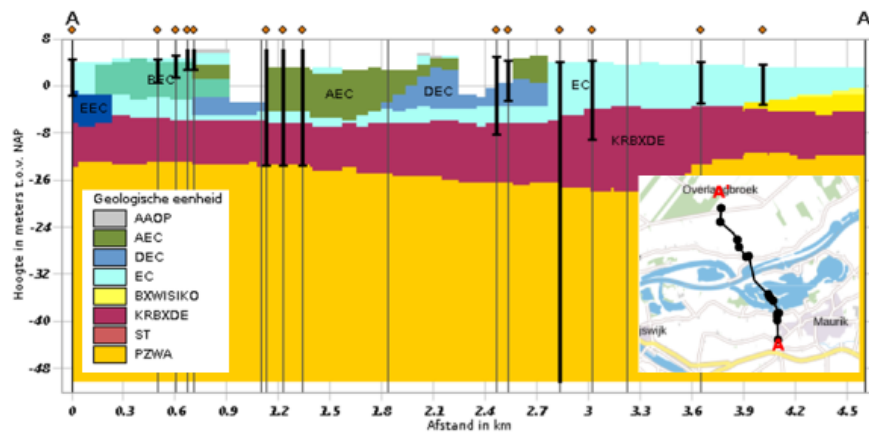
Raai 3 (Geologische eenheid)



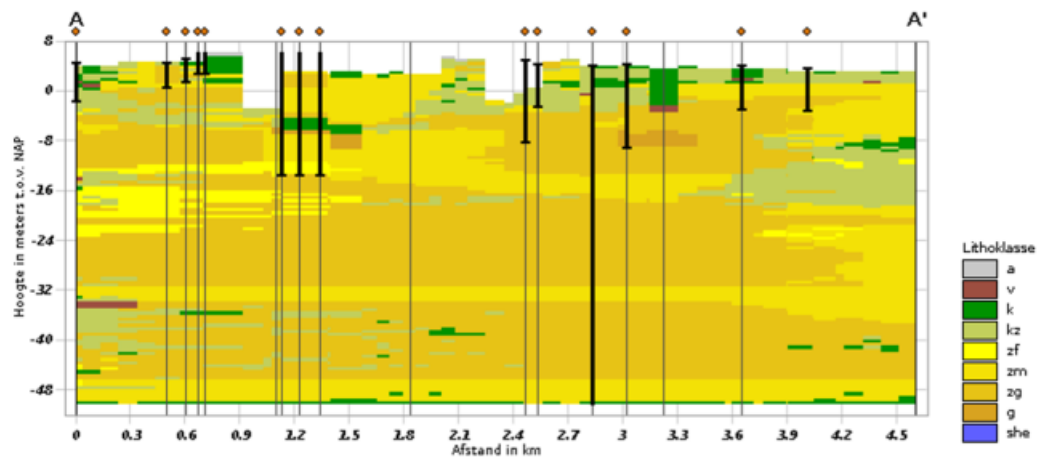
Raai 3 (Lithoklasse)



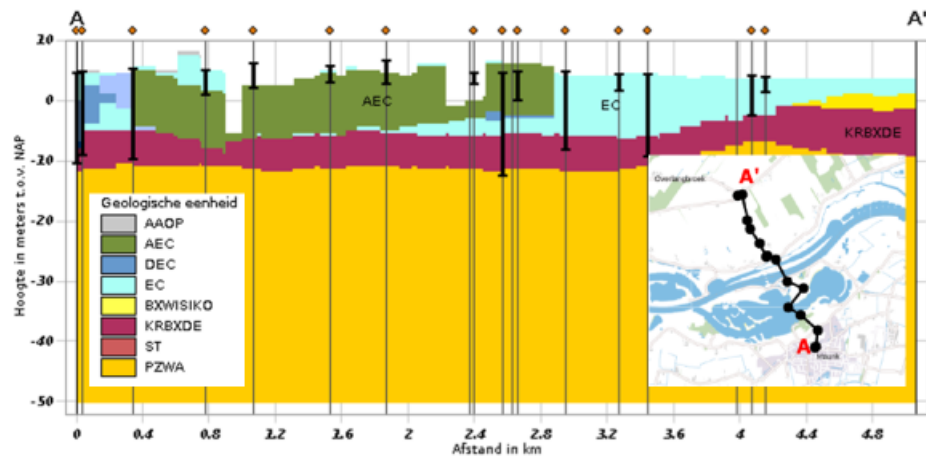
Raai 4 (Geologische eenheid)



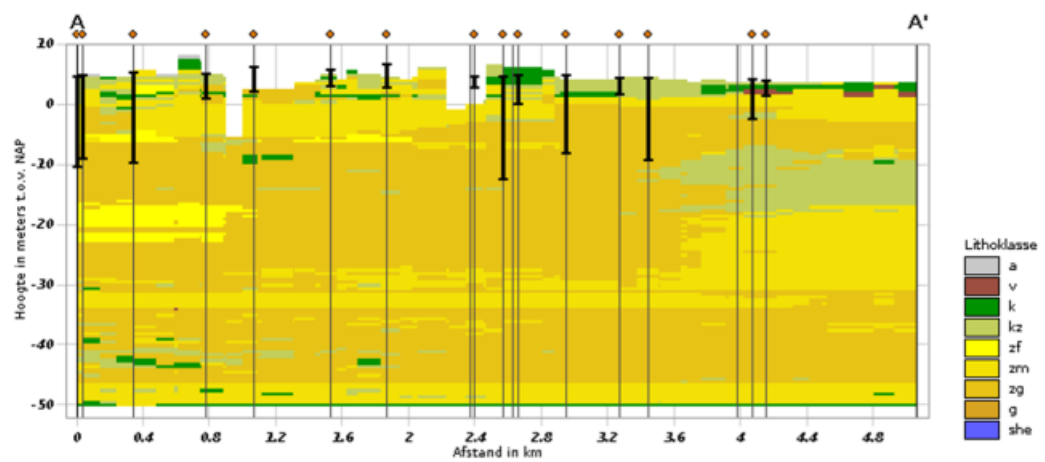
Raai 4 (Lithoklasse)



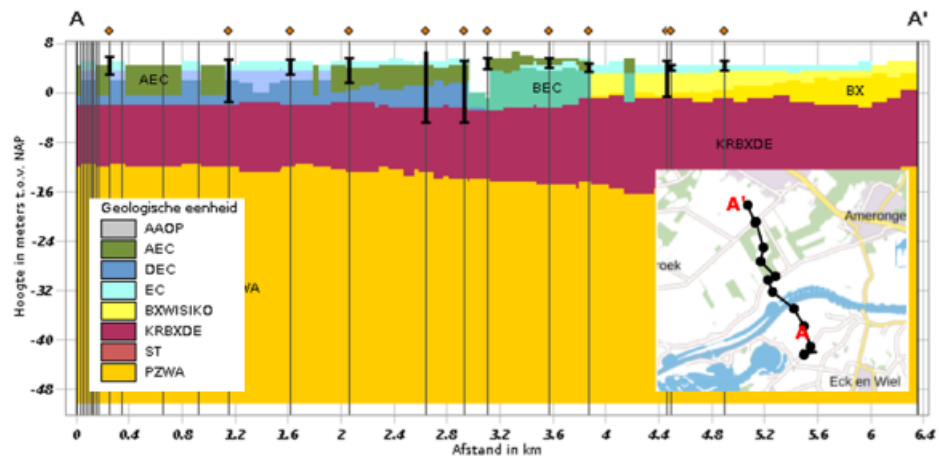
Raai 5 (Geologische eenheid)



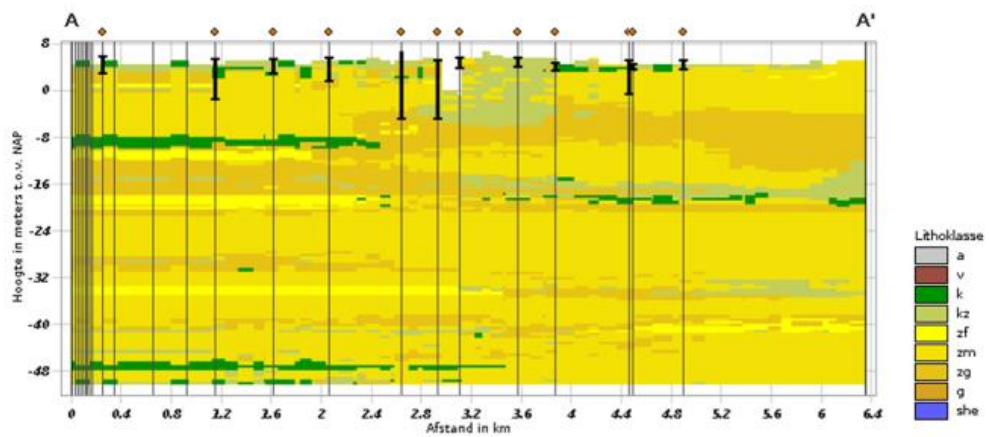
Raai 5 (Lithoklasse)



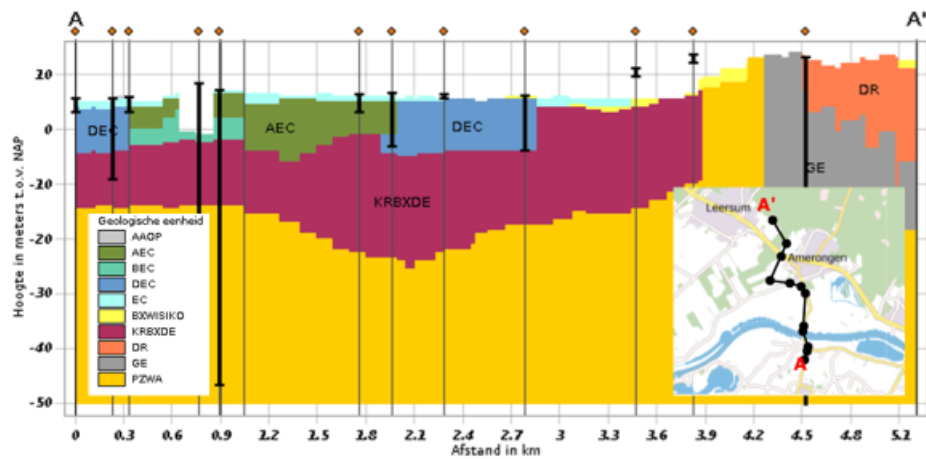
Raai 6 (Geologische eenheid)



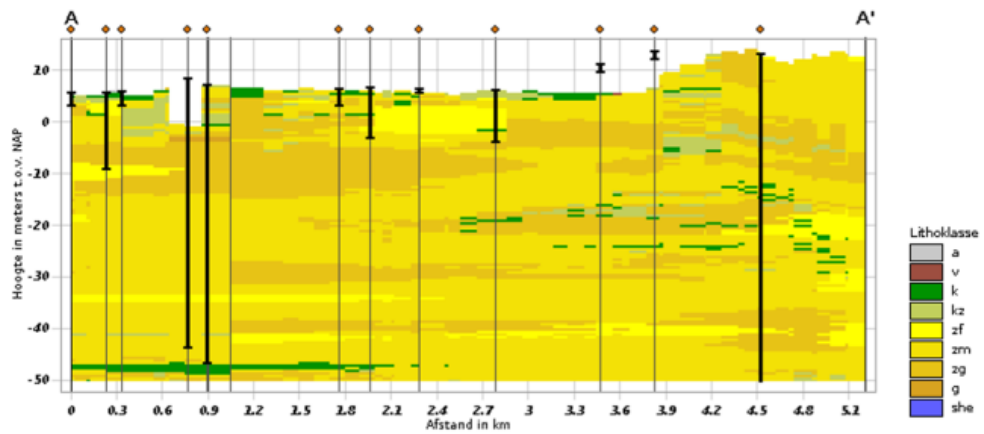
Raai 6 (Lithoklasse)



Raai 7 (Geologische eenheid)



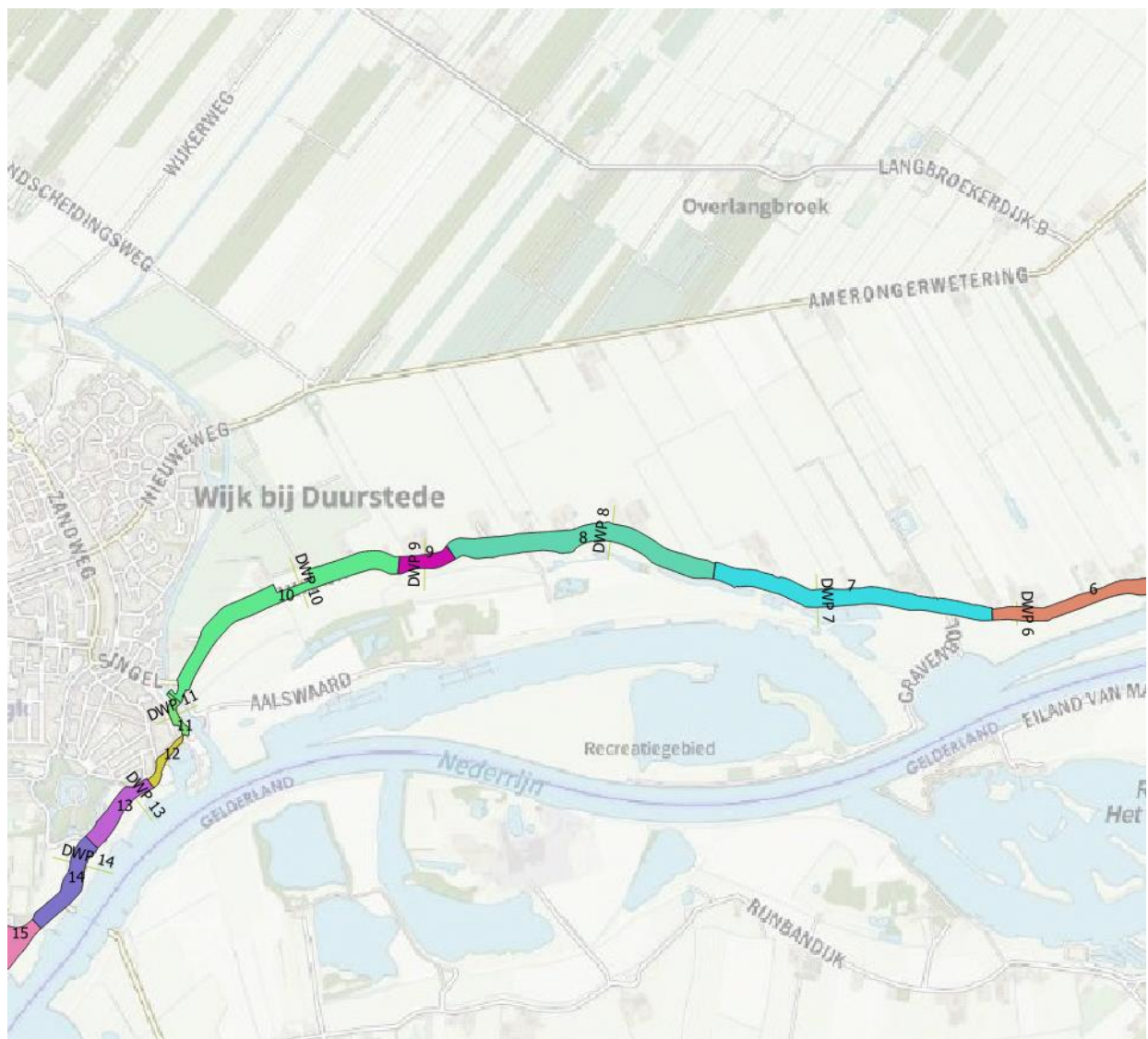
Raai 7 (Lithoklasse)



Bijlage 2 Locatie dwarsprofiel 3



Locatie van dwarsprofiel 3



Figuur 24: locatie dijktraject DWP8.

Bijlage 3 Profiel dijk

Dwarsprofiel DP-08
t.o.v. as ALM - VIII
bij metrerig 6498.374
Schaal 1:200
0.000m t.o.v. NAP

[illegible]

Bijlage 4 Dwarsdoorsnede referentiemodel

