Signed By: Martijn van Dijk <martijn.van.dijk@witteveenbos.com>
14/07/2022 12:24:27 CEST
ID: 3db630c6-a995-4383-a858-02cdf191baa0
Auth: Scribble

KRACHTIGE IJSSELDIJKEN KRIMPENERWAARD

KIJK

‘Samen sterker’

Titel : Geohydrologische modellering

Project : KIJK
Projectnummer : 2019.02564

Documentnummer : KIJK-208895

Revisie :

Revisiedatum	:	23-6-2022
Status	:	Definitief

Werkpakket	:	WP-00014 - 2.7. Vooropnames en monitoringsplannen grondwater uit stelpost

Revisie	Omschrijving belangrijkste wijzigingen	Datum
0.1	Damwand tot NAP -4 en -2 meter	26-04-2022
0.2	Damwand tot NAP -8 toegevoegd	24-05-2022
1.0	Interne beoordeling verwerkt	24-06-2022

Ondertekenaar 1	Ondertekenaar 2	Ondertekenaar 3
Martijn van Dijk	Marinus Aalberts	Cor van Vliet
	Signed By: Aalberts, Marinus 14/07/2022 12:26:10 CEST ID: 3db630c6-a995-4383-a858-02cdf191baa0 Auth: Scribble 	Signed By: Vliet, Cor van <cvanvliet@vhbinfra.nl> 14/07/2022 17:55:45 CEST ID: 3db630c6-a995-4383-a858-02cdf191baa0 Auth: Scribble

Handtekening wordt digitaal gezet in SharePoint. Dit veld niet aanpassen!

Inhoudsopgave

1. Inleiding 6
1.1. Aanleiding 6
1.2. Doel 6
1.3. Systeemeisen 6
1.4. Leeswijzer 7
2. Geohydrologische uitgangspunten 8
2.1. Projectgebied 8
2.2. Maaiveld 8
2.3. Oppervlaktewater 9
Binnendijks 9
Buitendijks 10
Drainage 10
2.4. Bodemopbouw 12
Regionale modellen 12
Lokaal onderzoek 12
2.5. Grondwaterstand en stijghoogte 12
Freatische grondwaterstanden 13
Stijghoogte 18
Grondwateraanvulling 21
3. Werkzaamheden met mogelijk effect op grondwater 22
4. Modellering 23
4.1. Clusters waterkering 23
4.2. Modeldoorsnedes 25
4.3. Model opbouw 27
Schematisatie 27
Profielen per snede 28
Vaste parameters 31
Onzekere parameters 31
Aanwezigheid drainage 32
Autonome ontwikkeling 32
4.4. Kalibratie en validatiemethode 33
Data 33
Acceptatie model 34
4.5. Validatie doorsnedes 34
Validatie doorsnede E 34
Validatie doorsnede F 36
Validatie doorsnede I1 37
Validatie doorsnede M2 39
Validatie doorsnede O2 40
Validatie doorsnede U1 42
Conclusie 43
5. Effectberekeningen 45
5.1. Berekende scenario’s 45

5.2. Samenvatting berekende effecten Type I 45
5.3. Stijghoogte en Type II 47
Stijghoogte 47
Type II 47
5.4. Doorsnede E 47
Natte periode 47
Droge periode 48
5.5. Doorsnede F 49
Natte periode 49
Droge periode 50
5.6. Doorsnede I1 51
Natte periode 51
Droge periode 52
5.7. Doorsnede M2 54
Natte periode 54
Droge periode 55
5.8. Doorsnede O2 56
Natte periode 56
Droge periode 57
5.9. Doorsnede U1 58
Natte periode 58
Droge periode 59
6. Model naar werkelijkheid 61
7. Conclusies 61
8. Referenties 64
Bijlage I: Overzicht sonderingen 65
Bijlage II: modellering effecten huidige situatie 68
Damwand tot NAP -8 meter 68
Doorsnede E 68
Doorsnede F 69
Doorsnede I1 71
Doorsnede M2 73
Doorsnede O2 75
Doorsnede U1 77
Damwand tot NAP -4 meter 79
Doorsnede E 79
Doorsnede F 81
Doorsnede I1 83
Doorsnede M2 85
Doorsnede O2 87
Doorsnede U1 89
Damwand tot NAP -2 meter 91
Doorsnede E 91
Doorsnede F 93
Doorsnede I1 95

Doorsnede M2 97
Doorsnede O2 99
Doorsnede U1 101
Bijlage III: modellering effecten toekomstige situatie 104
Damwand tot NAP -4 meter 104
Doorsnede E 104
Doorsnede F 105
Doorsnede I1 107
Doorsnede M2 109
Doorsnede O2 111
Doorsnede U1 113
Damwand tot NAP -2 meter 115
Doorsnede E 115
Doorsnede F 117
Doorsnede I1 119
Doorsnede M2 121
Doorsnede O2 123
Doorsnede U1 125

1. Inleiding

1.1. Aanleiding

Voor dijkversterking KIJK worden werkzaamheden uitgevoerd op en rondom de dijk langs de Hollandse IJssel tussen Krimpen aan den IJssel en Gouderak. Om de geohydrologische effecten van de dijkversterking KIJK in te schatten is een modelstudie gedaan. Hierbij wordt gekeken wat de verwachte geohydrologische effecten van de dijkversterking zijn op het achterland.

1.2. Doel

Het doel van deze studie is het bepalen van het effect van de dijkversterking op freatische grondwaterstanden, stijghoogtes en waterspanningen in de dijk en in het achterland onder normale omstandigheden. Daarbij zijn met name effecten in droge perioden belangrijk. Die bepalen namelijk of er risico's zijn voor zettingen voor bebouwing in het achterland.

1.3. Systeemeisen

Bij deze geohydrologische modelstudie is rekening gehouden met de systeemeisen. In Tabel 1-1zijn deze systeemeisen weergegeven.

Tabel 1-1 Systeemeisen

Eis-ID	*Nummer*	*Titel*	*Eistekst*
SYS-00072	*KE-0182*	*Geen schade door veranderde grondwaterstanden*	*Infrastructuur of bebouwing dient geen schade op te lopen door veranderingen in grondwaterstanden welke een gevolg zijn van de uitvoering.*
SYS-00096	*PE-0139*	*Uitgangspunt HHSK ten aanzien van drooglegging*	*in veengebieden moet worden uitgegaan van een maximale gemiddelde drooglegging van 0,60 meter per peilvak.*
SYS-00275	*KLE-00189*	*Effecten grondwaterstand*	*Bij de toepassing van Stabiliteitsconstructie type 1 en type 2 dienen de effecten van de veranderingen op de grondwaterstanden op de omgeving in kaart gebracht te zijn*
SYS-00289	*KLE-00167*	*Effect freatische lijn*	*Schade aan panden of extra zettingen als gevolg van een veranderende freatische lijn door de aanwezigheid van de Stabiliteitsconstructie type 1 constructie dient voorkomen te zijn*
SYS-00366	*Ontwerp*	*Ontwerpuitgangspunten dijk*	*De dijk dient te zijn ontworpen conform de [NOKU (Notitie ontwerpeisen, kaders en uitgangspunten VKV)] met*

			oplegnotitie [Memo DO-2 uitgangspunten]

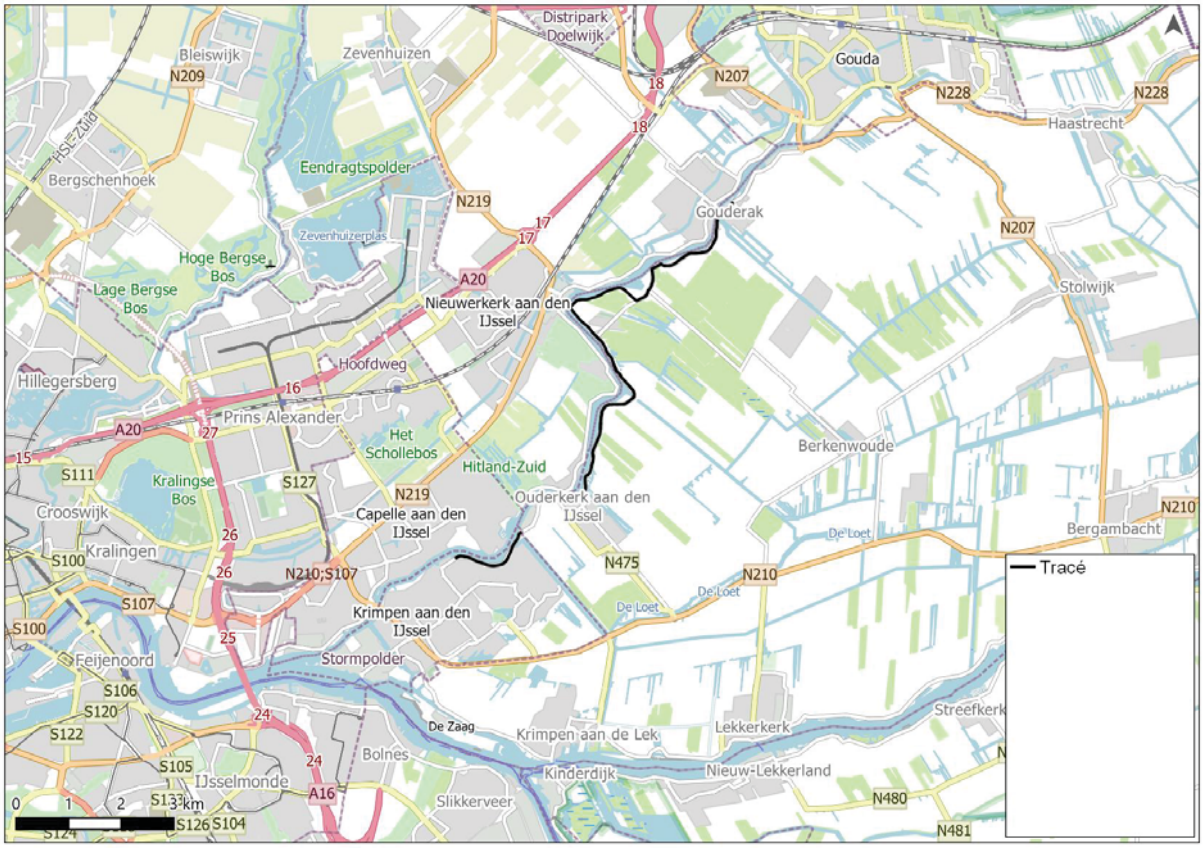
1.4. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt het projectgebied beschreven. Hierna worden in hoofdstuk 3 de geplande werkzaamheden toegelicht. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 de modellering besproken, waarvan in hoofdstuk 5 de resultaten worden gegeven. In hoofdstuk 6 wordt vervolgens de modeleffecten geprojecteerd op de werkelijkheid, waarna in hoofdstuk 7 de conclusies volgen.

2. Geohydrologische uitgangspunten

2.1. Projectgebied

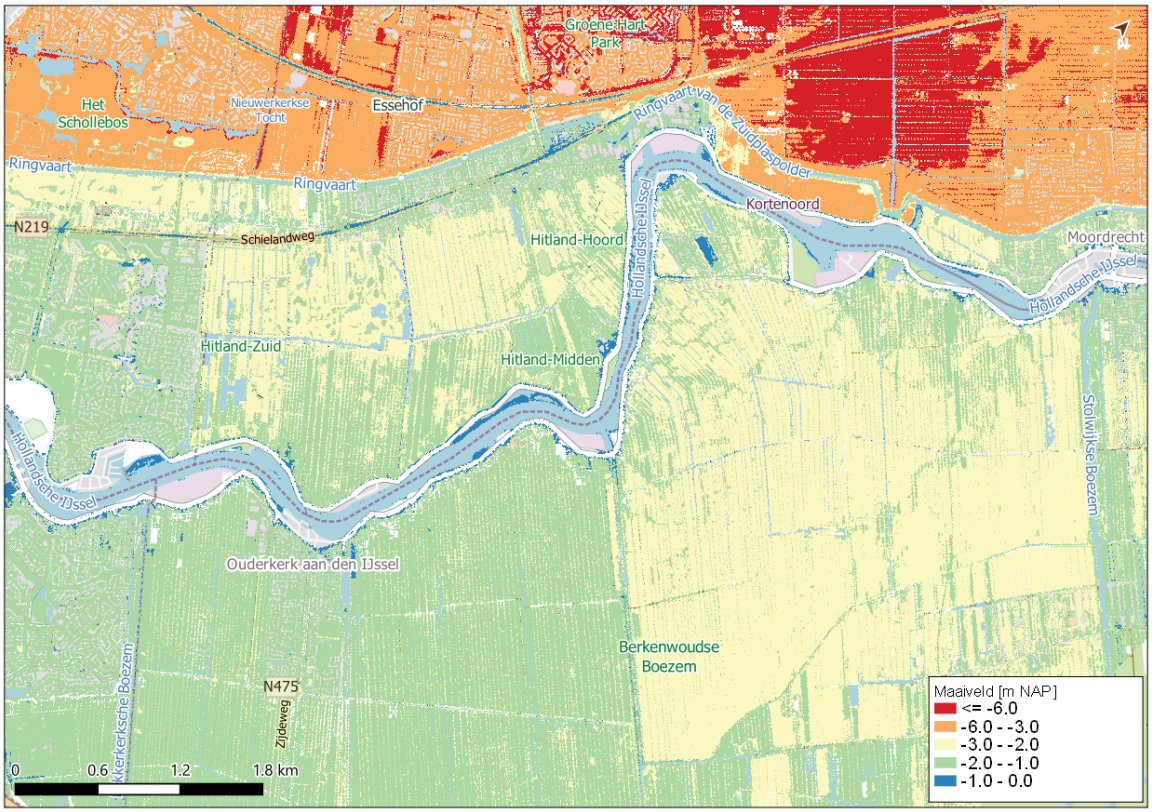
Het projectgebied loopt van Krimpen aan den IJssel in het zuidwesten tot aan Gouderak in het noordoosten en is weergegeven in Figuur 2-1. De dijk is gelegen in de Krimpenerwaard en ligt bij de Hollandse IJssel.



Figuur 2-1 Projectgebied inclusief tracé

2.2. Maaiveld

Over het algemeen ligt het maaiveld in het achterland tussen NAP -1,0 en NAP -2,0 meter. Nabij Gouderak ligt een groter gebied waarin het maaiveld lager ligt, tussen NAP –2,0 en NAP -3,0 meter. Een overzicht van het maaiveldniveau is weergegeven in Figuur 2-1.



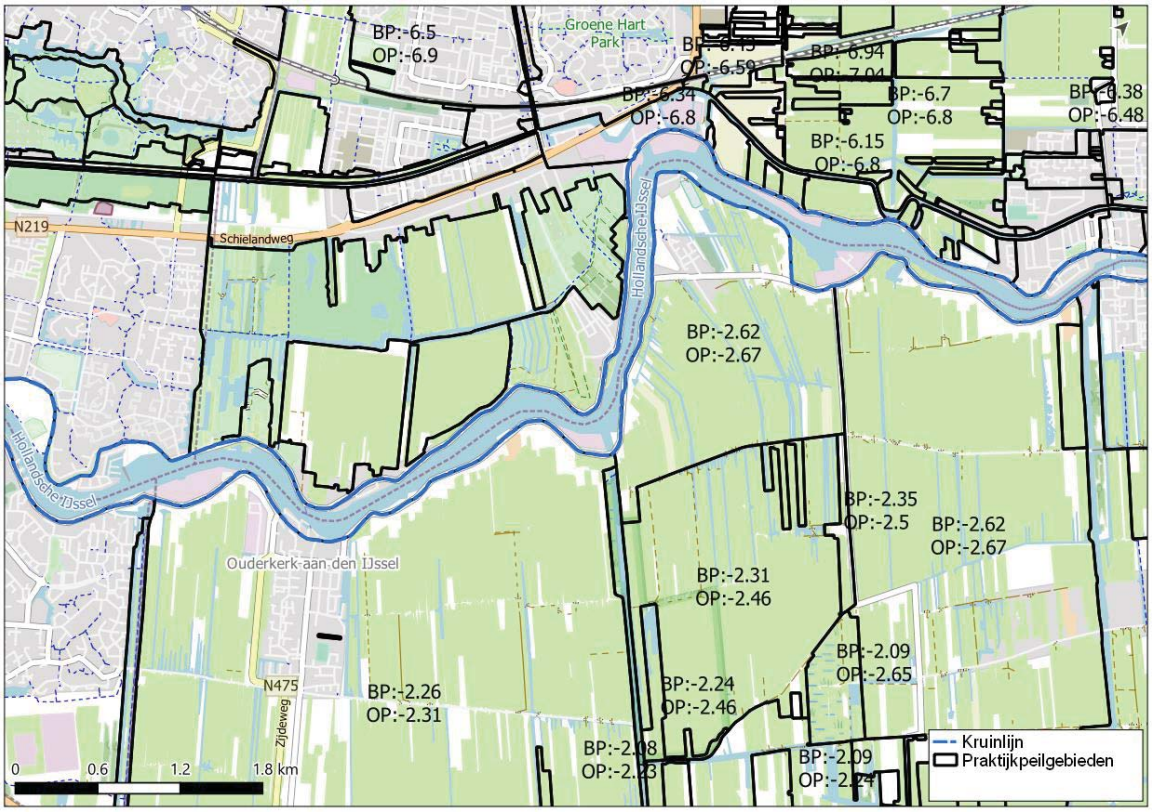
Figuur 2-2 Maaiveld volgens AHN3

2.3. Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater heeft invloed op het grondwatersysteem. Hier speelt zowel binnendijks als buitendijks oppervlaktewater een rol. In het gebied bevindt zich ook buisdrainage om de ontwateringsdiepte te reguleren.

Binnendijks

Het binnendijkse watersysteem bestaat uit watergangen en perceelsloten. De onderlinge afstand tussen de kopsloten ligt rond de 30 meter. De Krimpenerwaard is opgedeeld in peilgestuurde gebieden. Deze gebieden zijn weergegeven in Figuur 2-2. Het peil is het hoogst bij Krimpen aan den IJssel en neemt af richting Gouderak.



Figuur 2-3 Peilgebieden met bovenpeil (BP) en onderpeil (OP)

Buitendijks

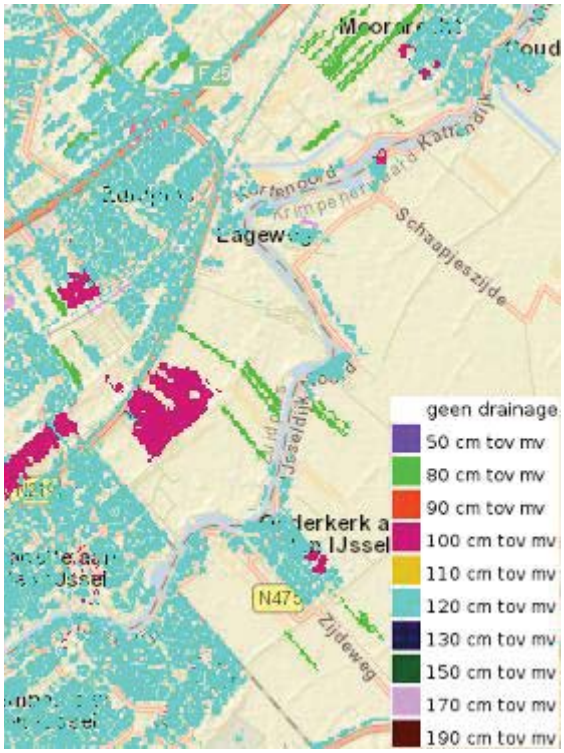
Het waterpeil van de Hollandsche IJssel wordt gemeten bij Gouda en bij Krimpen aan den IJssel. In deze notitie wordt uitgegaan van metingen bij Krimpen aan den IJssel. Uit WABES [ref. 13] volgt een gemiddelde dagelijkse waterstand van NAP+0,26 meter. Dit peilvarieert continu door getijdewerking.

Drainage

Aangezien de Krimpenerwaard een poldergebied is, kan buisdrainage voorkomen. Hiervoor is gekeken naar zowel het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium [ref. 8] als naar een systeemanalyse van de Krimpenerwaard [ref. 7].

Uit het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium volgt dat er voornamelijk buisdrainage aanwezig is in de bebouwde gebieden en in de meeste gevallen op 120 centimeter onder maaiveld. Dit is weergegeven in Figuur 2-4.

Uit de systeemanalyse van de Krimpenerwaard [ref. 7] blijkt dat er maar zeer beperkt buisdrainage aanwezig is in de Krimpenerwaard.



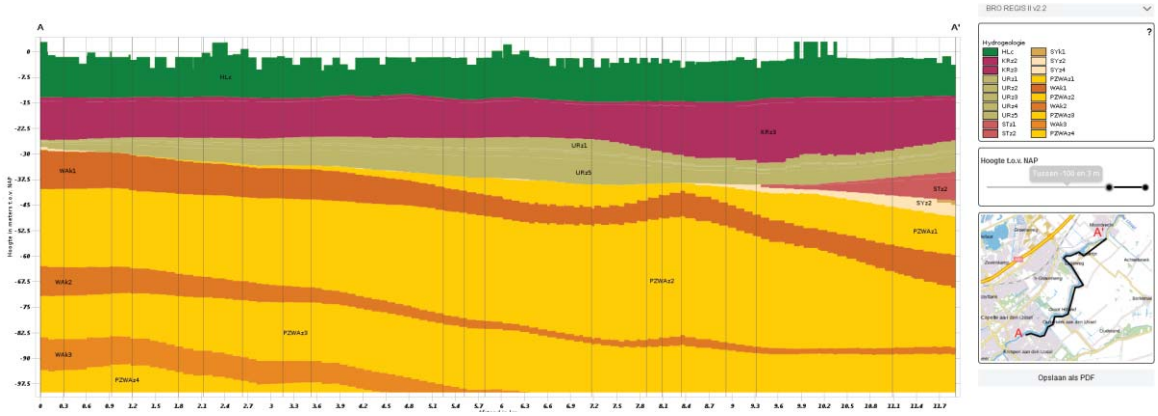
Figuur 2-4 Buisdrainage in het NHI

2.4. Bodemopbouw

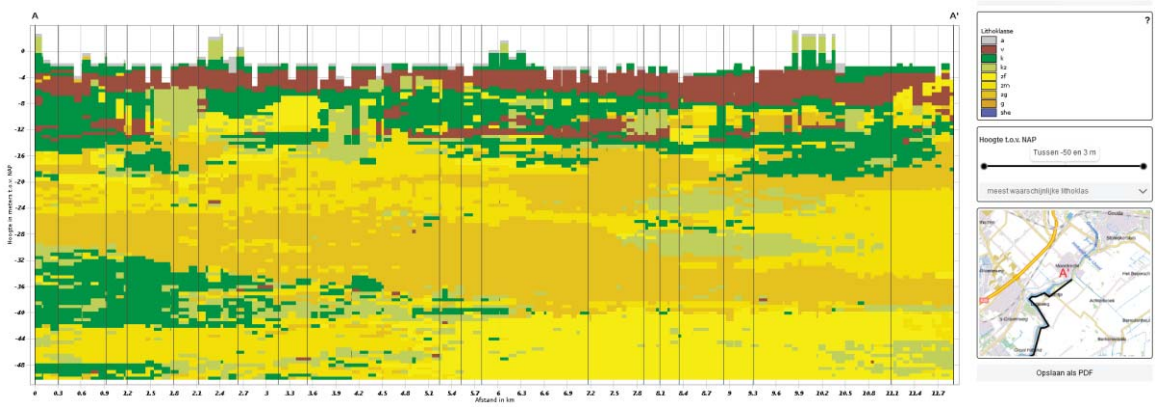
In deze paragraaf wordt de bodemopbouw besproken aan de hand van regionale modellen en lokale metingen.

Regionale modellen

In Figuur 2-1 en Figuur 2-2 zijn doorsnedes uit regionale ondergrondmodellen opgenomen voor het projectgebied. Hieruit lijkt de holocene deklaag in het grootste deel tot maximaal NAP-15 meter te lopen. Op sommige plekken is de deklaag dunner en loopt deze tot NAP-8 meter. Hieronder bevindt zich een zandlaag. Deze zandlaag loopt tenminste tot NAP-25 meter. Verder van Krimpen af ligt de scheidende kleilaag dieper.



Figuur 2-5 REGIS doorsnede bij het projectgebied [ref. 11]



Figuur 2-6 GeoTOP doorsnede met meest waarschijnlijke lithoklasse bij het projectgebied [ref. 10]

Lokaal onderzoek

Lokaal onderzoek bestaat uit sonderingen en boringen. Een langsdoorsnede aan de hand van de sonderingen is weergegeven in Bijlage 9 [ref. 3]. Deze lokale metingen laten een lokale variatie zien aan de dikte van de deklaag.

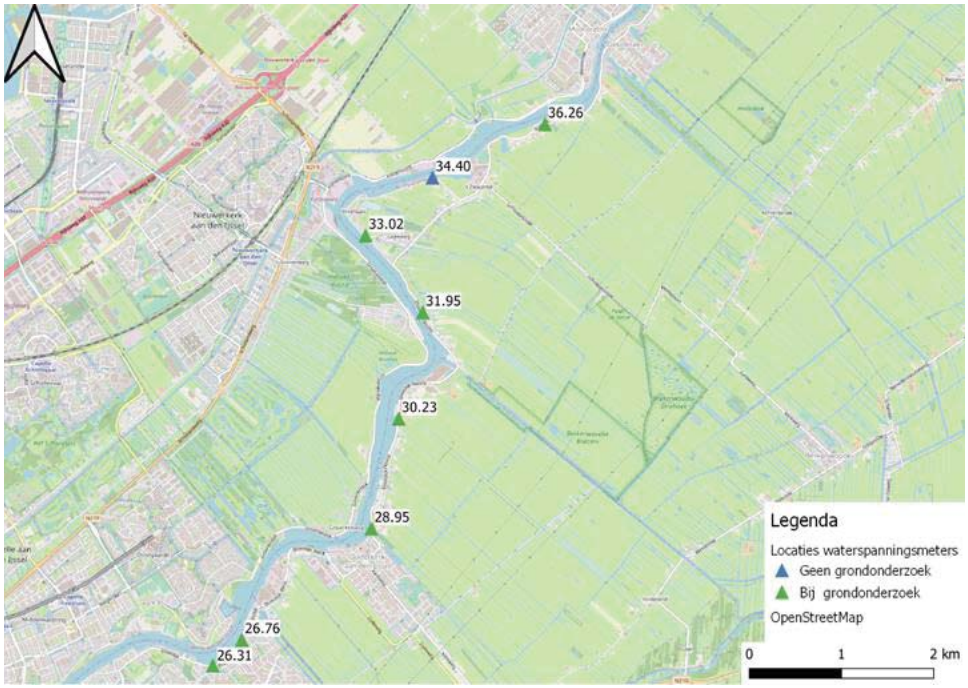
2.5. Grondwaterstand en stijghoogte

Voor grondwater wordt gekeken naar zowel de freatische grondwaterstanden als de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket.

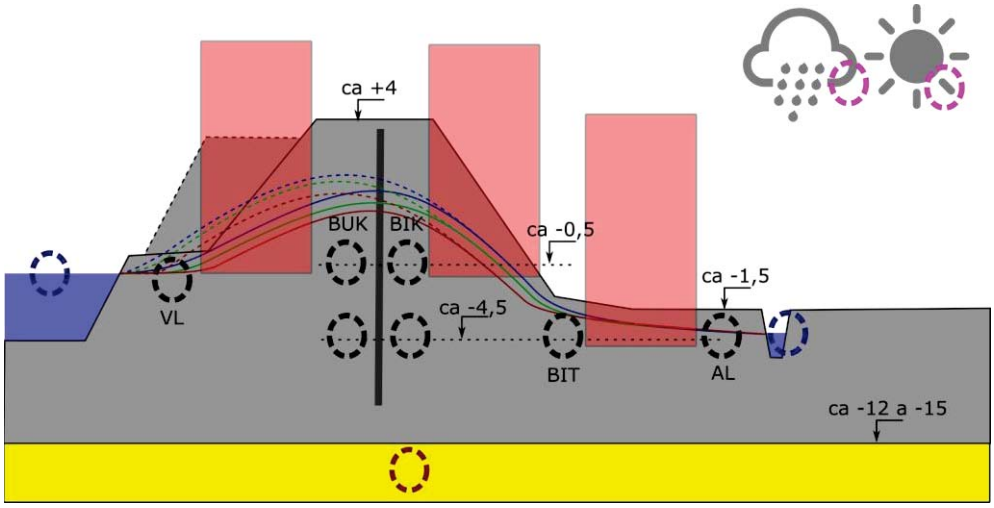
Freatische grondwaterstanden

Om de grondwaterstanden in de dijk te observeren zijn er verschillende raaien geplaatst op het dijktraject. Figuur 2-1 geeft een overzicht van de verschillende raaien. Binnen een raai zijn er waterspanningsmeters (WSM) geplaatst ter hoogte van in ieder geval de binnenkruin (BIK, diep en ondiep), de binnenteen (BIT) en het achterland (AL). In sommige raaien staat er ook waterspanningsmeters op het voorland (VL) en in de buitenkruin (BUK, diep en ondiep). Zoals kan worden opgemerkt zijn er in de kruin altijd twee metingen beschikbaar: ondiep (circa NAP -0.5 meter) en diep (circa NAP -4.5 meter). Een schematische weergave van deze opstelling is weergegeven in Figuur 2-1.

Enkele waterspanningsmeters zijn door gasvorming in de veenpakketten onbetrouwbaar geworden. Deze worden daarom niet gepresenteerd.

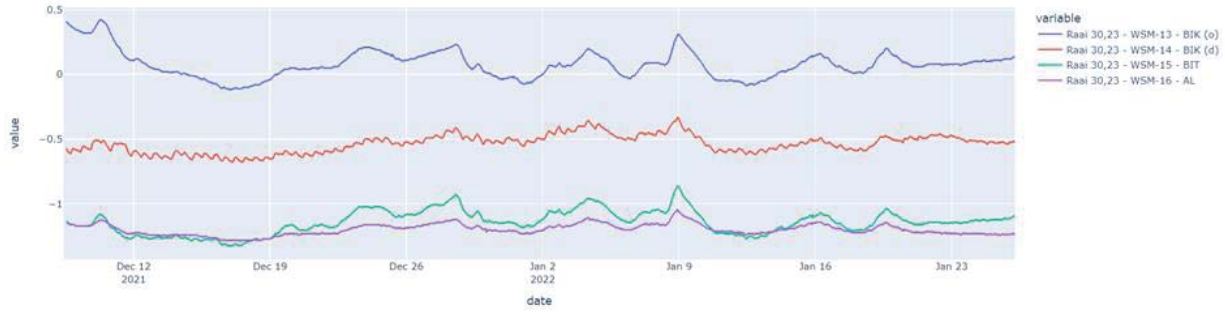


Figuur 2-7 Locaties (dijkpaalnummers) van raaien met grondwaterstandsmetingen



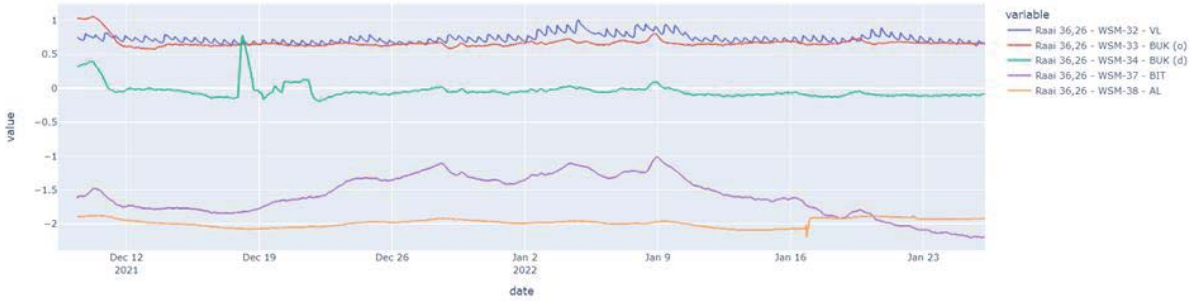
Figuur 2-8 Schematische weergave van monitoringslocatie als doorsnede langs de dijk

Figuur 2-9, Figuur 2-10 en Figuur 2-11 laten de grondwaterstanden zien ter hoogte van raai 30.23, raai 33.02 en raai 36.26. De meetreeks is kort (december 2021 tot en met januari 2022) waardoor er alleen van globale patronen gesproken kan worden in deze periode, wat betekent dat het in de zomer anders kan zijn. Over het algemeen is de ondiepe grondwaterstand in de BIK of BUK (raai 33.02) groter dan de diepe grondwaterstand. Dit geeft het verwachte patroon van infiltratie weer in de kruin. Daarnaast zijn de grondwaterstand in de binnenteen en het achterland duidelijk lager dan in de kruin. In het voorland is het getijde effect nog duidelijk zichtbaar.



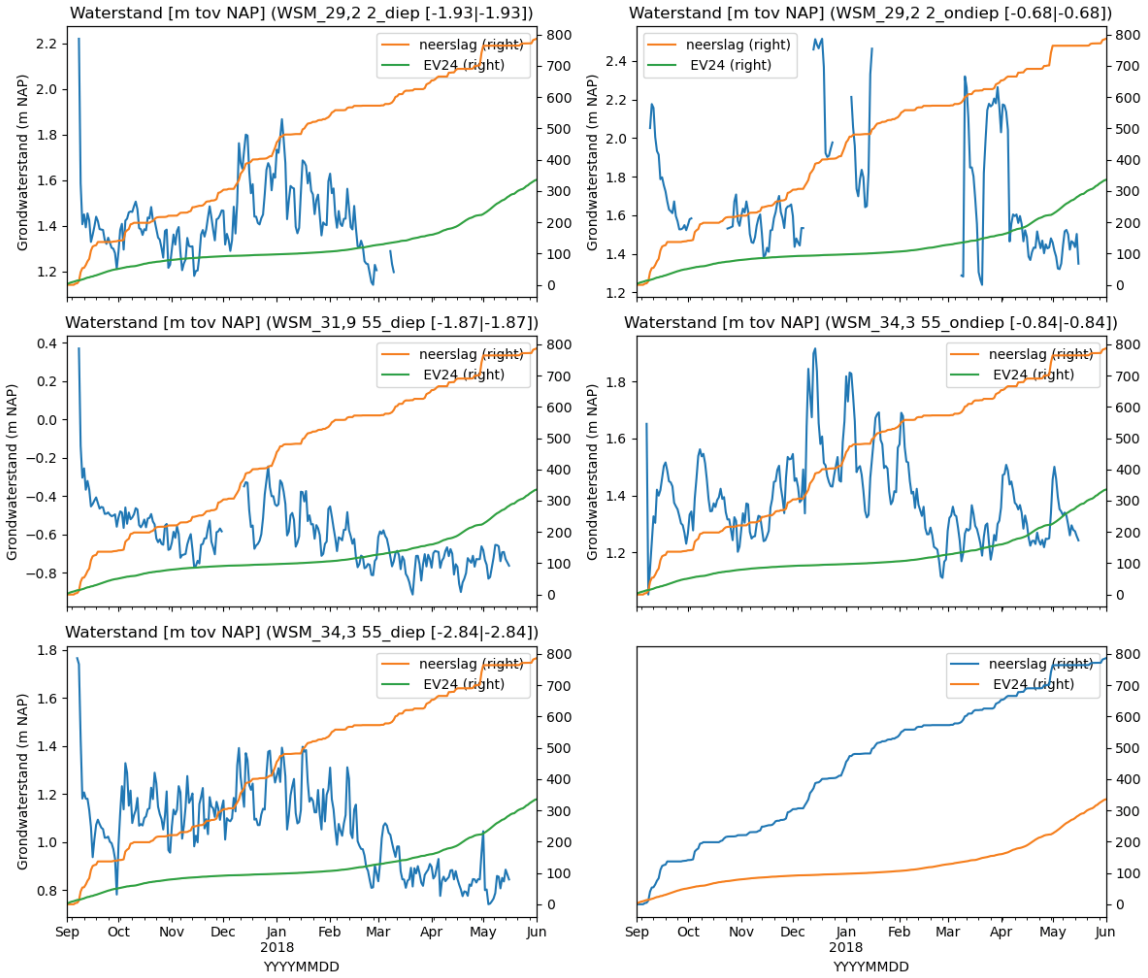
Figuur 2-9 Freatische grondwaterstanden [NAP m] in raai 30.23

Figuur 2-10 Freatische grondwaterstanden in meter NAP in raai 33.02



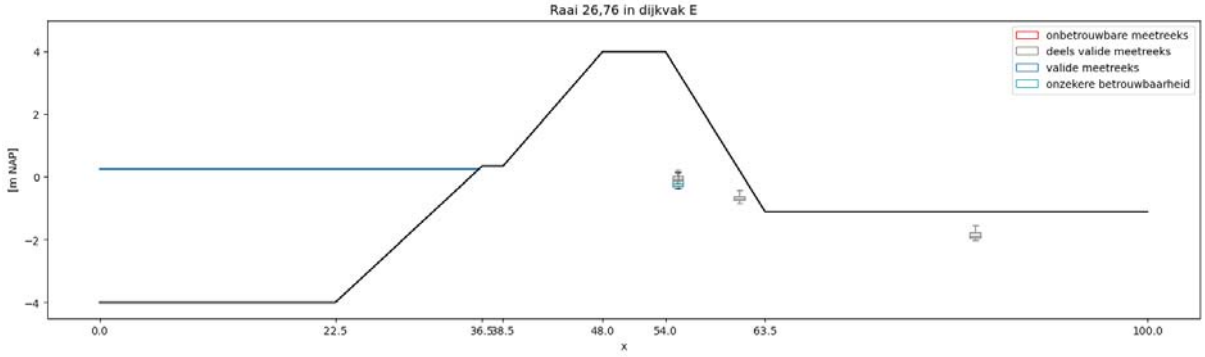
Figuur 2-11 Freatische grondwaterstanden in meter NAP in raai 36.26

In 2017 en 2018 zijn op drie locaties aanvullende freatische grondwaterstand metingen uitgevoerd Tussen de locaties is er veel verschil in freatische grondwaterstand. De laagste grondwaterstanden zijn gemeten bij DP31,9. De maximale grondwaterstand is hier lager dan NAP-0,8 meter. Bij de andere locaties worden grondwaterstanden gemeten tot ongeveer NAP+0,8 meter.



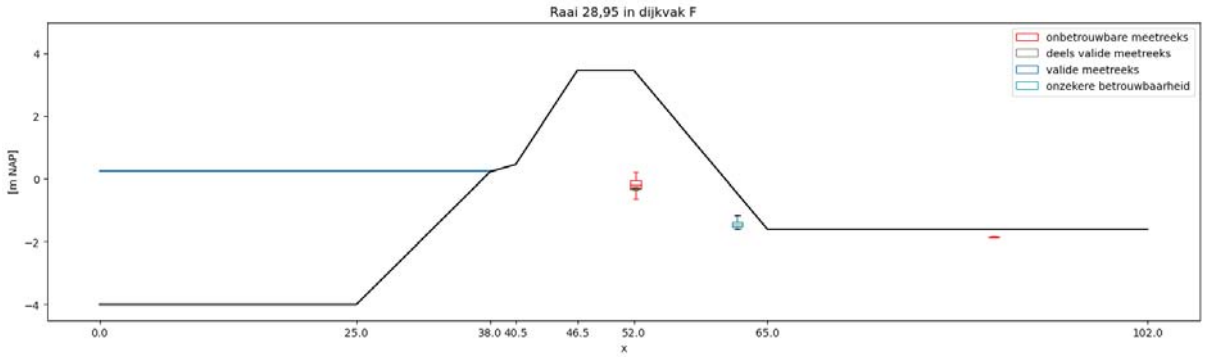
Figuur 2-12 Gemeten freatische grondwaterstanden

Om een inschatting te maken wat de relatie van de grondwaterstand is met het waterpeil in de Hollandsche IJssel is er voor 6 raaien een dwarsdoorsnede gemaakt met daarin de meetreeksen gerepresenteerd als boxplots op de locatie van het meetpunt. Hierbij moet worden opgemerkt dat de diepte van de metingen verschilt, zoals weergegeven in Figuur 2-8. Hierdoor geven de onderstaande figuur een inschatting van het verhang tussen de metingen, maar representeren deze niet de freatische lijn. Daarnaast is er in de figuren de betrouwbaarheid van de metingen weergegeven. Het bespreken van de betrouwbaarheid en hoe deze is bepaald valt buiten de scope van dit rapport en wordt besproken in de grondwatermonitoringsrapportage (KIJK-208929).



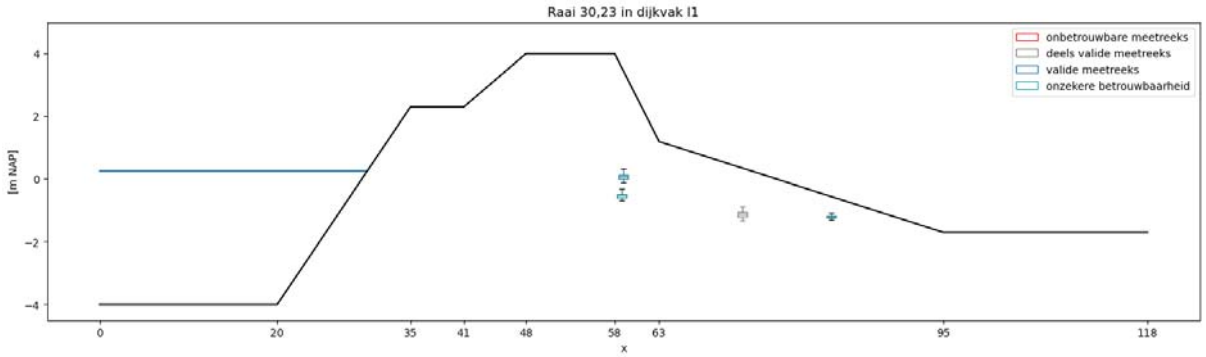
Figuur 2-13 Grondwatermonitoring tot eind januari 2022 gepresenteerd als boxplots in dwarsdoorsnede dijklichaam ter hoogte van dijkvak E

Binnen raai 26,76 zijn de metingen onderliggend aan de grijze boxplots op dezelfde diepte gemeten. Er is een duidelijk verhang te zien van de binnekruin, naar de binnenteen en weer verder naar het achterland. Hierdoor is een stroming vanuit het dijklichaam richting het achterland te verwachten. Verder is er zeer minimale opbolling zichtbaar in de binnenkruin.



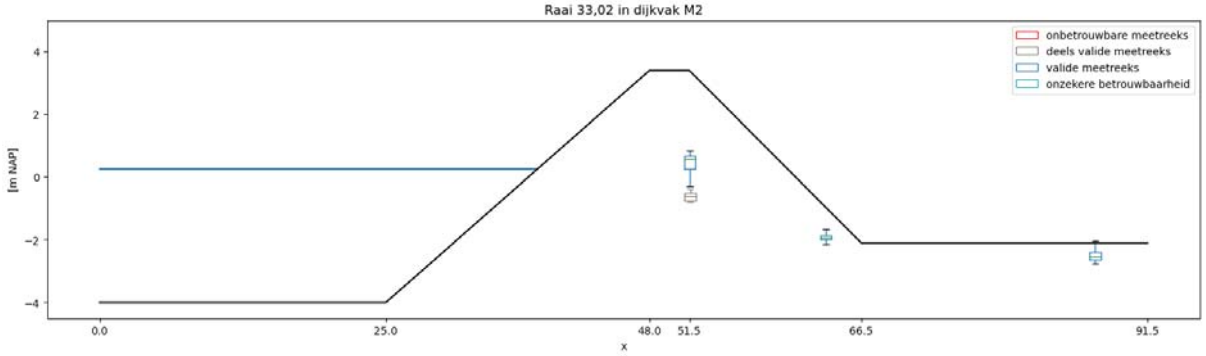
Figuur 2-14 Grondwatermonitoring tot eind januari 2022 gepresenteerd als boxplots in dwarsdoorsnede dijklichaam ter hoogte van dijkvak F

In dijkvak F zijn alleen de diepe metingen in de binnenkruin en de meting in de binnenteen valide. Het valt op dat ook hier er een duidelijk sterk verhang zit tussen de binnenkruin en de binnenteen. Dit verhang is groter dan in raai 26,76.



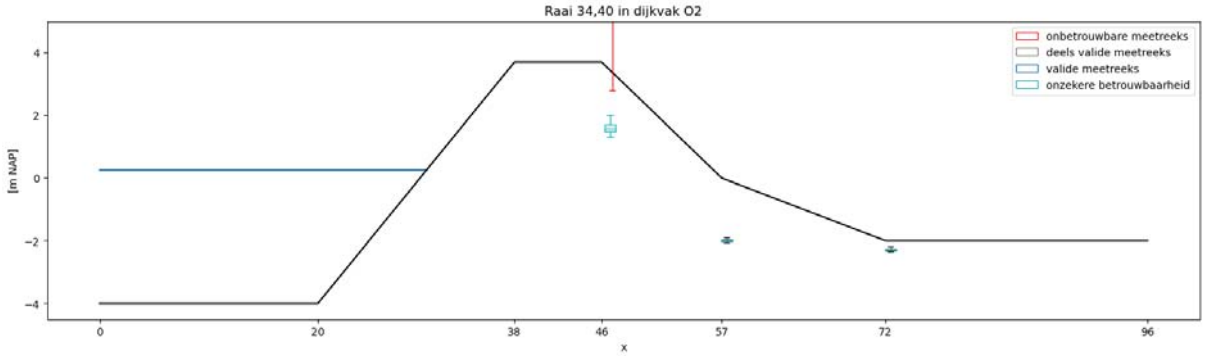
Figuur 2-15 Grondwatermonitoring tot eind januari 2022 gepresenteerd als boxplots in dwarsdoorsnede dijklichaam ter hoogte van dijkvak I1

Het verhang tussen de binnenteen en achterland is kleiner dan het verhang tussen de diepe meting in de binnenkruin en de binnenteen in raai 30,23. Verder valt op dat diepe meting gekenmerkt wordt door een lagere grondwaterstand dan de ondiepe meting. Dit valt binnen de verwachting gezien de weerstand binnen het dijklichaam als gevolg van de kleiige ondergrond.



Figuur 2-16 Grondwatermonitoring tot eind januari 2022 gepresenteerd als boxplots in dwarsdoorsnede dijklichaam ter hoogte van dijkvak M2

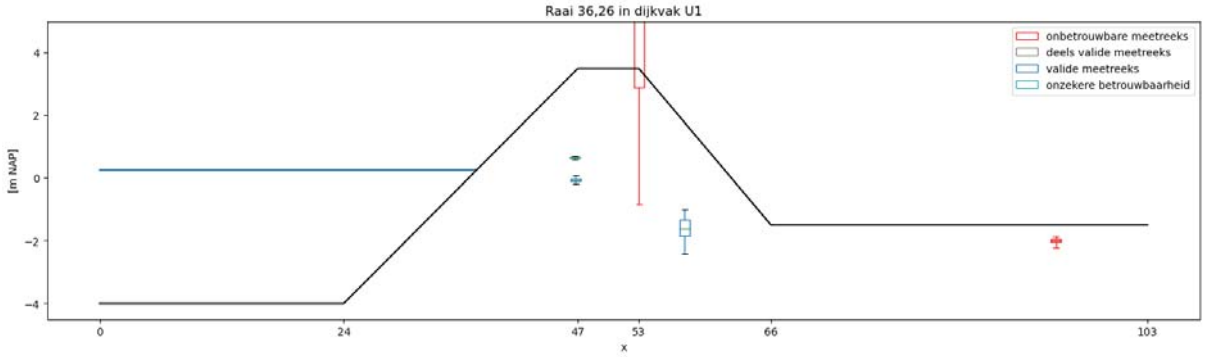
Het verhang binnen het dijklichaam is ook in raai 33,02 aanzienlijk op een diepte van NAP -4,5 m. Ook op basis van deze raai is er een grondwaterstroming richting het achterland te verwachten. Verder is er een opbolling binnen het dijklichaam zichtbaar wanneer de ondiepe metingen vergeleken wordt met het waterpeil in de Hollandsche IJssel (links op de figuur weergegeven).



Figuur 2-17 Grondwatermonitoring tot eind januari 2022 gepresenteerd als boxplots in dwarsdoorsnede dijklichaam ter hoogte van dijkvak O2

In Raai 34,40 is er een licht verhang zichtbaar tussen de binnenteen en het achterland. Het is niet mogelijk om te bepalen wat het verhang is tussen de binnenteen en de binnenkruin, doordat de diepe meting in de binnenkruin onbetrouwbaar is. Verder valt op dat de ondiepe meting in de binnenkruin

een zeer hoge grondwaterstand toont. Het is twijfelachtig of een dermate grote opbolling in de binnenkruin realistisch is, met name wanneer deze opbolling wordt vergeleken met de waargenomen opbolling in de andere raaien.

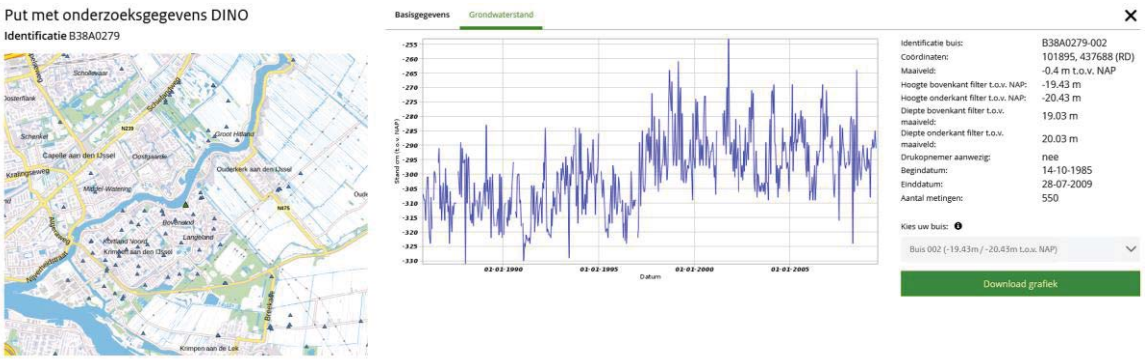


Figuur 2-18 Grondwatermonitoring tot eind januari 2022 gepresenteerd als boxplots in dwarsdoorsnede dijklichaam ter hoogte van dijkvak U1

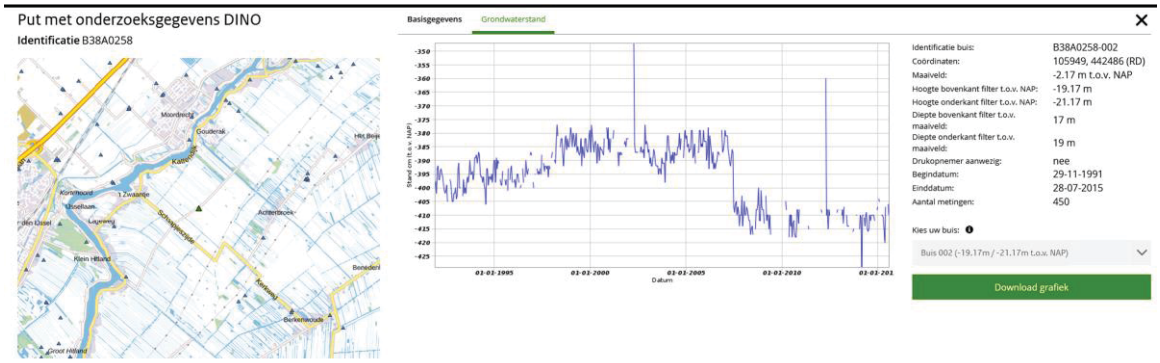
Raai 36,26 is een van de twee raaien waarin ook in de buitenkruin waterspanningsmeters zijn geplaatst. De metingen in de binnenkruin zijn echter onbetrouwbaar, waardoor het niet mogelijk is om het verhang tussen buiten- en binnenkruin te bepalen. Tussen buitenkruin en binnenteen zit een zeer groot verhang. En ook tussen de diepe en ondiepe meting in de buitenkruin is verhang zichtbaar. Dit betekent dat zowel een horizontale als verticale stroming te verwachten is. De hogere ondiepe grondwaterstand in de buitenkruin visualiseert ook een opbolling ten opzichte van het waterpeil in de Hollandsche IJssel.

Stijghoogte

Stijghoogtes in het gebied komen van Dinoloket. De hoogst gemeten stijghoogte is NAP -2,55 meter. De meting hiervan is weergegeven in Figuur 2-19. Dit is nabij Krimpen aan den IJssel, waar het polderpeil hoger is dan in noordoostelijke gebieden. Ten zuiden van Gouderak worden stijghoogtes gemeten tot maximaal NAP -3,75 meter (met uitzondering van 2 uitschieters), zoals weergegeven in Figuur 2-20.

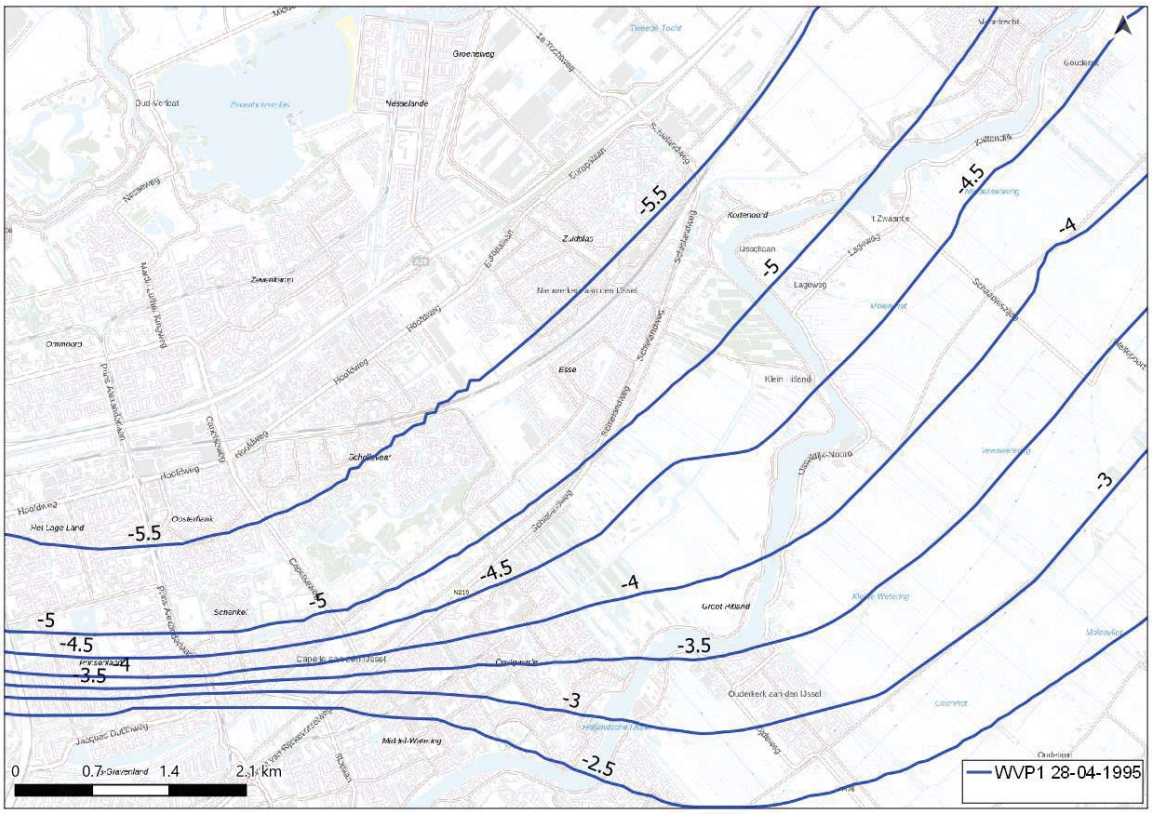


Figuur 2-19 Metingen van de stijghoogte bij Krimpen aan den IJssel



Figuur 2-20 Metingen van de stijghoogte ten zuiden van Gouderak

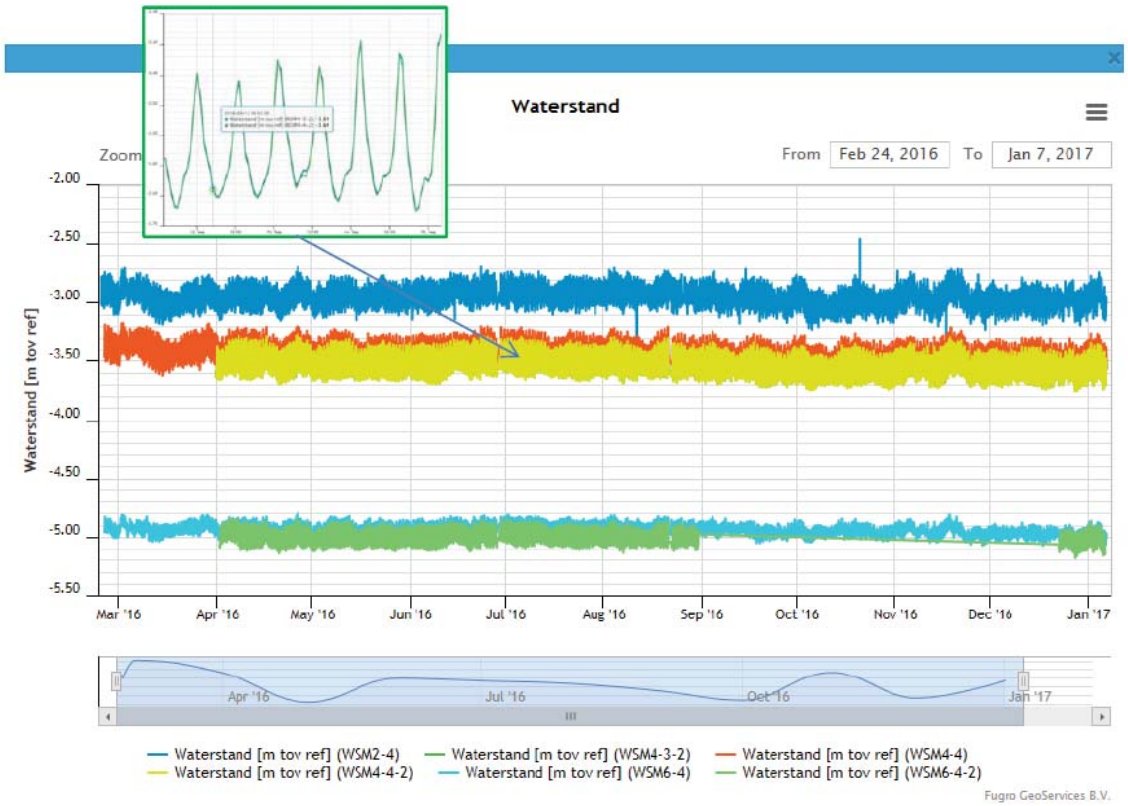
Isohypsen laten een groot verschil in stijghoogte zien binnen het projectgebied. Nabij de Nieuwe Maas is de stijghoogte hoger dan in de meer noordelijke gebieden. Dit is ook weergegeven in Figuur 2-21.



Figuur 2-21 Isohypsen van stijghoogte in het eerste watervoerend pakket volgens TNO [ref. 12

Daarnaast zijn er in 2016 ook metingen gedaan in het watervoerend pakket door Fugro. De locaties en resultaten van deze metingen zijn weergegeven in Figuur 2-22 en Figuur 2-23. Ook hieruit blijkt een afname van de stijghoogte richting het noorden. De gemiddelde waardes van de metingen komen redelijk overeen met de isohypsen. De stijghoogtes van de isohypsen zijn over het algemeen iets lager dan de gemeten stijghoogtes.

Figuur 2-22 Meetlocaties Fugro



Figuur 2-23 Metingen van stijghoogte. Het eerste nummer in de naam komt overeen met de meetlocatie

Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling in het projectgebied is het verschil tussen neerslag en verdamping. Aanvullend kan grondwateraanvulling worden verminderd door het afstromen van neerslag over bijvoorbeeld verhard oppervlak.

Voor standaard grondwateraanvulling wordt uitgegaan van een constante grondwateraanvulling. In een gemiddelde situatie wordt een waarde van 0,7 mm per dag aangehouden [ref. 1]. De grondwateraanvulling kan worden beïnvloed door het lokale landgebruik.

Aangezien de metingen die zijn gedaan voornamelijk in de winterperiode van 2021-2022 zijn, is ook nog gekeken naar de neerslag gedurende deze periode. Hieruit volgt dat er bij het neerslagstation in Gouda in de maanden december 2021 en januari 2022 een gemiddelde neerslag was van 1,0 mm per dag [ref. 5]. Daarnaast wordt er van uit gegaan dat er gedurende de winterperiode geen tot weinig verdamping plaatsvindt.

Voor grondwateraanvulling gedurende een droge periode is uitgegaan van het verschil tussen neerslag en verdamping in de maanden juni, juli en augustus. Hiervoor is uitgegaan van het weerstation bij Rotterdam [ref. 6]. Hieruit volgt een gemiddeld verschil tussen neerslag en verdamping van -0,5 mm/d. Gemiddeld is de verdamping in de zomer dus hoger dan de hoeveelheid neerslag.

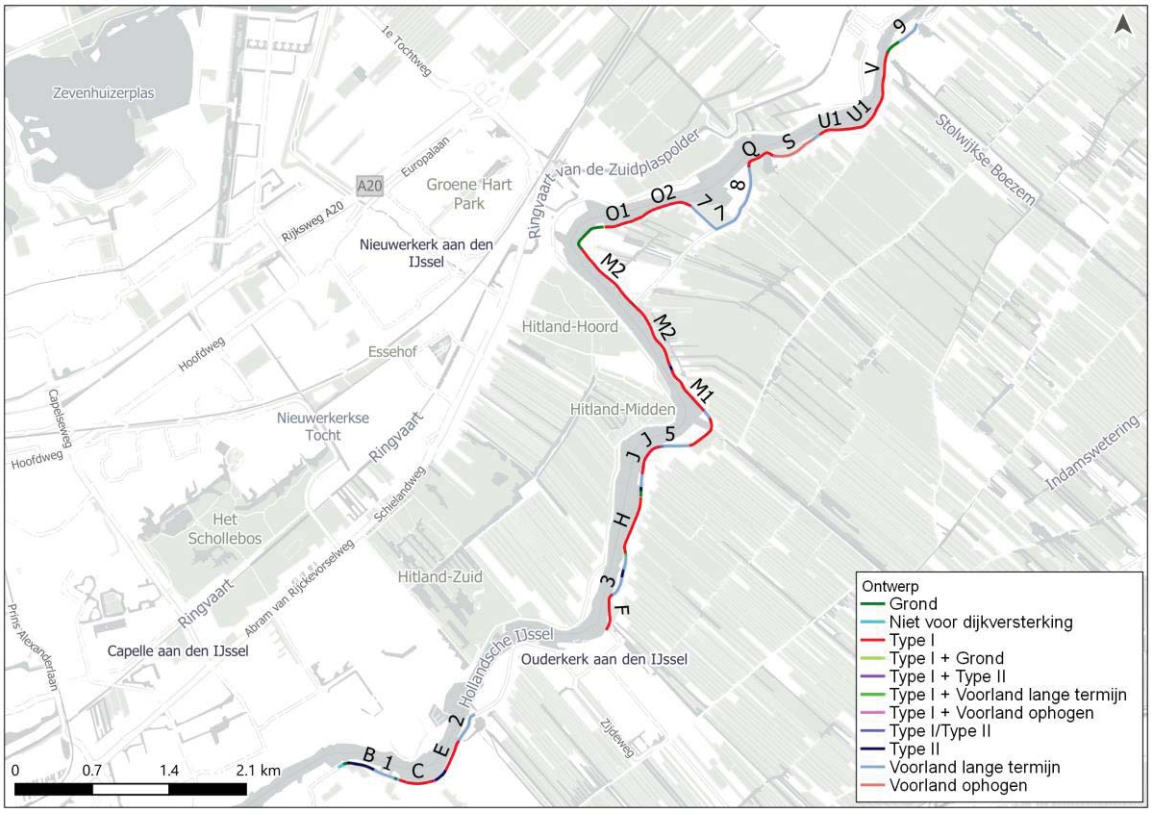
3. Werkzaamheden met mogelijk effect op grondwater

Voor de dijkversterking KIJK zullen constructies worden geplaatst. Deze constructies zullen bestaan uit Type I of Type II constructies. Het verschil tussen Type I en Type II constructies is dat Type I constructies volledig waterkerend moeten zijn, terwijl dit voor Type II constructies niet geldt. Daarnaast worden Type I constructies worden geplaatst in de buitenkruin, terwijl Type II constructies worden geplaatst in de binnenkruin of het binnentalud.

In het ontwerp worden voor Type I constructies damwandplanken geplaatst tot NAP - 8 meter. Om een overzicht te krijgen van de effecten bij verschillende damwanddieptes wordt in deze studie ook gekeken naar een damwanddiepte van NAP -4 meter en NAP -2 meter.

Naast de damwand worden ook buispalen geplaatst tot in het watervoerend pakket [ref. 4]. De diepte tot waar de buispalen worden geplaatst ligt tussen NAP -20 meter en NAP -9,3 meter. Over het algemeen moeten de buispalen richting Krimpen dieper worden geplaatst dan damwanden nabij Gouderak. De buispalen hebben een diameter van 1 meter en worden hart op hart elke 2,8 meter geplaatst. Hierdoor wordt verwacht dat dit zorgt voor een reductie in de doorlatendheid van ongeveer 30%.

Damwandplanken in Type II constructies worden dieper geplaatst dan damwandplanken in Type I constructies. De diepte van de damwandplanken liggen hier tussen NAP -14,50 en NAP -17,30 meter.



Figuur 3-1 Ontwerp

4. Modellering

Er zijn 2-D dwarsdoorsnede modellen met modelcode MODFLOW opgesteld om de effecten op de freatische grondwaterstand en stijghoogte te berekenen. Als eerste zijn modellen opgesteld die de huidige situatie beschrijven. Deze modellen zijn vervolgens vergeleken met de meetgegevens. Een selectie van de modellen die het beste overeenkomt met de metingen wordt vervolgens ingezet om een aantal situaties door te rekenen:

- De huidige situatie;
- De situatie met een constructie in de waterkering, waarbij drie varianten zijn meegenomen in de berekeningen:
    - Voorkeursvariant met damwanddiepte NAP -8,0 m;
    - Variant met damwanddiepte NAP -4,0 m (bijlage II en III);
    - Variant met damwanddiepte NAP -2,0 m (bijlage II en III).

Het verschil tussen beide scenario's levert het effect op van de constructies op het grondwater. Elk model levert een effect op. De selectie van modellen geeft een beeld van de onzekerheid van het effect.

In de onderstaande paragrafen wordt de modellering verder uiteengezet.

4.1. Clusters waterkering

Een 2D-dwarsdoorsnede model is niet representatief voor de gehele waterkering. Daarom is de waterkering opgesplitst in een aantal clusters. Voor elk cluster is een model opgesteld met maatgevende uitgangspunten behorende in hetzelfde cluster. Bij het bepalen van deze clusters is gekeken naar verschillen in:

- Ligging van het watervoerend pakket;
- Maaiveldniveau achterland;
- Stijghoogte;
- Polderpeil.

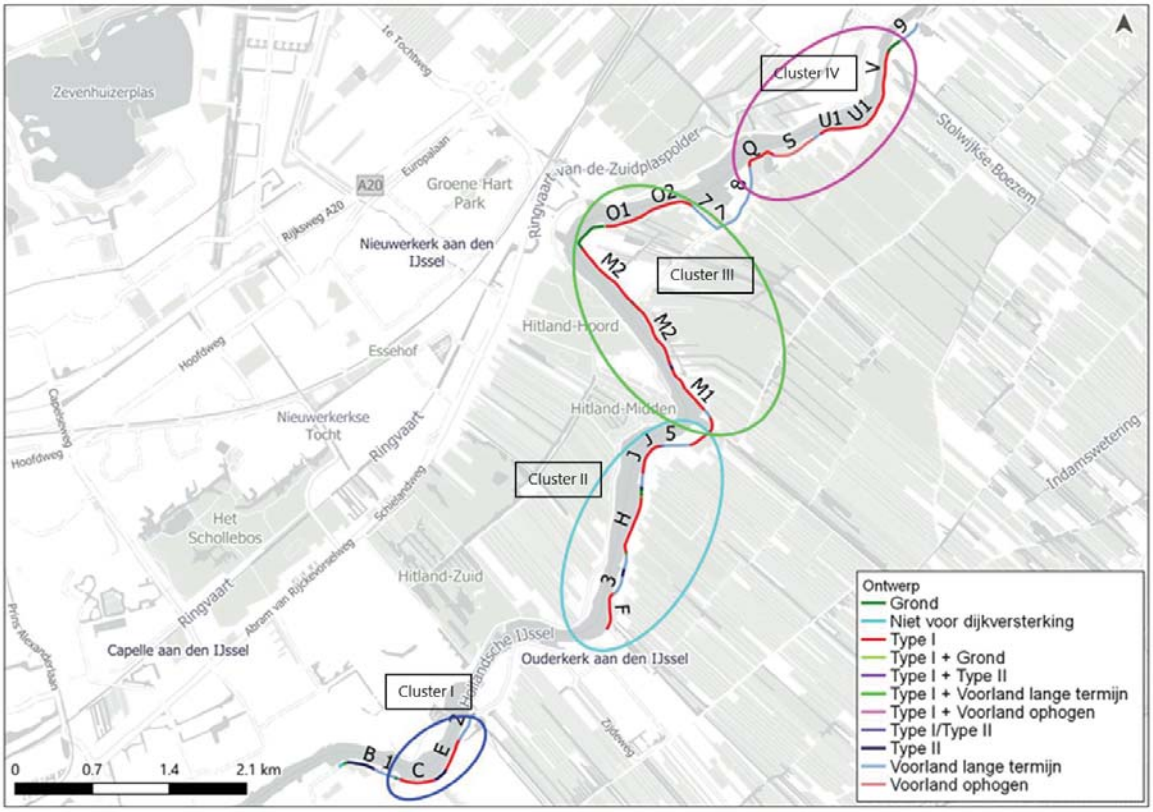
De clusters zijn gegeven in Tabel 4-1. Hierbij is alleen gekeken naar dijkvakken waarbij een constructie wordt geplaatst. De locatie van de clusters is weergegeven in Figuur 4-1.

In enkele clusters zijn meerdere meetpunten beschikbaar. Deze meetpunten zijn ook gebruikt voor de modellering, om een breder beeld te krijgen van de te verwachten effecten.

Tabel 4-1 Clusters van dijkvakken

Cluster	Dijkvakken	Eigenschappen	Opmerkingen
I	C, D, E	Damwand tot NAP -8 meter, heterogene bodemopbouw met start watervoerend pakket tussen NAP-13 en NAP-17. Zelfde peilvak. Vergelijkbaar	Dijkvak E gebruikt voor modellering vanwege beschikbaarheid lokale waterspanningsmeters en bebouwing.

		maaiveldniveau achterland.	
II	F, H, J, K2	Begin watervoerend pakket rond NAP -15 meter. Zelfde peil achterland. Maaiveldniveau achterland vergelijkbaar. Stijghoogte NAP-3,5 - -4,5 m.	Dijkvak F gebruikt vanwege beschikbaarheid lokale waterspanningsmeters
III	L, M1, M2, O1, O2	Vergelijkbare diepteligging watervoerend pakket. Zelfde peil achterland. Maaiveldniveau vergelijkbaar. Stijghoogte NAP -4 - - 5 m.	Uitzondering O1 en einde M2, waar wvp ondieper ligt. M2 gebruikt vanwege beschikbaarheid metingen.
IV	Q, R, U1, U2, V	Stijghoogte NAP -4,5 - - 5,0 meter. Zelfde peilgebied. Vergelijkbare diepte achterland. Begin watervoerend pakket +- NAP - 10,0 m.	U1 gebruikt vanwege beschikbaarheid metingen



Figuur 4-1 Clustering van dijkvakken

4.2. Modeldoorsnedes

Binnen de vier clusters zijn op basis van de bodemopbouw, de aanwezige bebouwing, de voorkeursvarianten en de beschikbaarheid zes dijkvakken gekozen om te modelleren. Deze doorsnedes zijn als volgt:

- Cluster I
  - Doorsnede 1 - gebaseerd op E;
- Cluster II
  - Doorsnede 2 - gebaseerd op F;
  - Doorsnede 3 - gebaseerd op I1[1];
- Cluster III
  - Doorsnede 4 - gebaseerd op M2;
  - Doorsnede 5 - gebaseerd op O2;
- Cluster IV
  - Doorsnede 6 - gebaseerd op U1.

In Tabel 4.2 staat per doorsnede een overzicht van de parameters van de verschillende doorsnedes. De diepte van de damwand is in dit overzicht bepaald aan de hand van de bovenkant van de kruin en het maaiveldniveau in het achterland. In de modellering wordt uitgegaan van een vaste damwanddiepte tot NAP -8,0 meter en een variant met een damwanddiepte tot NAP -4,0 en -2,0 meter.

[1] Bij dijkvak I1 is een type II constructie voorzien. Om een breed inzicht te krijgen is er ook hier voor gekozen om in de modellering te kijken naar de effecten van een type I constructie.

Tabel 4-2 Karakteristieke parameters voor de verschillende doorsnedes

	Doorsnede 1 (E)	Doorsnede 2 (F)	Doorsnede 3 (I1)	Doorsnede 4 (M2)	Doorsnede 5 (O2)	Doorsnede 6 (U1)
Bovenkant wvp / onderkant deklaag (m NAP)	-13,0	-12,0	-12,0	-10	-9	-12
Onderkant watervoerend pakket (m NAP)	-25,0 (Sonderingen)	-30,0 (REGIS)	-38,0 (REGIS)	-40 (REGIS)	-45 (REGIS)	-55 (REGIS)
Diepte damwandplank (m NAP)	-6,2	-6,7		-7,6		-6,5
Peil achterland (m NAP)	-2,02	-2,28	-2,26	-2,62	-2,62	-2,62
Maaiveld achterland (m NAP)	-1,1	-1,6	-1,7	-2,1	-2,0	-1,5
Bovenkant veenlaag (m NAP)	-5	-5	-7	-7	-5	-9
Onderkant veenlaag (m NAP)	-6	-6	-8	-9	-7	-11
Bovenkant kruin (m NAP)	4,0	3,50	4,0	3,4	3,7	3,5
Breedte kruin (m)	6	5,5	6,0	3,5	8	6
Maximale afstand binnenkruin tot teensloot (m)	46	50	60	40	50	50
Dichtstbijzijnde meetraai	26,76	28,95	30,23	33,02	34,40	36,26

4.3. Model opbouw

Schematisatie

De gekozen schematisering bestaat uit een 2D-doorsnede en heeft daardoor enkele beperkingen. Deze zijn als volgt:

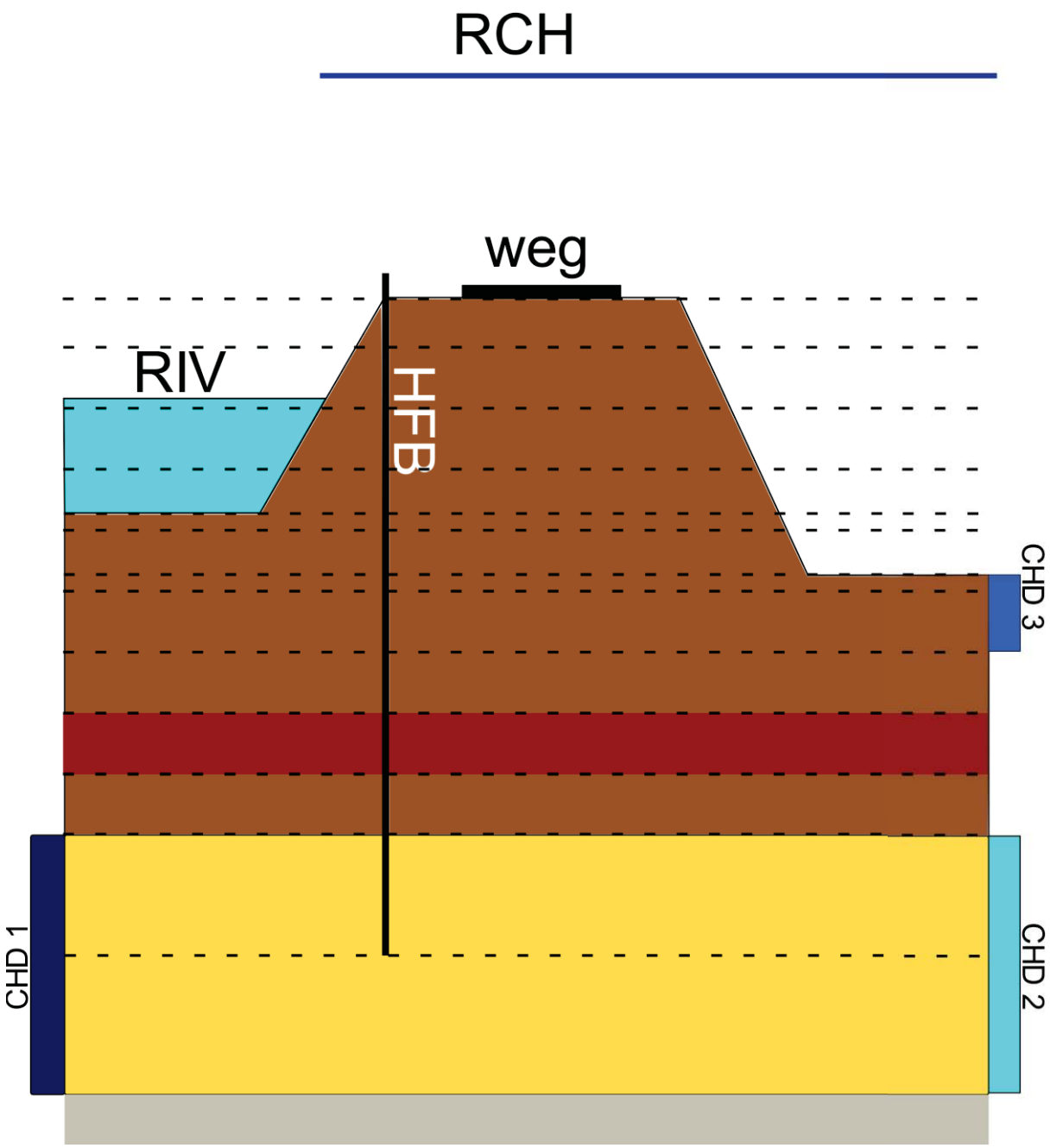
- De heterogeniteit van de bodemopbouw wordt niet volledig meegenomen. Tijdens veldwerk is op vele plekken in de dijk puin aangetroffen. Vanwege de heterogeniteit is er een grote onzekerheid in de bodemopbouw;
- Een 2D-dwarsdoosnede is een versimpeling van de werkelijkheid. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld wordt uitgegaan van een uniformiteit van het systeem in het gehele cluster, zoals bijvoorbeeld de ligging van de teensloot. In dit geval is uitgegaan van een worst-case benadering doordat gekozen is voor een doorsnede die het meest maatgevend is in een cluster. Hierdoor is het waarschijnlijk dat voor een deel van de locaties de effecten worden overschat.

De schematisatie van de modellering is weergegeven in Figuur 4-2. Door de lage doorlatendheid in de deklaag, kan de waarde van de stijghoogte in de deklaag over de diepte verschillen. Om deze verschillen mee te nemen in de modellering is de deklaag opgedeeld in meerdere modellagen. Dit is met de stippellijnen aangegeven in Figuur 4-2.

De modelschematisatie bestaat uit meerdere parameters. Deze parameters als volgt:

- Dikte per laag van de deklaag;
- Locatie van de damwand, aangegeven met HFB in Figuur 4-2;
- Lengte van het achterland. Dit is afhankelijk van de eerder gegeven afstand tot teensloot;
- Grondwateraanvulling, aangegeven met RCH in Figuur 4-2;
- Bodemopbouw (doorlatendheid en dikte deklaag). Voor de bovenste laag is de doorlatendheid 5 keer hoger dan voor de overige lagen. Hiervoor is gekozen vanwege de aanwezigheid van geroerde grond en een wortelzone. Daarnaast is een veenlaag toegevoegd, welke een afwijkende doorlatendheid heeft;
- Waardes van de randvoorwaarden. Aangegeven met CHD in Figuur 4-2;
- Buitenwaterstand in de rivier, aangegeven met RIV in Figuur 4-2.
- Op het maaiveld is een drain opgenomen. In de bovenste laag kan de grondwaterstand hierdoor niet hoger komen dan maaiveld.

Deze parameters worden in de volgende paragrafen verder toegelicht.

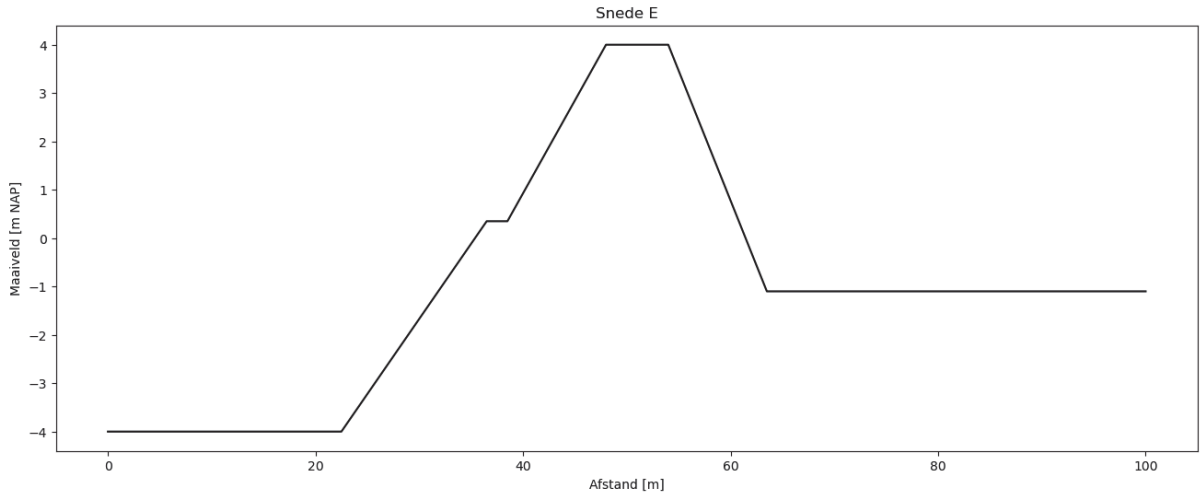


Figuur 4-2 Schematisatie van de modellering (voorbeeld type I constructie). Hierin is het bruine gedeelte de deklaag (met in donkerbruin een veenlaag) en het gele gedeelte het watervoerend pakket. De daadwerkelijke diktes van de lagen, aangegeven met stippellijnen, verschillen.

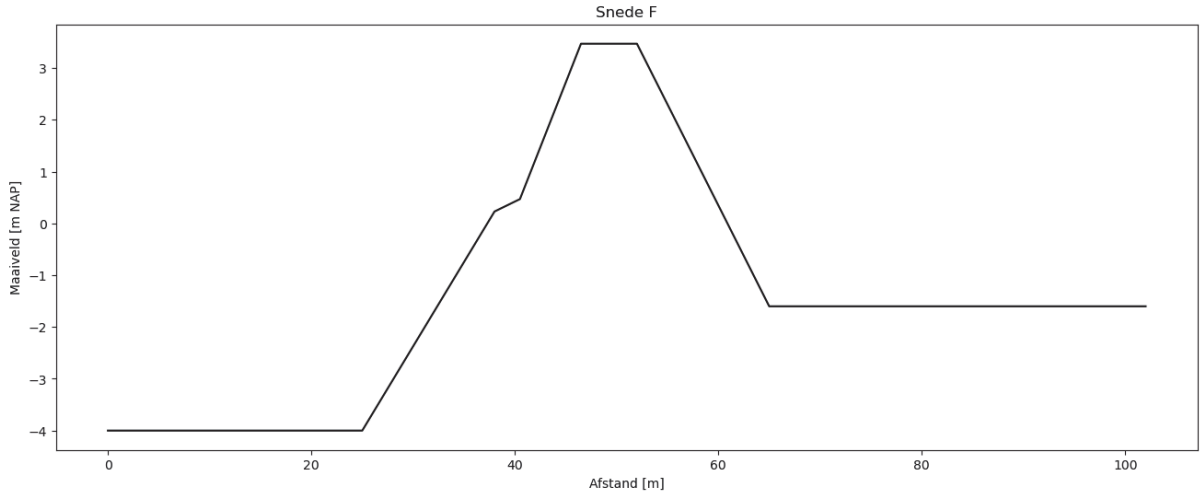
Profielen per snede

Voor de modellering is het van belang dat er een goede weergave van de werkelijkheid wordt gecreëerd. Hiervoor is per snede een profiel opgesteld. De profielen per snede zijn gegeven in Figuur 4-3, Figuur 4-4, Figuur 4-5, Figuur 4-6, Figuur 4-7, Figuur 4-8. De maximale hoogte aan de Hollandse IJsselzijde is in de weergegeven doorsnedes ongeveer gelijk aan het gemiddelde waterniveau van de Hollandse IJssel. In werkelijkheid ligt de bodem van de Hollandse IJssel op ongeveer NAP -4,00 meter [ref. 9]. Om buitendijks tot een bodemdiepte van NAP-4,00 meter te komen, wordt uitgegaan van een talud van 1 op 3.

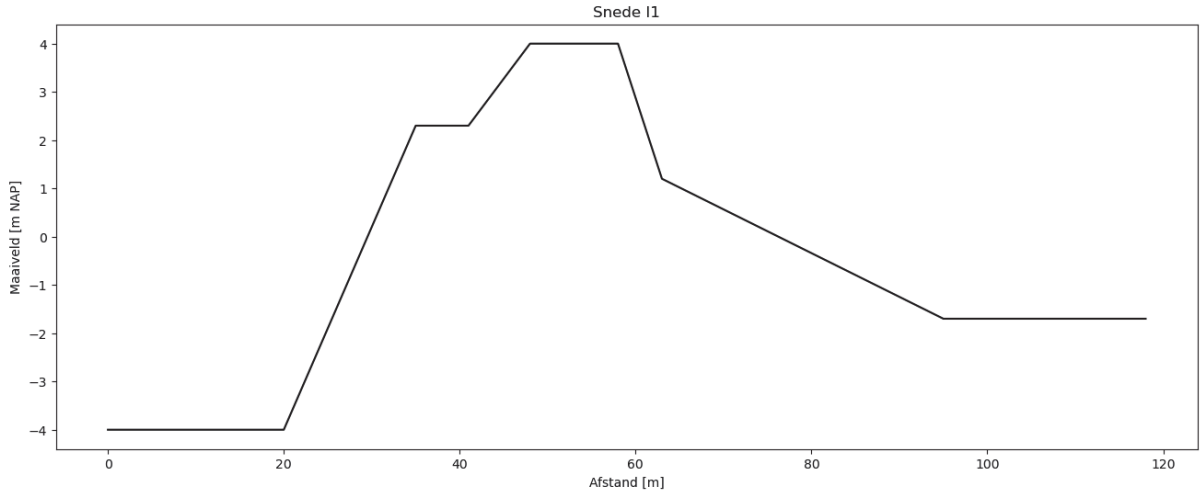
Afbeelding 4.1 Profiel dijkvak E



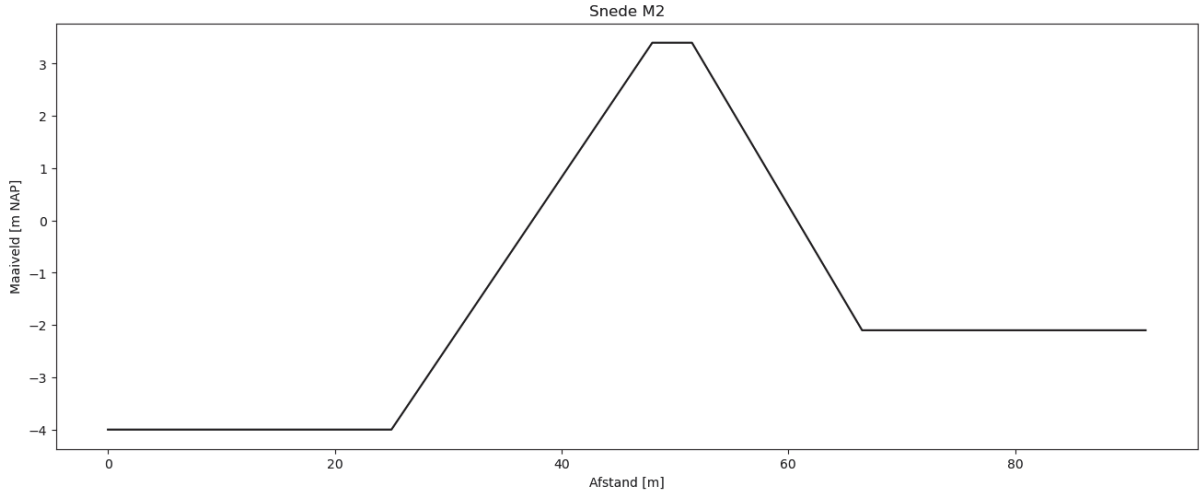
Figuur 4-3 Profiel dijkvak E



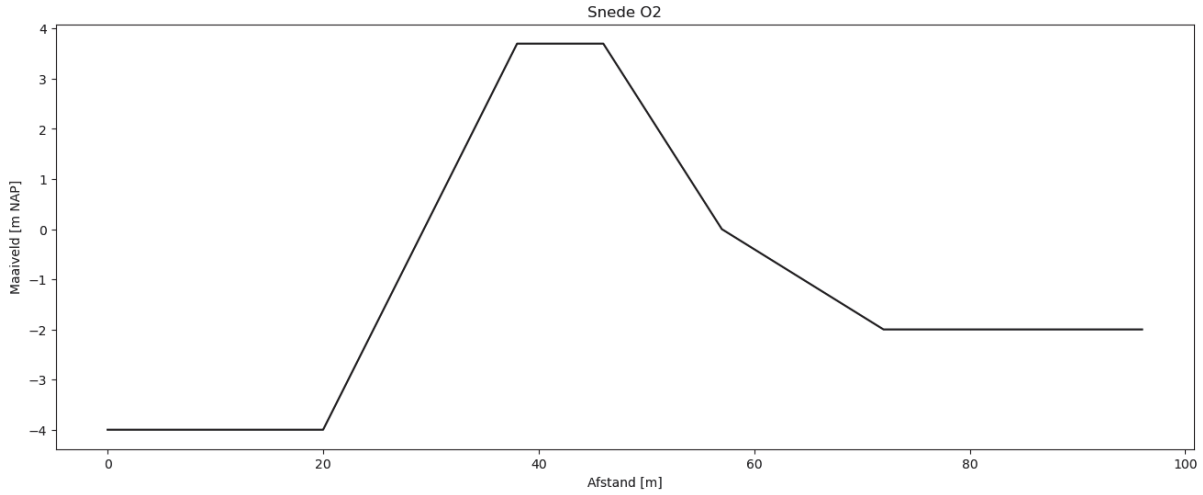
Figuur 4-4 Profiel dijkvak F



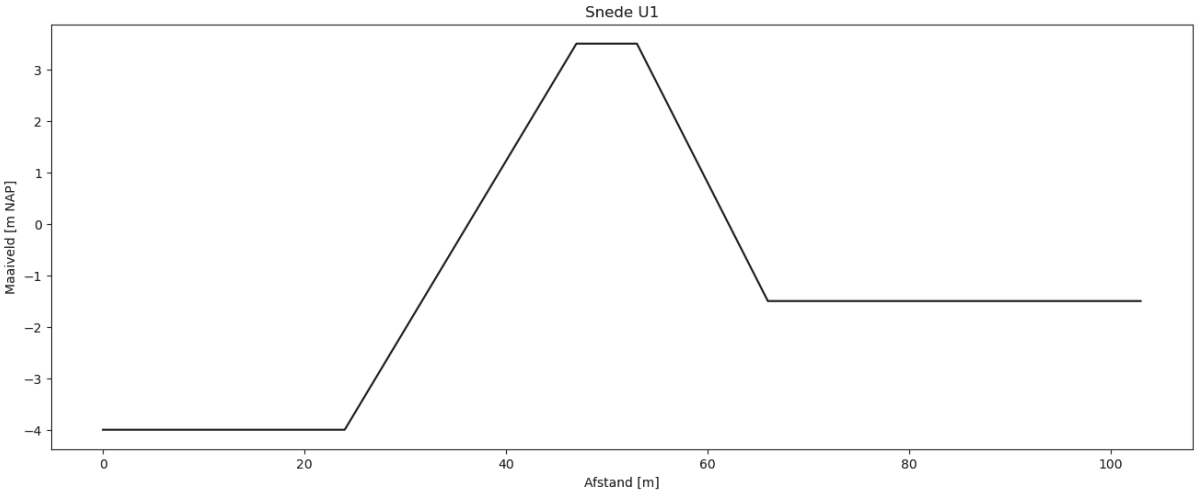
Figuur 4-5 Profiel dijkvak I1



Figuur 4-6 Profiel dijkvak M2



Figuur 4-7 Profiel dijkvak O2



Figuur 4-8 Profiel dijkvak U1

Vaste parameters

Voor de modellering zijn er een aantal vaste parameters, welke zijn weergegeven in Tabel 4-3. Deze parameters zijn gelijk voor alle clusters. Er wordt wel onderscheid gemaakt tussen grondwateraanvulling tijdens een natte periode en grondwateraanvulling tijdens een droge periode.

In paragraaf 2.4.3 is aangegeven dat de gemiddelde grondwateraanvulling in de zomer negatief is. Omdat in een stationaire situatie een negatieve grondwateraanvulling niet heel waarschijnlijk is, wordt hier uitgegaan van een grondwateraanvulling van 0,0 mm/d. Deze periode wordt enkel gebruikt voor effectbepaling, niet voor het kalibreren van modellen.

Tabel 4-3 De vaste parameters in de modellering

Parameter	Waarde
Grondwateraanvulling natte periode (GHG) [mm/d]	1,0
Grondwateraanvulling droge periode (GLG) [mm/d]	0,0
Horizontale doorlatendheid watervoerend pakket [m/d]	20
Celgrootte [m]	0,5
Doorlatendheid damwand [m/d]	10^{-7}
Hydrologische randvoorwaarde CHD3 [m NAP]	Polderpeil
Waterpeil Hollandse IJssel [m NAP]	+0,26
Bodemweerstand rivier [d]	2

Onzekere parameters

Enkele parameters zijn onzeker. Dat kan omdat de bandbreedte erg ruim is of omdat er relatief weinig gegevens bekend zijn. Voor deze parameters wordt een bandbreedte aangenomen, De onzekere parameters zijn gegeven in Tabel 4-4. De verticale doorlatendheid wordt verkregen door de horizontale doorlatendheid te delen door de anisotropie.

Tabel 4-4 Gebruikte bandbreedte onzekere parameters

	minimale waarde	maximale waarde
k_h kleilaag [m/d]	0,001	0,1
k_h veen [m/d]	0,0001	0,001
stijghoogte randvoorwaarde buitendijks [m NAP]	E: -3,50 F: -4,00 M2: -5,00 U1: -5,50	E: -2,00 F: -3,50 M2: -4,00 U1: -4,75
stijghoogte randvoorwaarde binnendijks [m NAP]	E: -3,50 F: -4,00 M2: -5,00 U1: -5,25	E: -2,00 F: -3,50 M2: -4,00 U1: -4,50
factor doorlatendheid asfalt [-]	0,1	0,9
anisotropie in de deklaag (k_h / k_v) [-]	1	10

Aanwezigheid drainage

In hoofdstuk 2.3 is de aanwezigheid van buisdrainage besproken in de Krimpenerwaard. In Tabel 4-5 is voor elk cluster toegelicht wat het effect is voor de geohydrologische modellering.

Tabel 4-5 Aanwezigheid buisdrainage en effect voor modellering voor de verschillende clusters

Cluster	Aanwezigheid drainage	Drainage in modellering
Cluster I	Buisdrainage mogelijk aanwezig in het achterland, niet vlakdekkend	Geen drainage is maatgevend voor effect. Daarom drainage niet meegenomen in modellering
Cluster II	Drainage enkel aanwezig in voorland	Geen drainage in modellering
Cluster III	Drainage aanwezig achter teensloot	Effect van drainage achter teensloot beperkt voor effecten. Daarom drainage niet meegenomen
Cluster IV	Geen drainage aanwezig	Geen drainage in modellering.

Autonome ontwikkeling

Voor de effectbeoordeling is het belangrijk om naast de huidige effecten ook toekomstige ontwikkelingen mee te nemen. In de modellering wordt ook uitgegaan van een autonome ontwikkeling tot het zichtjaar 2035. De ontwikkelingen die hierin zijn meegenomen bestaan uit:

- Veranderde grondwateraanvulling;
- Bodemdaling;
- Peilaanpassing;
- Buitenwaterstand.

De specifieke aanpassingen die worden doorgevoerd zijn weergegeven in Tabel 4-6.

Tabel 4-6 Wijziging in parameters ten gevolge van autonome ontwikkeling

Parameter	2022	Autonome ontwikkeling (zichtjaar 2035)
Grondwateraanvulling [mm/d]	1,0	1,05 [ref. 1]
Bodemdaling [m]	n.v.t	-0,15
Peilaanpassing [m]	n.v.t	-0,15
Buitenwaterstand [m NAP]	0,26	0,40

4.4. Kalibratie en validatiemethode

Om te bepalen of de referentie doorsnedemodellen geschikt zijn voor vervolgmodellering (invoer maatregel) wordt gekeken naar kalibratie en validatie van de modellen, welke in deze paragraaf wordt besproken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de eerder beschreven schematisatie en onderscheid gemaakt tussen de verschillende clusters.

Data

Kalibratie en validatie vindt plaats aan de hand van de beschikbare data. Deze data wordt gebruikt om te bepalen hoe goed een model presteert. De gebruikte freatische grondwaterstanden zijn gegeven in Tabel 4-7. De data die hiervoor is gebruikt is de data van begin december 2021 tot en met januari 2022.

Aangezien de metingen zijn gedaan in de winterperiode kan het zijn dat deze metingen de daadwerkelijke gemiddelde freatische grondwaterstand overschatten en dat deze in werkelijkheid lager is. Hiervoor is in de modellering rekening gehouden door uit te gaan van een hogere grondwateraanvulling dan gemiddeld. Dit is bepaald op basis van KNMI data.

Tabel 4-7 Gebruikte freatische grondwaterstanden in m NAP. Een kruis betekent dat data onbetrouwbaar is. Een streep betekent dat het meetpunt niet bestaat

	VL [NAP -0,5 m]	BUK (ondiep) [NAP -0,5 m]	BUK (diep) [NAP -4,5 m]	BIK (ondiep) [NAP -0,5 m]	BIK (diep) [NAP -4,5 m]	BIT [NAP -4,5 m]	AL [NAP -4,5 m]
E	-	-	-	0,20	-0,20	-0,50	-1,60
F	-	-	-	0,00*	-0,20	-1,40	-1,80**
I1	-	-	-	0,10	-0,50	-1,10	-1,20
M2	-	-	-	0,00***	-0,50	-2,00	-2,50
O2	-	-	-	1,50	x	-2,00	-2,30
U1	0,75	0,70	-0,05	x	x	-2,00	x

* Meting is heel vlak - verwacht wordt dat dit niet realistisch is. Op basis van waterspanningsmetingen in de omgeving wordt een waarde tussen -0,50 en 0,50 realistisch geacht

** Meting is heel vlak - verwacht wordt dat dit niet realistisch is. Wordt niet gebruikt bij validatie

*** Waterspanningsmeter is gedurende meetperiode een meter dieper gedrukt (17 januari). Data vanaf 17 januari is gebruikt.

Acceptatie model

Alle modellen zullen afwijkingen vertonen van de metingen. Hierbij moet worden bepaald welke modellen een 'acceptabele' afwijking vertonen. Modellen met een acceptabele afwijking kunnen worden gebruikt om een vervolgberekening te maken. Deze vervolgberekening zal bestaan uit een autonome ontwikkeling en de plaatsing van een damwand (constructie maatregel).

Per doorsnede zijn er 1000 scenario's berekend waarin de onzekere parameters binnen de gestelde bandbreedte varieerden. Voor de beoordeling van deze parametercombinaties wordt gekeken naar de som van de absolute afwijking van alle meetpunten. Dit is gedaan zodat de hele systeemwerking zoveel mogelijk wordt meegenomen in de modellen.

Uit deze resultaten volgt een parametercombinatie die het beste presteert ten opzichte van de huidige metingen. Deze combinatie van parameters wordt gebruikt om de modellen met damwand door te rekenen. Op basis hiervan kan een globale inschatting worden gemaakt van de effecten van een plaatsing van een damwand.

Daarnaast volgen uit de beoordeling ook de 5 beste doorsnedes met diverse parametercombinaties. Deze parametercombinaties kunnen worden gebruikt om een inschatting te geven van de bandbreedte van de berekende effecten.

4.5. Validatie doorsnedes

Validatie doorsnede E

Voor doorsnede E zijn 4 meetpunten beschikbaar. Op basis hiervan en de eerdere modelparameters is er gekeken naar de beste parametercombinaties. Deze zijn gegeven in Tabel 4-8. De grootste afwijking is hier aanwezig in het achterland. De waardes in het model zijn hier hoger dan uit de metingen blijkt. In de binnenteen is het model over het algemeen lager dan de metingen.

Tabel - Afwijking met tussen model en meting voor best presterende parametercombinaties voor doorsnede E. Negatief is een te laag modelresultaat, positief is een te hoog modelresultaat.

Parameterset	Afwijking BIKO [m]	Afwijking BIKD [m]	Afwijking BIT [m]	Afwijking AL [m]	Som absolute afwijking
Parametercombinatie 106	-0.02	0.20	-0.16	0.39	0.76
Parametercombinatie 585	-0.09	-0.04	-0.27	0.38	0.79
Parametercombinatie 971	-0.03	-0.14	-0.20	0.43	0.80
Parametercombinatie 469	-0.13	-0.05	-0.27	0.37	0.82
Parametercombinatie 739	-0.05	0.22	-0.20	0.36	0.83

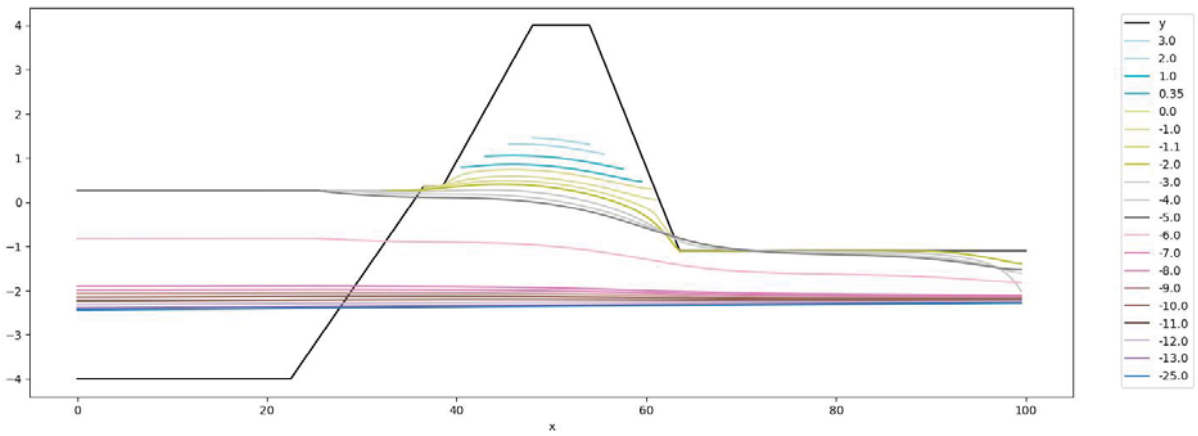
De bijbehorende parametercombinaties zijn gegeven in Tabel 4-9. Hieruit blijkt dat de doorlatendheid van de veenlaag in alle gevallen erg laag is. Deze ligt tussen 0,0001 en 0,0002. De waarde van de

neerslagfactor in de kruin is overal hoog en de horizontale doorlatendheid wijkt niet veel af tussen de verschillende parametercombinaties. In de anisotropie zit wel een verschil tussen de verschillende paramatercombinaties, met een variatie tussen 2,75 en 6,52.

Tabel 4-9 Gebruikte parametercombinaties voor doorsnede E

Modelnaam	Horizontale doorlatendheid klei [m/d]	Horizontale doorlatendheid veen [m/d]	Randvoorwaarde buitendijks [m]	Randvoorwaarde binnendijks	Neerslagfactor kruin [-]	Anisotropie [-]
Parametercombinatie 106	0.022	0.0001	-2.44	-2.28	0.87	6.52
Parametercombinatie 585	0.016	0.0002	-3.29	-2.46	0.87	2.75
Parametercombinatie 971	0.028	0.0001	-2.54	-2.43	0.80	3.73
Parametercombinatie 469	0.018	0.0001	-3.46	-3.08	0.68	4.62
Parametercombinatie 739	0.020	0.0001	-2.53	-2.68	0.82	6.36

De doorsnede die hoort bij het best presterende model is weergegeven in Figuur 4-9. Te zien is dat er in de kruin opbolling optreedt. Deze opbolling neemt af met de diepte. Daarnaast is ook duidelijk dat de grondwaterstand afneemt van buitendijkse naar binnendijks.



Figuur 4-9 Doorsnede van het best presterende model. Elke lijn staat voor de gemodelleerde waterstand in een laag, waarin de bodem van de gemodelleerde laag staat aangegeven in de legenda [m NAP].

Validatie doorsnede F

Voor doorsnede F zijn 4 meetpunten beschikbaar. Zoals eerder beschreven zijn de meetpunten in het achterland en de ondiepe binnenkruin hier niet betrouwbaar. Voor de ondiepe binnenkruin is een waarde aangenomen. Op basis van deze data is gekeken naar de best presterende parametercombinaties. Deze zijn gegeven in Tabel 4-10. De afwijkingen in de ondiepe en diepe binnenkruin zijn beperkt. In de binnenteen zijn deze afwijkingen iets groter.

Tabel 4-10 Afwijking met tussen model en meting voor best presterende parametercombinaties voor *doorsnede F*. Negatief is een te laag modelresultaat, positief is een te hoog modelresultaat.

Parameterset	Afwijking BIKO [m]	Afwijking BIKD [m]	Afwijking BIT [m]	Afwijking AL [m]	Som absolute afwijking
Parametercombinatie 971	-0.06	-0.08	0.35	Niet beschikbaar	0.49
Parametercombinatie 585	-0.03	-0.24	0.22	Niet beschikbaar	0.50
Parametercombinatie 469	0.06	-0.16	0.31	Niet beschikbaar	0.52
Parametercombinatie 228	-0.11	-0.18	0.29	Niet beschikbaar	0.58
Parametercombinatie 495	-0.04	-0.52	0.04	Niet beschikbaar	0.60

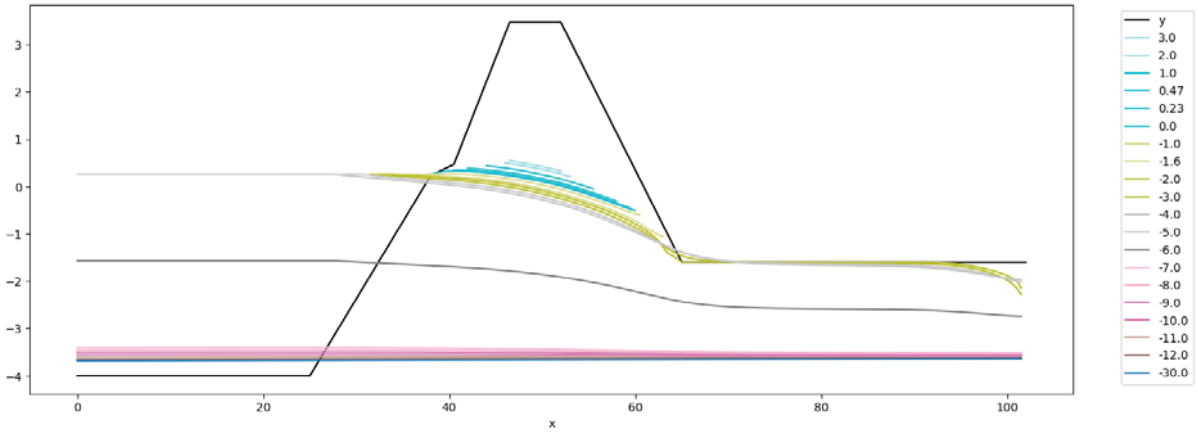
De parametercombinaties behorende bij deze resultaten zijn gegeven in Tabel 4-11. Er zit in deze parametersets een beperkt verschil tussen de horizontale doorlatendheden. Ook de anisotropie heeft een beperkte variatie.

Tabel 4-11 Gebruikte parametercombinaties voor doorsnede F

Modelnaam	Horizontale doorlatendheid klei [m/d]	Horizontale doorlatendheid veen [m/d]	Randvoorwaarde buitendijks [m]	Randvoorwaarde binnendijks	Neerslagfactor kruin [-]	Anisotropie [-]
Parametercombinatie 971	0.028	0.0001	-3.68	-3.64	0.80	3.73
Parametercombinatie 585	0.016	0.0002	-3.93	-3.65	0.87	2.75
Parametercombinatie 469	0.018	0.0001	-3.99	-3.86	0.68	4.62
Parametercombinatie 228	0.026	0.0001	-3.94	-3.90	0.71	4.40

Parametercombinatie 495	0.015	0.0003	-3.69	-3.88	0.77	4.23

De doorsnede behorende bij het best presterende model is weergegeven in Figuur 4-10. Hierin is het verloop over de veenlaag duidelijk zichtbaar.



Figuur 4-10 Doorsnede van het best presterende model. Elke lijn staat voor de gemodelleerde waterstand in een laag, waarin de bodem van de gemodelleerde laag staat aangegeven in de legenda [m NAP].

Validatie doorsnede I1

Voor doorsnede I1 zijn 4 meetpunten beschikbaar. De 5 best presterende modellen op deze meetpunten zijn weergegeven in Tabel 4-12. De afwijkingen zijn hier het grootst in de diepe binnenkruin, waarbij de metingen hoger zijn dan de gemodelleerde waardes.

Tabel 4-12 Afwijking met tussen model en meting voor best presterende parametercombinaties voor doorsnede I1. Negatief is een te laag modelresultaat, positief is een te hoog modelresultaat.

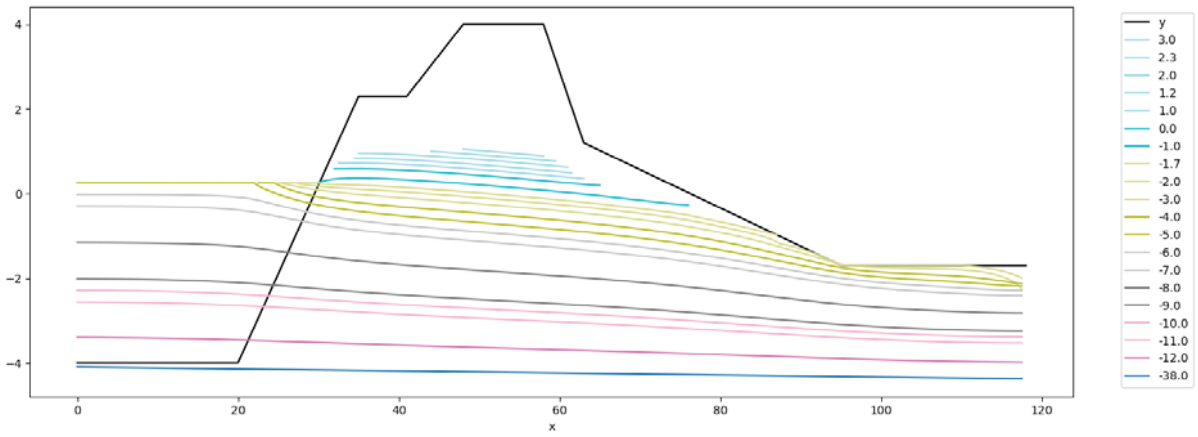
Parameterset	Afwijking BIKO [m]	Afwijking BIKD [m]	Afwijking BIT [m]	Afwijking AL [m]	Som absolute afwijking
Parametercombinatie 808	-0.02	-0.32	0.14	0.01	0.49
Parametercombinatie 45	0.03	-0.44	0.07	-0.02	0.56
Parametercombinatie 79	-0.10	-0.36	0.10	-0.03	0.59
Parametercombinatie 990	0.01	-0.17	0.29	0.14	0.61
Parametercombinatie 687	0.02	-0.10	0.35	0.18	0.64

De parametercombinaties behorende bij de best presterende modellen zijn weergegeven in Tabel 4-13. De waarde voor de doorlatendheid van het veen zijn voor dit cluster aan de hoge kant van de bandbreedte. De anisotropie is in dit geval redelijk hoog, met uitzondering van parametercombinatie 45. In parametercombinatie 45 is de horizontale doorlatendheid wel lager dan in de andere parametercombinaties, waardoor de verticale doorlatendheid vergelijkbaar is.

Tabel 4-13 Gebruikte parametercombinaties voor doorsnede I1

Modelnaam	Horizontale doorlatendheid klei [m/d]	Horizontale doorlatendheid veen [m/d]	Randvoorwaarde buitendijks [m]	Randvoorwaarde binnendijks	Neerslagfactor kruin [-]	Anisotropie [-]
Parametercombinatie 808	0.023	0.0007	-4.10	-4.38	0.81	6.28
Parametercombinatie 45	0.011	0.0009	-4.31	-4.01	0.83	3.65
Parametercombinatie 79	0.028	0.0006	-4.37	-4.16	0.73	8.28
Parametercombinatie 990	0.032	0.0006	-4.40	-4.01	0.89	7.28
Parametercombinatie 687	0.042	0.0005	-4.04	-4.25	0.82	9.62

De doorsnede behorende bij het best presterende model is weergegeven in Figuur 4-11. Hierin is het verloop over de veenlaag duidelijk zichtbaar.



Figuur 4-11 Doorsnede van het best presterende model. Elke lijn staat voor de gemodelleerde waterstand in een laag, waarin de bodem van de gemodelleerde laag staat aangegeven in de legenda [m NAP].

Validatie doorsnede M2

Voor doorsnede M2 zijn 4 meetpunten beschikbaar. De verschillen tussen modellering en meting voor de 5 best presterende modellen zijn gegeven in Tabel 4-14. De afwijking in deze doorsnede zijn klein in de ondiepe binnenkruin en in het achterland. In de diepe binnenkruin en de binnenteen zijn de verschillen groter. In de binnenteen is de modellering te hoog ten opzicht van de metingen. In de diepe binnenkruin is de modellering te laag.

Tabel 4-14 Afwijking met tussen model en meting voor best presterende parametercombinaties voor doorsnede M2. Negatief is een te laag modelresultaat, positief is een te hoog modelresultaat.

Parameterset	Afwijking BIKO [m]	Afwijking BIKD [m]	Afwijking BIT [m]	Afwijking AL [m]	Som absolute afwijking
Parametercombinatie 19	0.00	-0.75	0.23	0.02	1.01
Parametercombinatie 495	0.03	-0.25	0.59	0.15	1.02
Parametercombinatie 345	0.01	-0.42	0.48	0.12	1.03
Parametercombinatie 912	0.04	-0.78	0.20	0.02	1.03
Parametercombinatie 172	0.00	-0.50	0.42	0.11	1.03

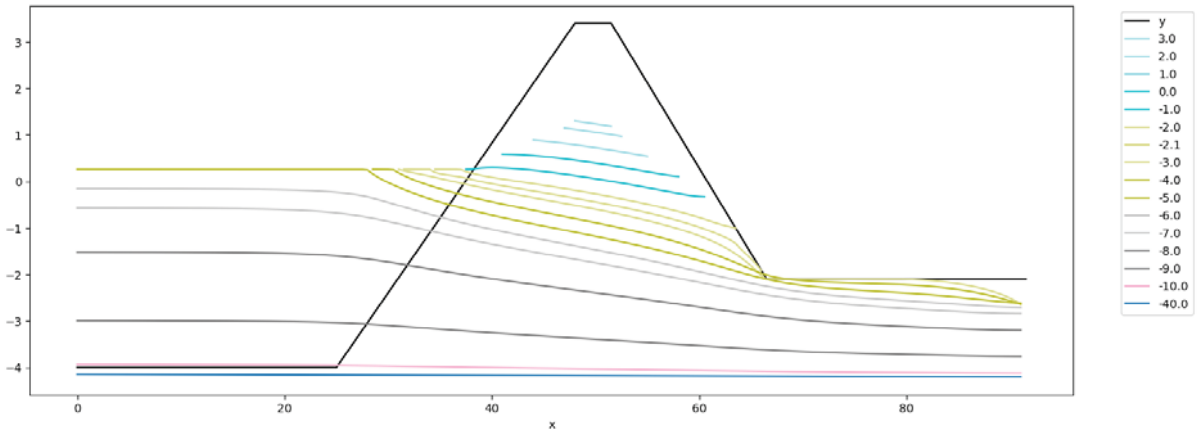
De parameters behorende bij de best presterende modellen zijn weergegeven in Tabel 4-15. In de meeste parametercombinaties is de doorlatendheid van de veenlaag laag.

Tabel 4-15 Gebruikte parametercombinaties voor doorsnede M2

Modelnaam	Horizontale doorlatendheid klei [m/d]	Horizontale doorlatendheid veen [m/d]	Randvoorwaarde buitendijks [m]	Randvoorwaarde binnendijks	Neerslagfactor kruin [-]	Anisotropie [-]
Parametercombinatie 19	0.019	0.0006	-4.14	-4.20	0.74	8.35
Parametercombinatie 495	0.015	0.0003	-4.39	-4.77	0.77	4.23
Parametercombinatie 345	0.025	0.0003	-4.41	-4.75	0.72	9.15
Parametercombinatie 912	0.008	0.0002	-4.62	-4.88	0.31	8.67
Parametercombinatie 172	0.015	0.0003	-4.91	-4.46	0.66	6.07

De doorsnede die hoort bij het best presterende model is weergegeven in Figuur 4-12. Te zien is dat er in de kruin geen opbolling optreedt. Wel neemt de freatische grondwaterstand in de kruin beperkt af. Daarnaast is ook duidelijk dat de grondwaterstand afneemt van buitendijks richting binnendijks.

Ook is het zichtbaar dat de randvoorwaarde binnendijks weinig effect heeft op de grondwaterstand. Vanwege de lage doorlatendheden is er snel weinig invloed meer merkbaar van deze randvoorwaarde. De grondwaterstroming lijkt van maaiveld richting het watervoerend pakket te gaan. Er is dus sprake van een infiltratiesituatie.



Figuur 4-12 Doorsnede van best presterende model van doorsnede M2. Elke lijn staat voor de gemodelleerde waterstand in een laag, waarin de bodem van de gemodelleerde laag staat aangegeven in de legenda [m NAP].

Validatie doorsnede O2

Voor doorsnede O2 zijn 3 meetpunten beschikbaar. De metingen in de ondiepe binnenkruin zijn in deze doorsnede hoger dan in andere doorsnedes. Mogelijk is dat dit een meetfout is, maar dat kan niet met zekerheid worden gesteld. Wel zou dit verklaren waarom uit de modellering volgt dat de waarde in de binnenkruin te laag wordt gemodelleerd, zoals is weergegeven in Tabel 4-16. Ook in het achterland is de waarde te laag gemodelleerd.

Tabel 4-16 Afwijking met tussen model en meting voor best presterende parametercombinaties voor doorsnede O2. Negatief is een te laag modelresultaat, positief is een te hoog modelresultaat.

Parameterset	Afwijking BIKO [m]	Afwijking BIKD [m]	Afwijking BIT [m]	Afwijking AL [m]	Som absolute afwijking
Parametercombinatie 653	-0.33	x	0.09	-0.25	0.68
Parametercombinatie 325	-0.43	x	0.05	-0.28	0.76
Parametercombinatie 275	-0.41	x	0.12	-0.26	0.78
Parametercombinatie 938	-0.30	x	0.38	-0.11	0.80

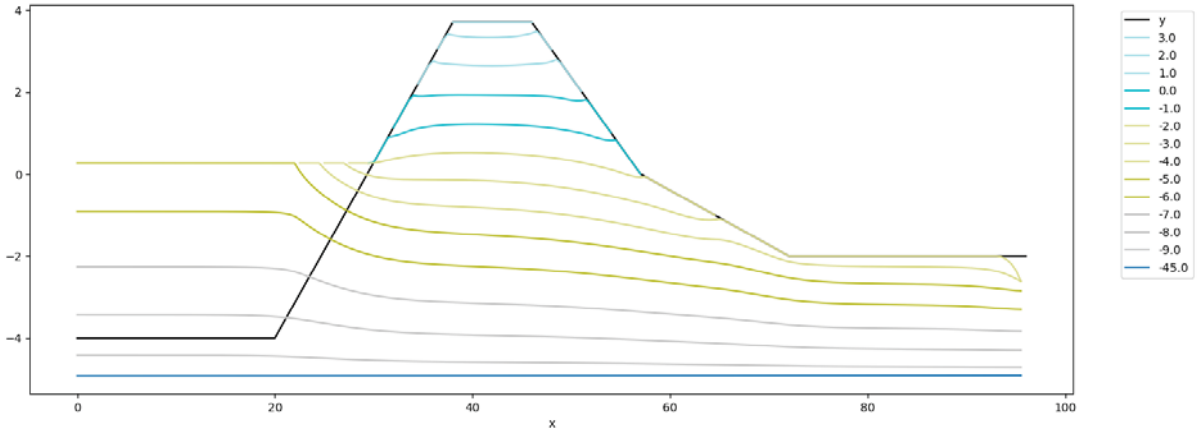
Parametercombinatie 888	-0.66	x	0.01	-0.18	0.85

De best presterende parametercombinaties zijn weergegeven in Tabel 4-17. De doorlatendheden in de best presterende parametercombinaties zijn in bijna alle gevallen aan de onderkant van de ingestelde bandbreedte. Dit is het gevolg van de hoge meting in de ondiepe binnenkruin.

Tabel 4-17 Gebruikte parametercombinaties voor doorsnede O2

Modelnaam	Horizontale doorlatendheid klei [m/d]	Horizontale doorlatendheid veen [m/d]	Randvoorwaarde buitendijks [m]	Randvoorwaarde binnendijks	Neerslagfactor kruin [-]	Anisotropie [-]
Parametercombinatie 653	0.001	0.0001	-4.92	-4.91	0.79	5.94
Parametercombinatie 325	0.002	0.0003	-4.12	-4.94	0.62	5.59
Parametercombinatie 275	0.001	0.0007	-4.69	-4.50	0.64	1.28
Parametercombinatie 938	0.001	0.0001	-4.82	-4.89	0.40	5.61
Parametercombinatie 888	0.001	0.0002	-4.46	-4.08	0.14	8.79

De doorsnede die hoort bij het best presterende model is weergegeven in Figuur 4-13. Hierin is te zien dat de kruin volledig verzadigd is in de gekalibreerde situatie.



Figuur 4-13 Doorsnede van best presterende model van doorsnede O2. Elke lijn staat voor de gemodelleerde waterstand in een laag, waarin de bodem van de gemodelleerde laag staat aangegeven in de legenda [m NAP].

Validatie doorsnede U1

Voor doorsnede U1 zijn 3 meetpunten beschikbaar. De verschillen voor de 5 best presterende parametercombinaties zijn gegeven in Tabel 4-16. De afwijking in de ondiepe buitenkruin is in dit geval laag. In de diepe buitenkruin is de grondwaterstand te laag gemodelleerd en in de binnenteen is de grondwaterstand te hoog gemodelleerd.

Tabel 4-18 Afwijking met tussen model en meting voor best presterende parametercombinaties voor doorsnede U1. Negatief is een te laag modelresultaat, positief is een te hoog modelresultaat.

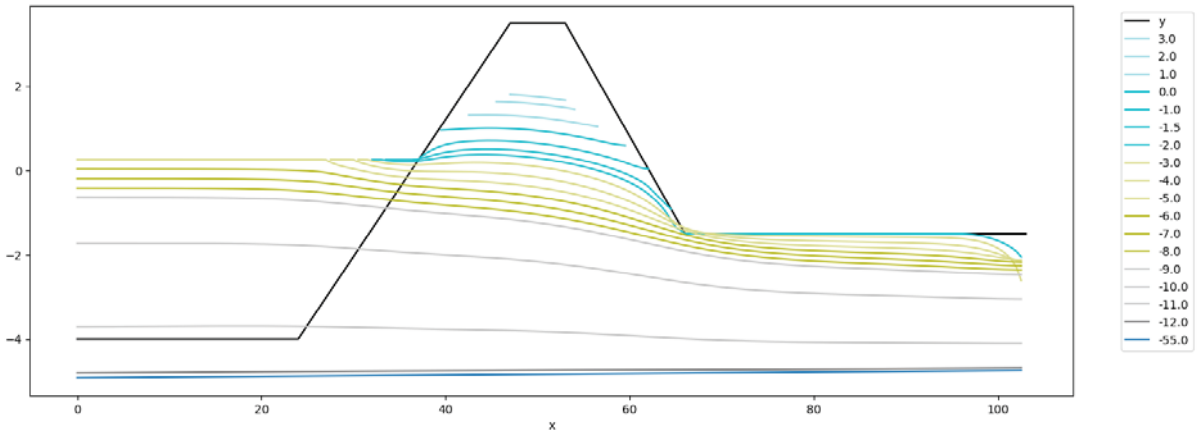
Parameterset	Afwijking BUKO [m]	Afwijking BUKD [m]	Afwijking BIKO [m]	Afwijking BIKD [m]	Afwijking BIT [m]	Afwijking AL [m]	Som absolute afwijking
Parametercombinatie 204	0.00	-0.27	x	x	1.27	x	1.55
Parametercombinatie 145	-0.01	-0.49	x	x	1.06	x	1.56
Parametercombinatie 245	0.04	-0.44	x	x	1.10	x	1.58
Parametercombinatie 660	-0.04	-0.24	x	x	1.30	x	1.58
Parametercombinatie 834	0.04	-0.83	x	x	0.73	x	1.60

De best presterende parametercombinaties zijn gegeven in Tabel 4-19. Hieruit volgt dat de doorlatendheden hier over het algemeen vrij laag zijn, met een maximale waarde van 0,016 m/d. Ook de doorlatendheid van de veenlaag is laag, met een maximum van 0,0004 m/d.

Tabel 4-19 Gebruikte parametercombinaties voor doorsnede U1

Modelnaam	Horizontale doorlatendheid klei [m/d]	Horizontale doorlatendheid veen [m/d]	Randvoorwaarde buitendijks [m]	Randvoorwaarde binnendijks	Neerslagfactor kruin [-]	Anisotropie [-]
Parametercombinatie 204	0.008	0.0003	-4.93	-4.75	0.74	3.60
Parametercombinatie 145	0.013	0.0004	-4.83	-4.69	0.88	5.89
Parametercombinatie 245	0.016	0.0002	-5.26	-4.87	0.76	9.96
Parametercombinatie 660	0.016	0.0002	-5.31	-4.76	0.84	6.15
Parametercombinatie 834	0.007	0.0003	-5.29	-5.12	0.50	7.69

De doorsnede die hoort bij het best presterende model is weergegeven in Figuur 4-14. Te zien is dat er in de kruin opbolling optreedt. Deze opbolling neemt af met de diepte.



Figuur 4-14 Doorsnede van best presterende model van doorsnede U1. Elke lijn staat voor de gemodelleerde waterstand in een laag, waarin de bodem van de gemodelleerde laag staat aangegeven in de legenda [m NAP].

Conclusie

In het algemeen laat de modellering een patroon zien dat goed overeenkomt met de metingen. Het effect van de gemodelleerde veenlaag is dat er een verschil ontstaat in de grondwaterstanden boven en onder de veenlaag, waarbij de grondwaterstanden boven de veenlaag hoger blijven. Bij doorsnede

O2 is een hogere grondwaterstand in de binnenkruin gemeten. Dit heeft als effect dat de kruin in dit model verzadigd is. Bij andere modellen treedt dit niet op.

5. Effectberekeningen

5.1. Berekende scenario's

Voor de effectberekeningen worden verschillende scenario's doorgerekend. Hierdoor worden de modellen aangepast. De aanpassingen bestaan uit het omzetten naar:

- Gevalideerde modellen inclusief constructieve maatregel
- Referentiemodellen voor het zichtjaar 2035. Dit gebeurt door de aanpassingen door te voeren die zijn besproken in paragraaf 4.3.6 Autonome ontwikkeling.
- Referentiemodellen voor het zichtjaar 2035 inclusief constructieve maatregel.
- Voor bovenstaande modellen zijn ook berekeningen uitgevoerd in een droge situatie.

De scenario's die hiermee zijn doorgerekend zijn de volgende:

- Huidige situatie met hoge grondwateraanvulling
- Huidige situatie met hoge grondwateraanvulling inclusief damwand in buitenkruin
- Huidige situatie met lage grondwateraanvulling
- Huidige situatie met lage grondwateraanvulling inclusief damwand in buitenkruin
- Autonome ontwikkeling met hoge grondwateraanvulling
- Autonome ontwikkeling met hoge grondwateraanvulling inclusief damwand in buitenkruin
- Autonome ontwikkeling met lage grondwateraanvulling
- Autonome ontwikkeling met lage grondwateraanvulling inclusief damwand in buitenkruin

In de modellering is gekeken naar voorkeursvariant met damwandplanken tot NAP-8 meter en varianten met damwandplanken tot NAP-4 meter en NAP -2 meter.

5.2. Samenvatting berekende effecten Type I

Een overzicht van de berekende effecten voor een natte situatie is gegeven in Tabel 5-2. Voor een droge situatie is dit gegeven in Tabel 5-3. In paragraaf 5.3 tot en met 5.8 worden de resultaten weergegeven voor de situatie met autonome ontwikkeling en een damwand tot NAP - 8 meter. De overige resultaten zijn weergegeven in Bijlage II en III.

Tabel 5-2 Verlaging in wintersituatie

Cluster	Damwanddiepte [m NAP]	Verlaging BIK [m]		verlaging BIT [m]		afstand BIK tot 5cm verlaging [m]	
		Huidig	Autonome ontwikkeling	Huidig	Autonome ontwikkeling	Huidig	Autonome ontwikkeling
E	**-2**	-0.07	-0.09	-0.01	-0.01	2.5	6.5
	-4	-0.16	-0.19	-0.03	-0.04	7	7.5
	-8	-0.35	-0.43	-0.09	-0.11	11.5	12.5
F	**-2**	-0.08	-0.11	-0.01	-0.02	5	8.5

	-4	-0.24	-0.30	-0.04	-0.05	11.5	13
	-8	-0.54	-0.64	-0.09	-0.13	15	16
I1	**-2**	-0.05	-0.06	0	0	0	3.5
	-4	-0.12	-0.14	0	0	18	18
	-8	-0.35	-0.38	-0.01	-0.01	28.5	25.5
M2	**-2**	-0.17	-0.19	-0.01	-0.01	9	9
	-4	-0.37	-0.44	-0.03	-0.05	12	14.5
	-8	-0.82	-0.92	-0.09	-0.17	17.5	18.5
O2*	**-2**	0.0	0.0	0.0.	0	0	0
	-4	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	-8	0.0	0.0	0.0	0	0	0
U1	**-2**	-0.06	-0.07	0	-0.01	3.5	3.5
	-4	-0.12	-0.14	-0.02	-0.02	7.5	8.5
	-8	-0.27	-0.31	-0.06	-0.07	13.5	14.5

* Verwacht wordt dat de effecten in de modellering hier worden onderschat

Tabel 5-3 Verlaging in zomersituatie

Cluster	**Damwanddiepte [m NAP]**	**Verlaging BIK [m]**		**verlaging BIT [m]**		**afstand BIK tot 5cm verlaging [m]**	
		Huidig	**Autonome ontwikkeling**	**Huidig**	**Autonome ontwikkeling**	**Huidig**	**Autonome ontwikkeling**
E	**-2**	-0.1	-0.14	-0.05	-0.06	9	24
	-4	-0.45	-0.54	-0.27	-0.32	42.5	43.5
	-8	-1.72	-1.91	-1.17	-1.30	44.5	44.5
F	**-2**	-0.14	-0.16	-0.07	-0.12	32.5	31.5
	-4	-0.66	-0.74	-0.43	-0.52	47	47.5
	-8	-2.63	-2.80	-1.74	-1.84	48.5	48.5
I1	**-2**	-0.05	-0.03	-0.02	0.0	0	0

	-4	-0.31	-0.33	-0.09	-0.08	49.5	52
	-8	-1.52	-1.59	-0.43	-0.45	57.5	58
M2	**-2**	-0.19	-0.23	-0.06	-0.06	15	20.5
	-4	-0.88	-0.97	-0.31	-0.34	36	37
	-8	-2.74	-2.88	-1.43	-1.57	38	38.5
O2*	**-2**	-0.12	-0.08	0.0	0.0	0.5	3.5
	-4	-0.66	-0.72	-0.01	-0.02	17	18.5
	-8	-1.25	-1.32	-0.03	-0.03	21	22
U1	**-2**	-0.18	-0.19	-0.07	-0.09	24	35
	-4	-0.72	-0.78	-0.36	-0.40	47.5	48
	-8	-2.01	-2.15	-1.31	-1.43	48.5	49

* Verwacht wordt dat de effecten in de modellering hier worden onderschat

5.3. Stijghoogte in het eerste watervoerende pakket en Type II

Stijghoogte

Door de plaatsing van een type I constructie wordt er geen verschil in stijghoogte in het eerste watervoerende pakket berekend. Deze constructie wordt niet in het eerste watervoerende pakket geplaatst, waardoor hier geen effect optreedt. De effecten van een type I constructie blijven dus beperkt tot de deklaag.

Type II

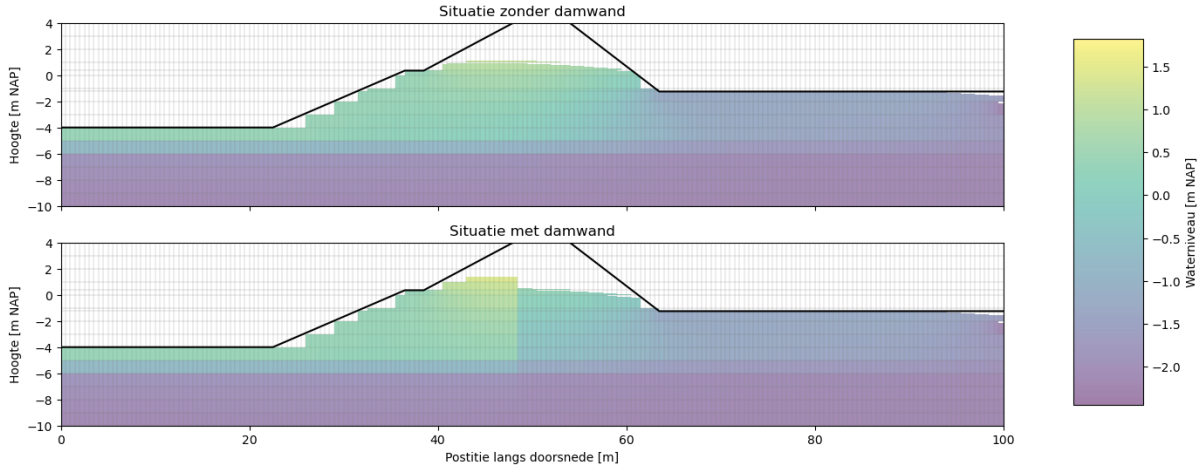
De effecten van een type II constructie zijn vergelijkbaar met een type I constructie. Zonder mitigerende maatregelen zullen dus bij het plaatsen van een type II constructie grondwatereffecten optreden in de zelfde orde van grootte als type I.

5.4. Doorsnede E

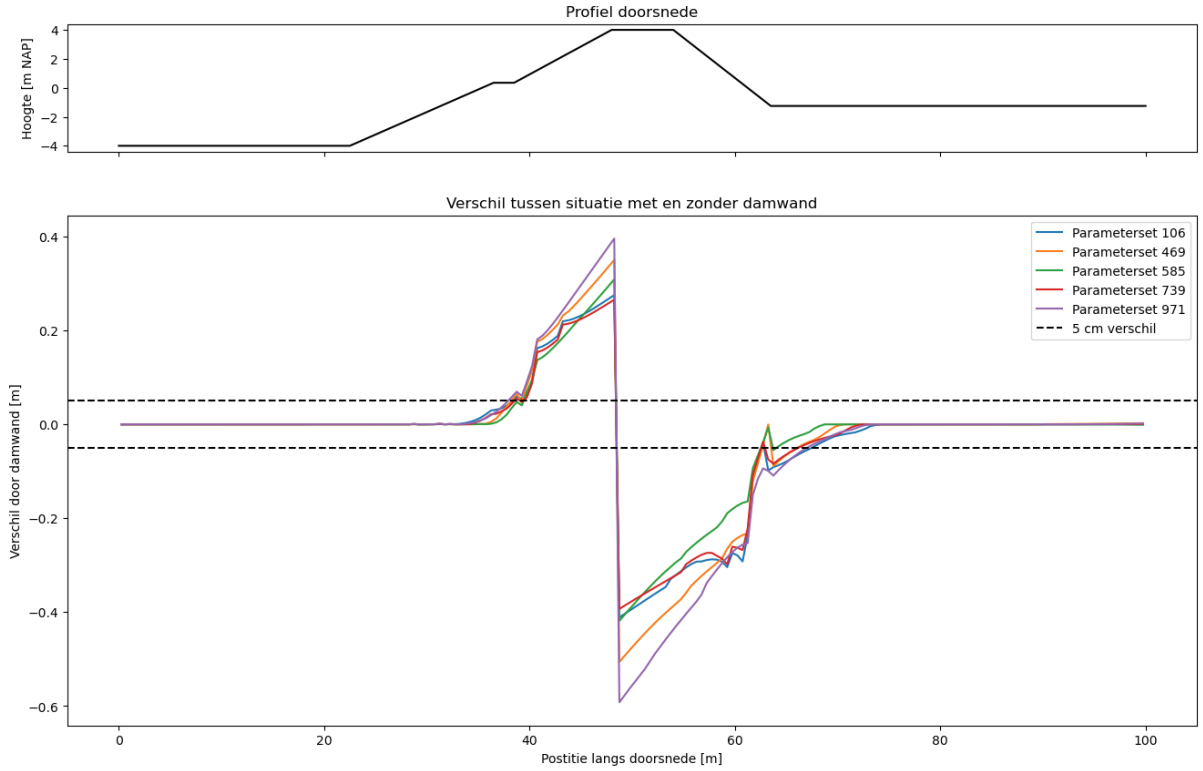
Natte periode

Voor doorsnede E blijkt dat er door het plaatsen van de damwand verschillen optreden. Deze verschillen zijn vooral zichtbaar in de kruin van de dijk. Voor de best presterende parameterset in de validatieset is dit verschil weergegeven in Figuur 5-1.

Aan de buitendijkse zijde vindt er een verhoging van de freatische grondwaterstand plaats, terwijl binnendijks zich een verlaging van de freatische grondwaterstand voordoet. In de modellering heeft de damwand effect tot ongeveer 20 meter afstand vanaf de damwand. Dit effect is zichtbaar in alle modellen die zijn gedraaid, zoals is weergegeven in Figuur 5-2. Verschillen bij de damwand zijn hier maximaal 60 centimeter.



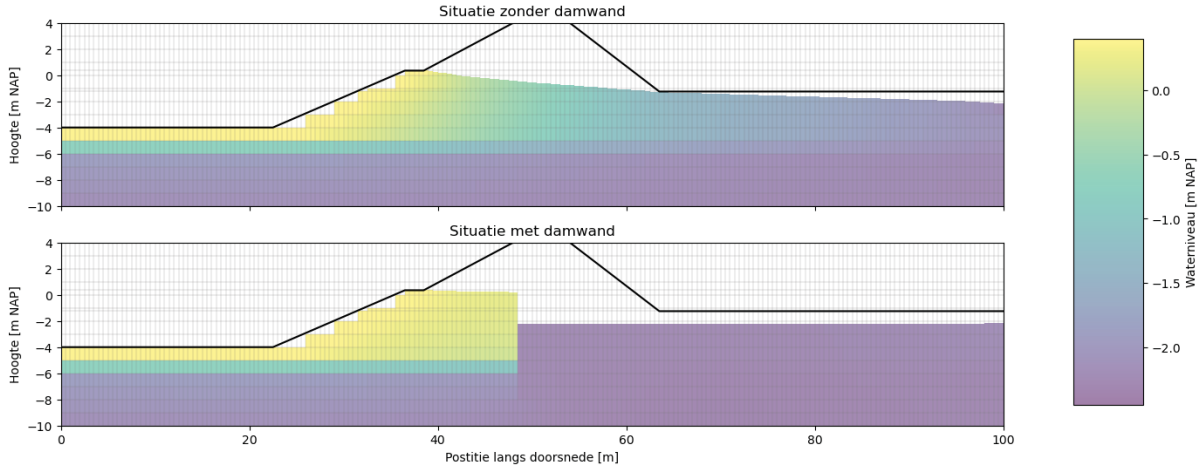
Figuur 5-1 Verschil tussen situatie zonder en met damwand tot NAP -8 meter voor parameterset 106



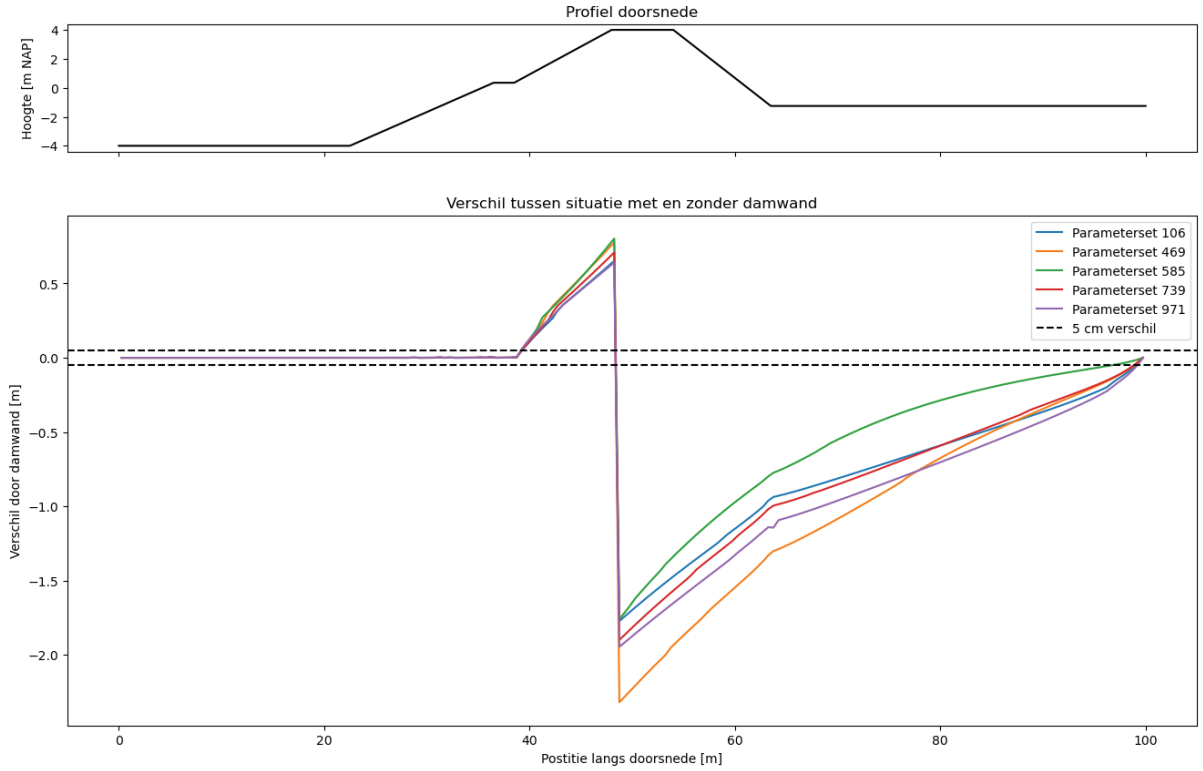
Figuur 5-2 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand tot NAP -8 meter in de buitenkruin voor doorsnede E

Droge periode

In het geval van een droge periode zijn de effecten die optreden bij doorsnede E groter dan in de situatie van een natte periode. Door de verminderde grondwateraanvulling is hierbij aanvulling vanuit de Hollandse IJssel in dit geval belangrijker. Er treden hier effecten op tot achter de binnenteen. Deze situatie is weergegeven voor 1 parameterset in Figuur 5-3. Een overzicht van de effecten op de freatische grondwaterstand voor alle parametersets is gegeven in Figuur 5-4.



Figuur 5-3 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 106 in het geval van een lage grondwateraanvulling



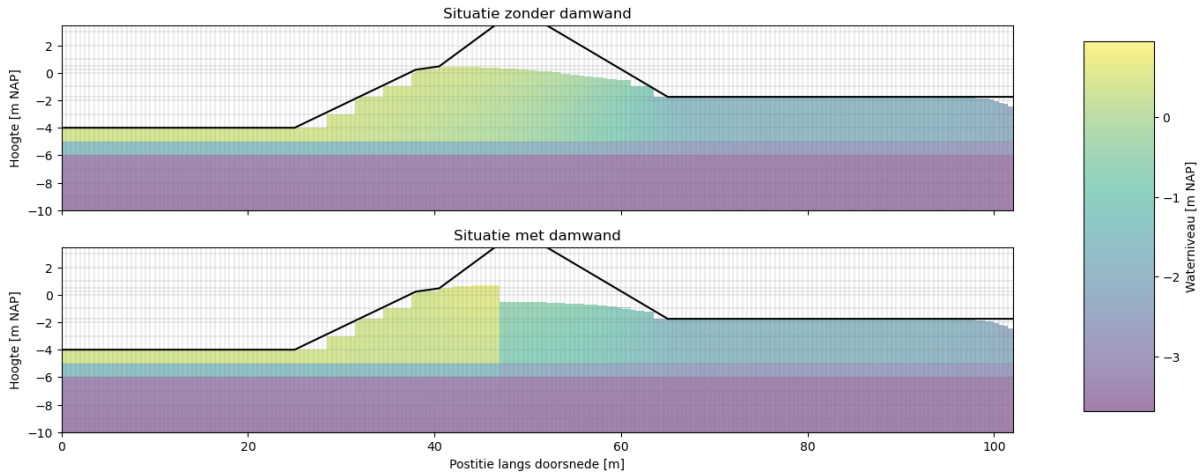
Figuur 5-4 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede E in het geval van een lage grondwateraanvulling

5.5. Doorsnede F

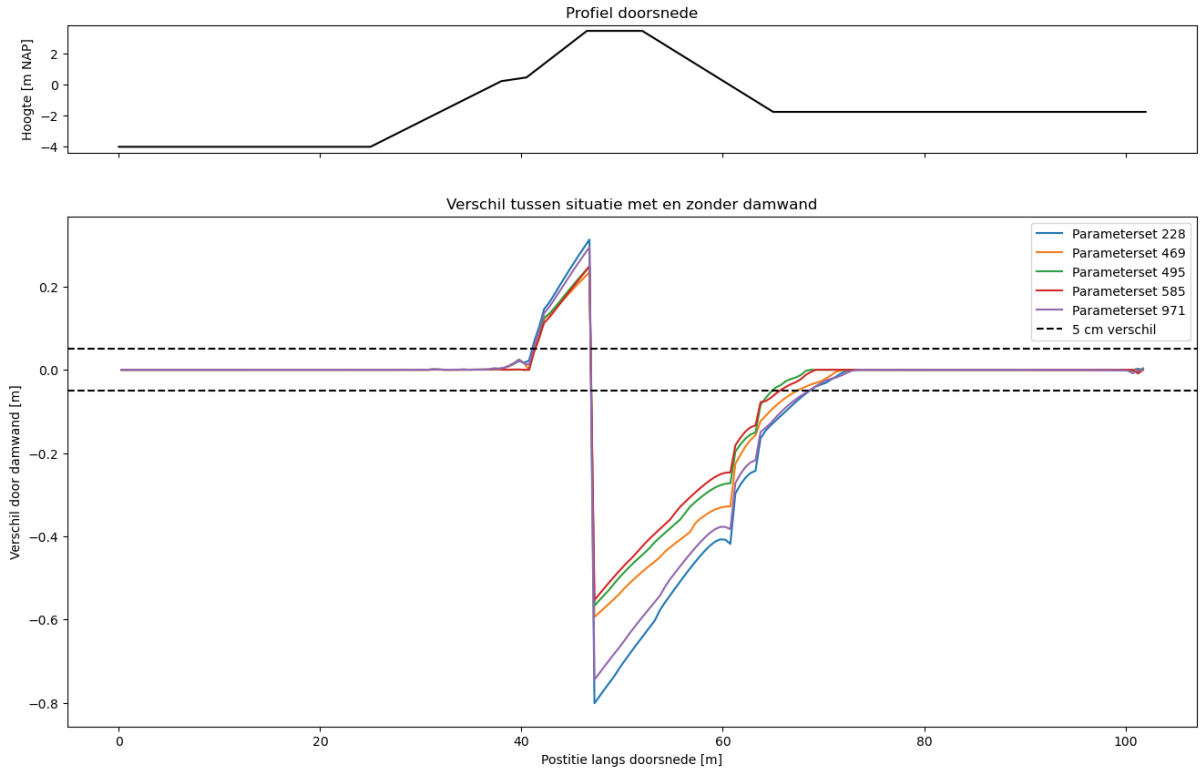
Natte periode

In doorsnede F treden door het plaatsen van de damwand beperkt effecten op. Deze verschillen doen zich voornamelijk voor in de kruin van de dijk. In Figuur 5-5 is dit weergegeven voor de best presterende parameterset uit de validatie.

Uit Figuur 5-6 volgt dat voor alle parametersets in de kruin effecten optreden in de freatische grondwaterstand.



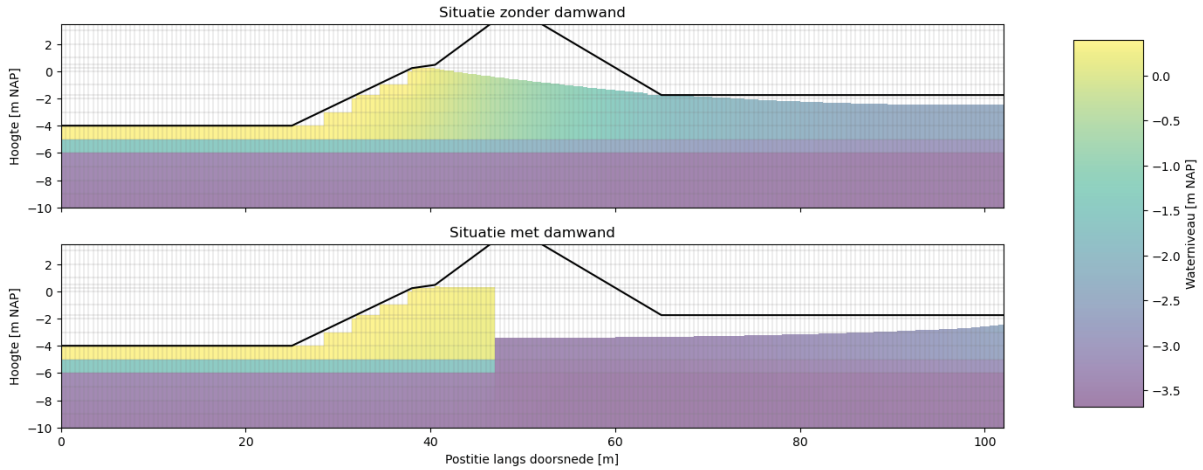
Figuur 5-5 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 971



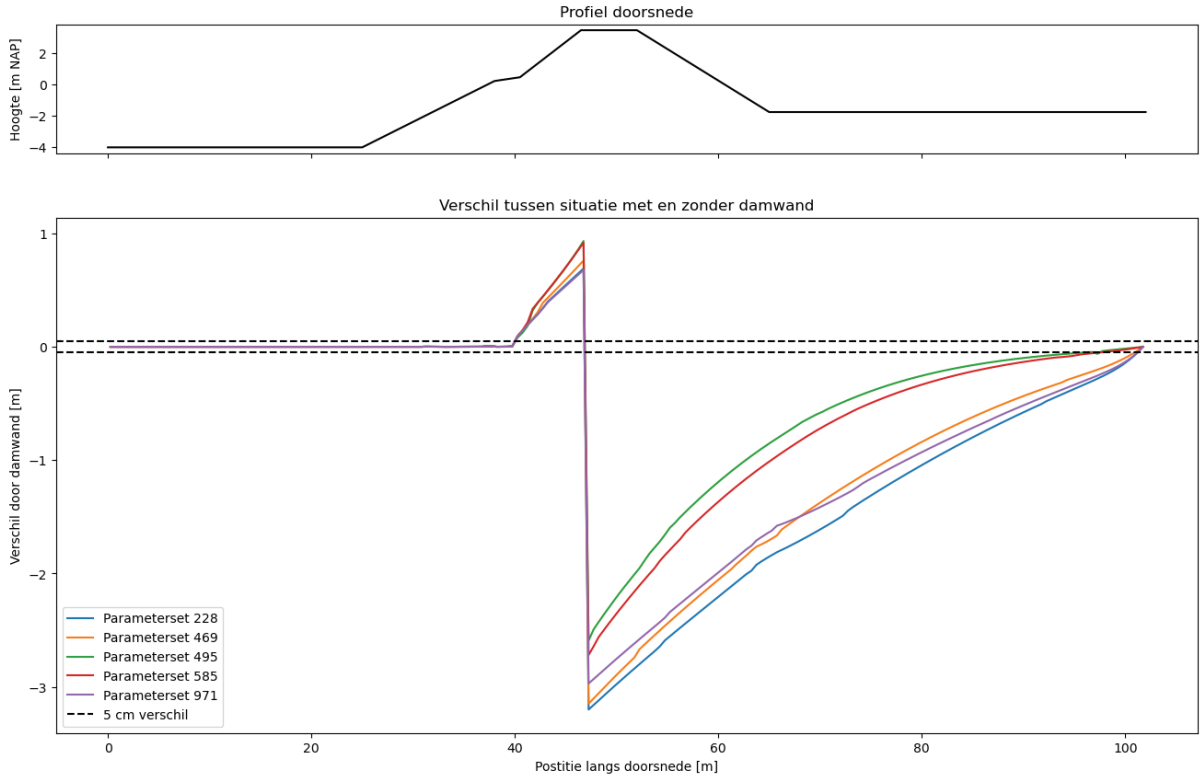
Figuur 5-6 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F

Droge periode

In het geval van een droge periode zijn de effecten die optreden bij doorsnede F groter dan in de situatie van een natte periode. Door de verminderde grondwateraanvulling is hierbij aanvulling vanuit de Hollandse IJssel in dit geval belangrijker. Er treden hier effecten op tot achter de binnenteen. Deze situatie is weergegeven voor 1 parameterset in Figuur 5-7. Een overzicht van de effecten op de freatische grondwaterstand voor alle parametersets is gegeven in Figuur 5-8.



Figuur 5-7 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 971 in het geval van een lage grondwateraanvulling



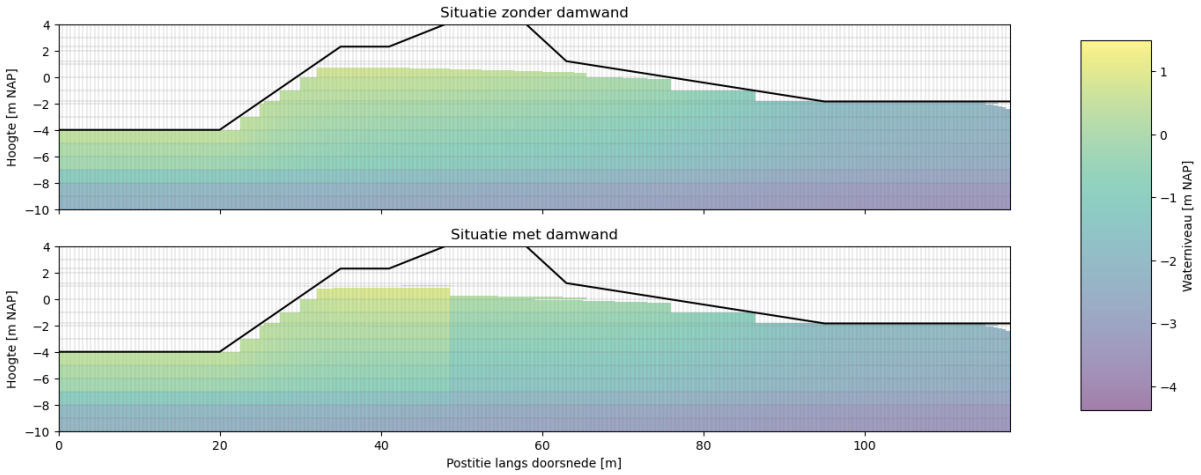
Figuur 5-8 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F in het geval van een lage grondwateraanvulling

5.6. Doorsnede I1

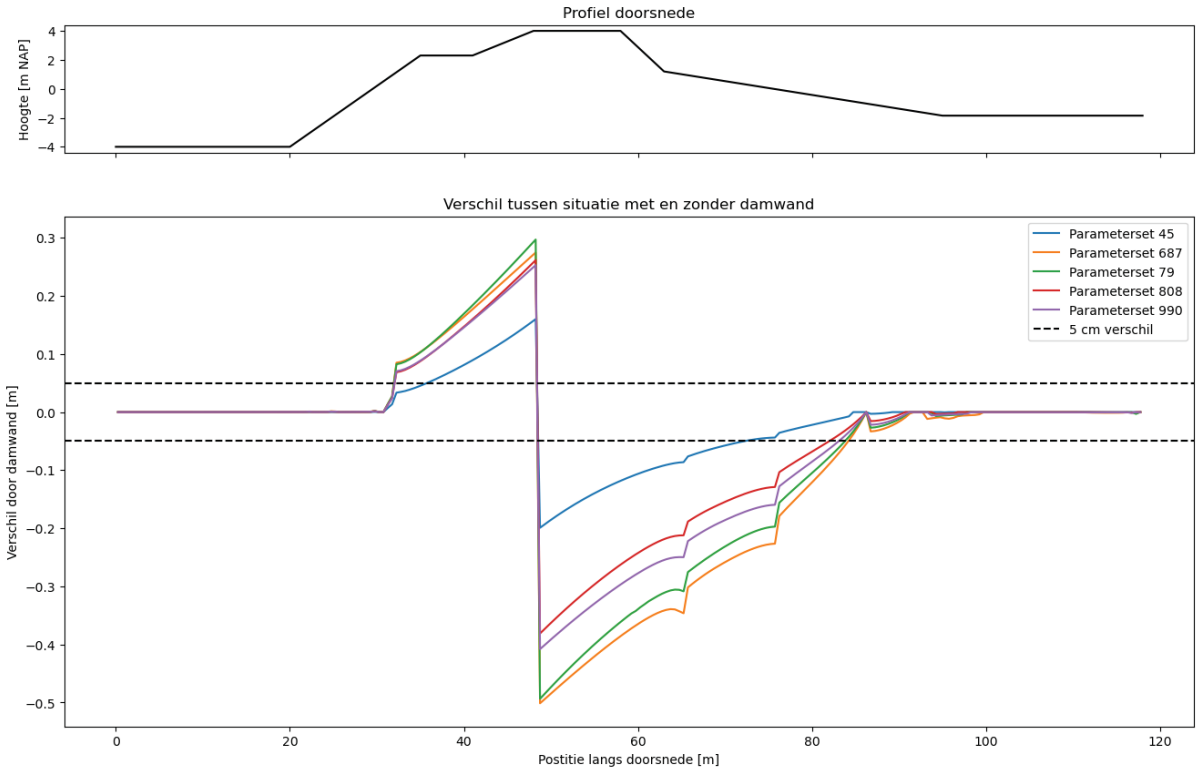
Natte periode

Voor doorsnede I1 zijn er in een natte periode beperkte effecten gemodelleerd door de toevoeging van een damwand. Deze effecten treden enkel op tot de binnenteen. De verschillen voor de 5 best presterende parametersets zijn gegeven in Figuur 5-10. Hieruit blijkt dat zich bij de damwand verschillen voordoen tot -0,50 meter.

Voor de best presterende parameterset is het verschil tussen een situatie zonder damwand en met damwand weergegeven in Figuur 5-9. Ook hieruit volgen voornamelijk verschillen tot in de binnenteen



Figuur 5-9 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808

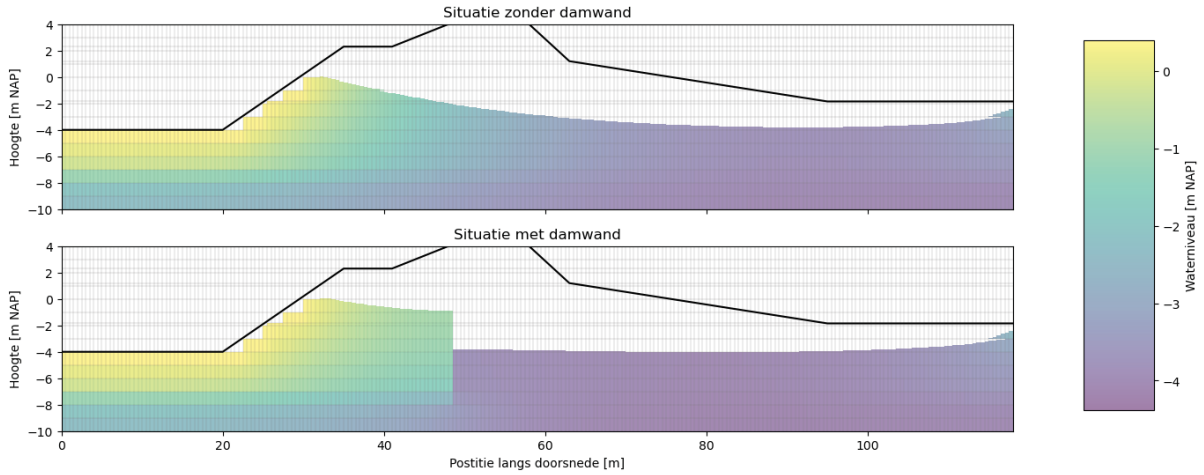


Figuur 5-10 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1

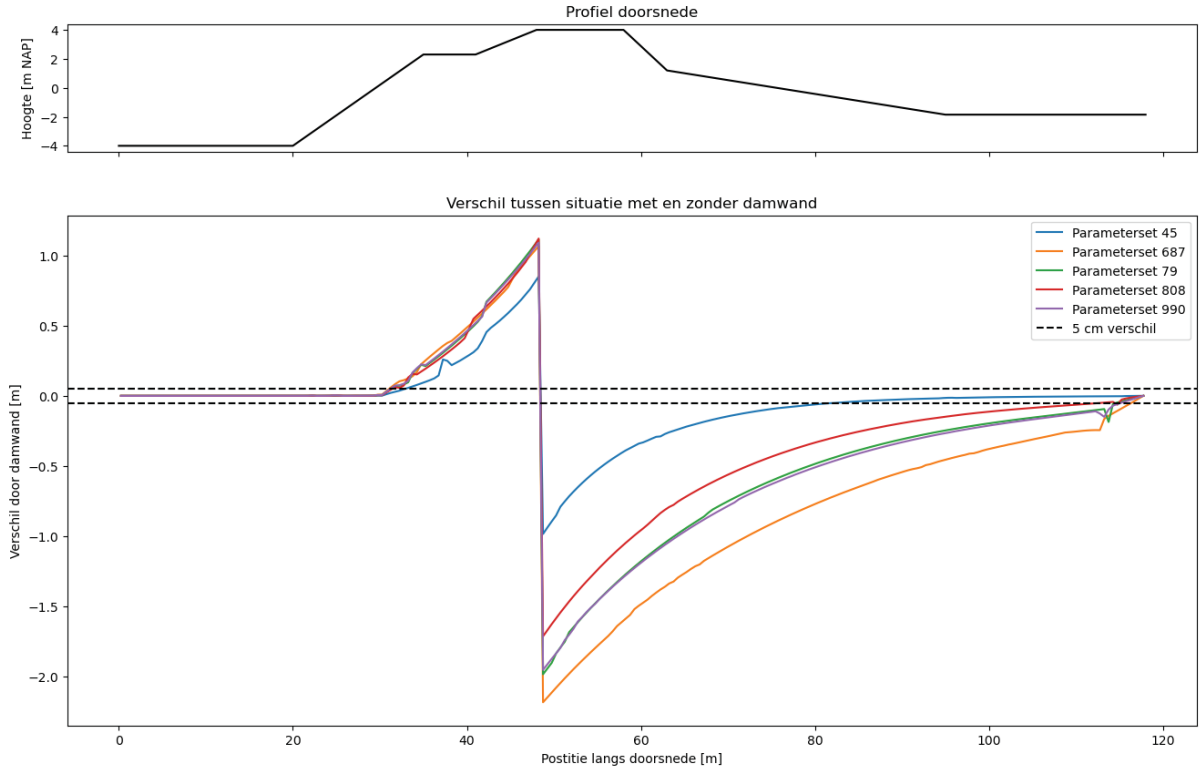
Droge periode

Door de plaatsing van een damwand worden in de droge periode grotere effecten gemodelleerd dan in een natte periode. De verschillen die worden gemodelleerd door de plaatsing van een damwand zijn voor de 5 best presterende parametersets weergegeven in Figuur 5-12. Hieruit volgen verschillen

die verder reiken dan in de natte periode zijn gemodelleerd. Voor de best presterende parameterset is het verschil weergegeven in Figuur 5-11.



Figuur 5-11 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808 in het geval van een lage grondwateraanvulling



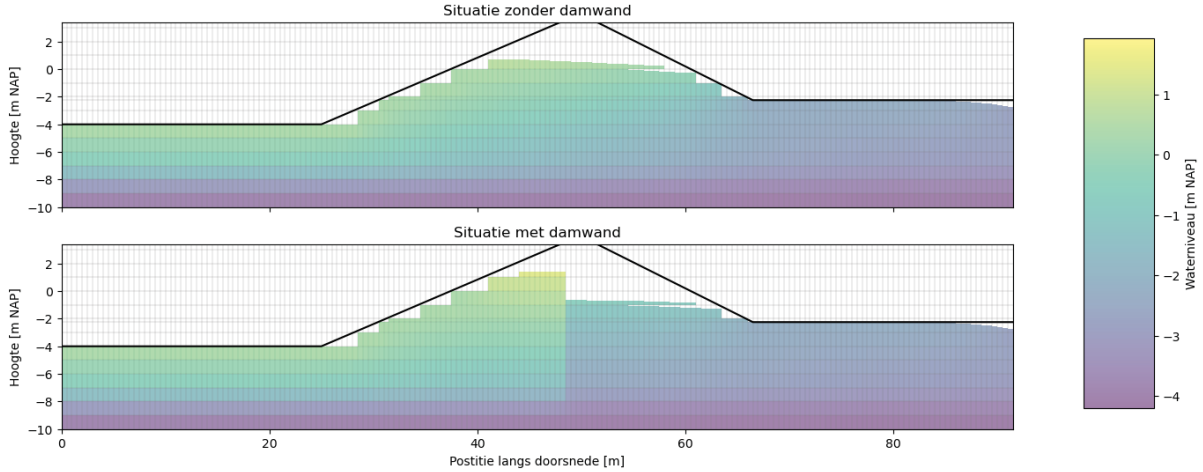
Figuur 5-12 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1 in het geval van een lage grondwateraanvulling

5.7. Doorsnede M2

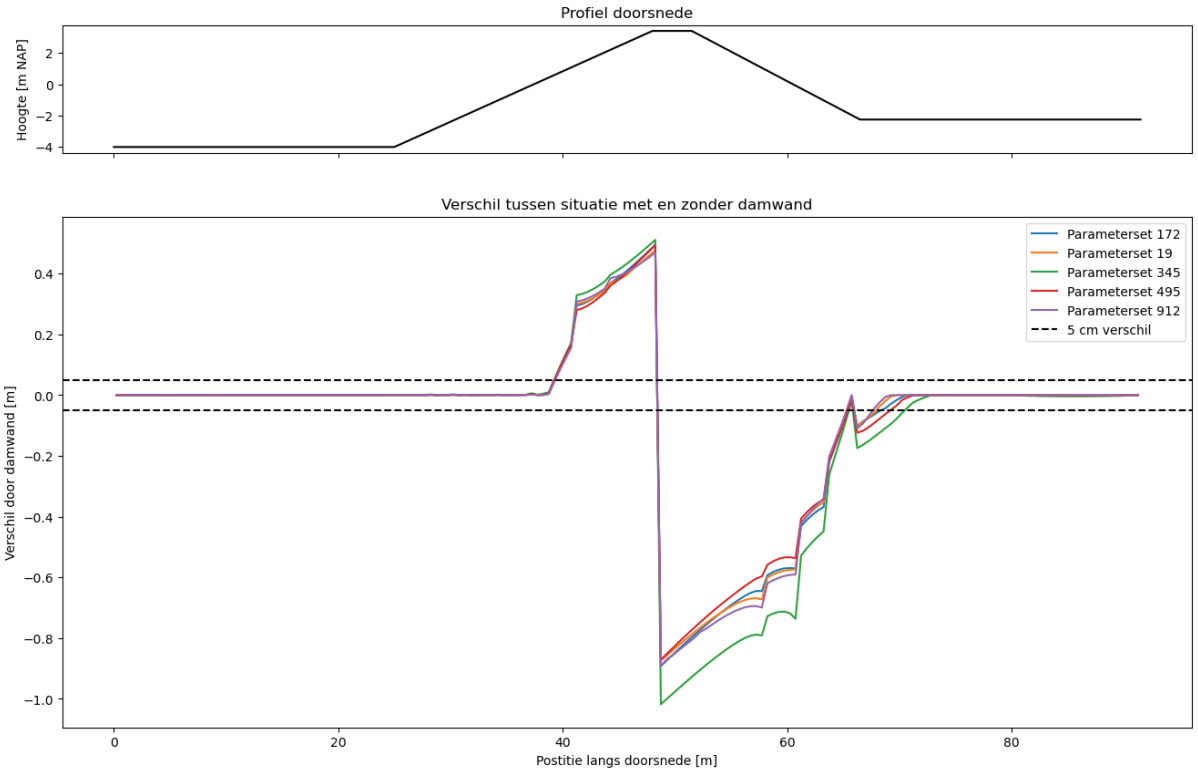
Natte periode

In doorsnede M2 treden in de modellering door het plaatsen van damwanden effecten op in de freatische grondwaterstanden. Een voorbeeld hiervan voor de best presterende parameterset is gegeven in Figuur 5-13.

In Figuur 5-14 is voor alle parametersets het verschil in freatische grondwaterstand weergegeven. De verschillen in grondwaterstand vinden voornamelijk plaats tot aan de binnenteen. De verschillen die hier worden gemodelleerd zijn maximaal ongeveer 1,00 meter ter plaatse van de damwand. Deze grotere verschillen dan gemodelleerd bij bijvoorbeeld doorsnede E kunnen verklaard worden door de lagere stijghoogte op deze locatie. Hierdoor kunnen de effecten van een verminderde stroming van binnendijks naar buitendijks groter zijn.



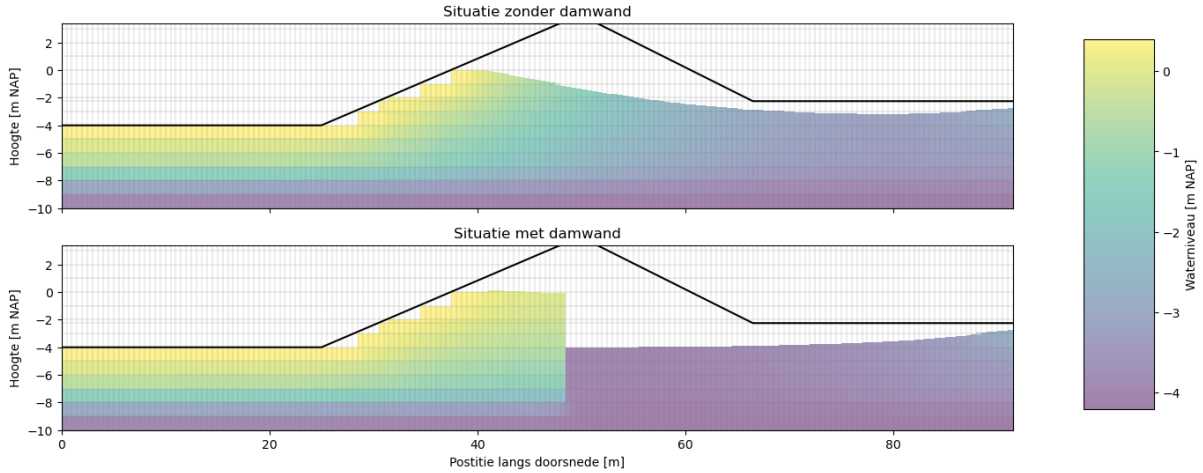
Figuur 5-13 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 19



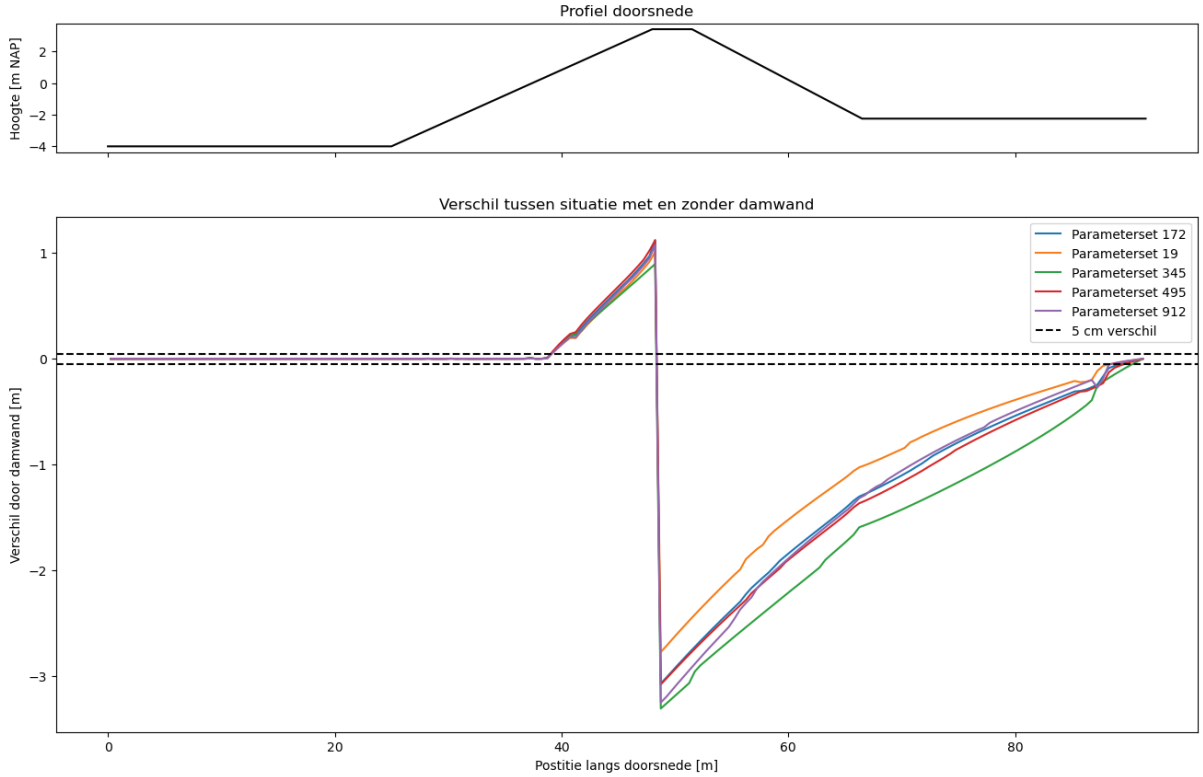
Figuur 5-14 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2

Droge periode

In het geval van een droge periode zijn de effecten die optreden bij doorsnede M2 groter dan in de situatie van een natte periode. Door de verminderde grondwateraanvulling is in de droge periode aanvulling vanuit de Hollandse IJssel belangrijker. Er treden hier effecten op tot achter de binnenteen. Deze situatie is weergegeven voor 1 parameterset in Figuur 5-15. Een overzicht van de effecten op de freatische grondwaterstand voor de 5 best presterende parametersets is gegeven in Figuur 5-16. Het effect van de binnendijkse randvoorwaarde lijkt hier groot te zijn. Hierdoor is het model gevoelig voor de waterstand in de teensloot. Het is mogelijk dat bij een lager praktijkpeil (waterstand teensloot) de grondwaterstandsverlaging in de praktijk verder verspreidt.



Figuur 5-15 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 19 in het geval van een lage grondwateraanvulling

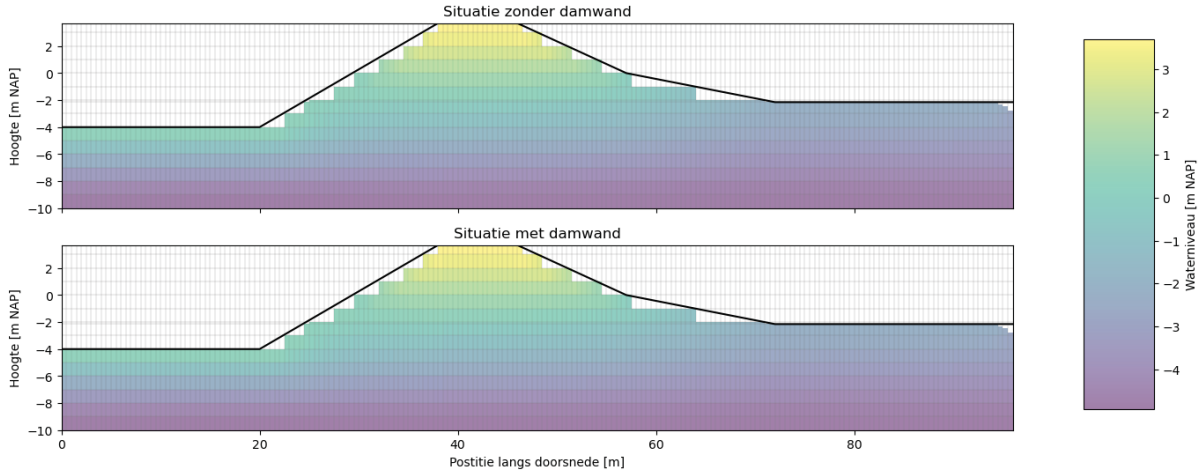


Figuur 5-16 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

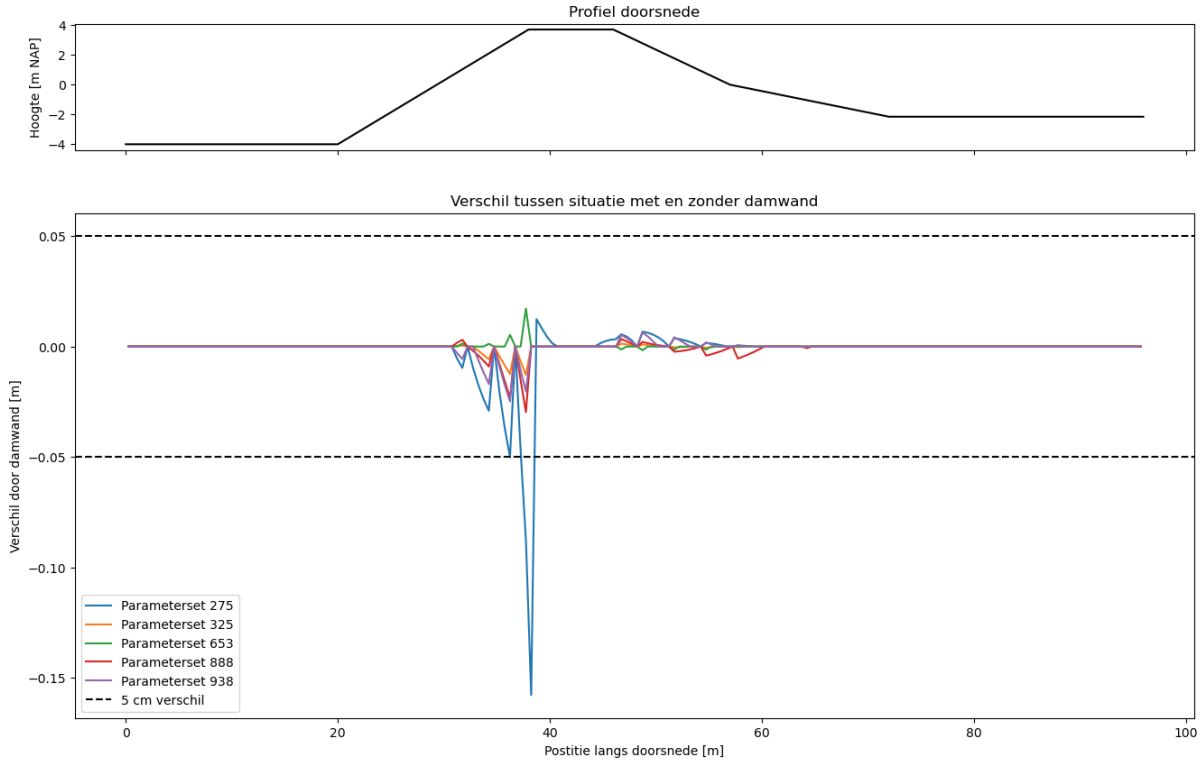
5.8. Doorsnede O2

Natte periode

In een natte periode worden voor doorsnede O2 geen verandering in grondwaterstand gemodelleerd, zoals is weergeven in Figuur 5-17. Een overzicht voor de 5 best presterende parametersets is weergegeven in Figuur 5-18. Eerder is al gebleken dat hier de meting van de grondwaterstand hoger is dan bij de overige metingen. Dit zorgt ervoor dat in de modellering de kruin verzadigd is. Verwacht wordt dat dit in werkelijkheid niet optreedt.



Figuur 5-17 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653

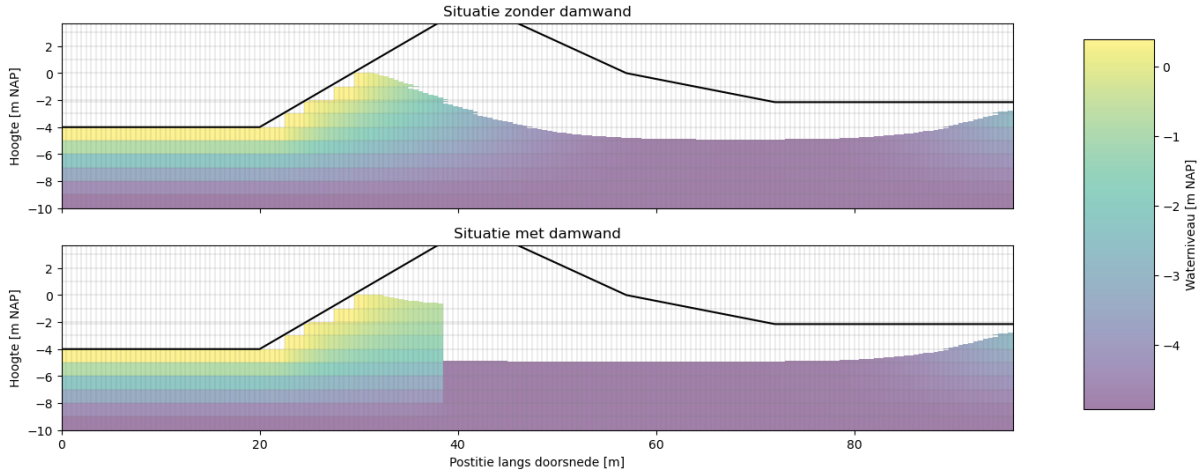


Figuur 5-18 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2

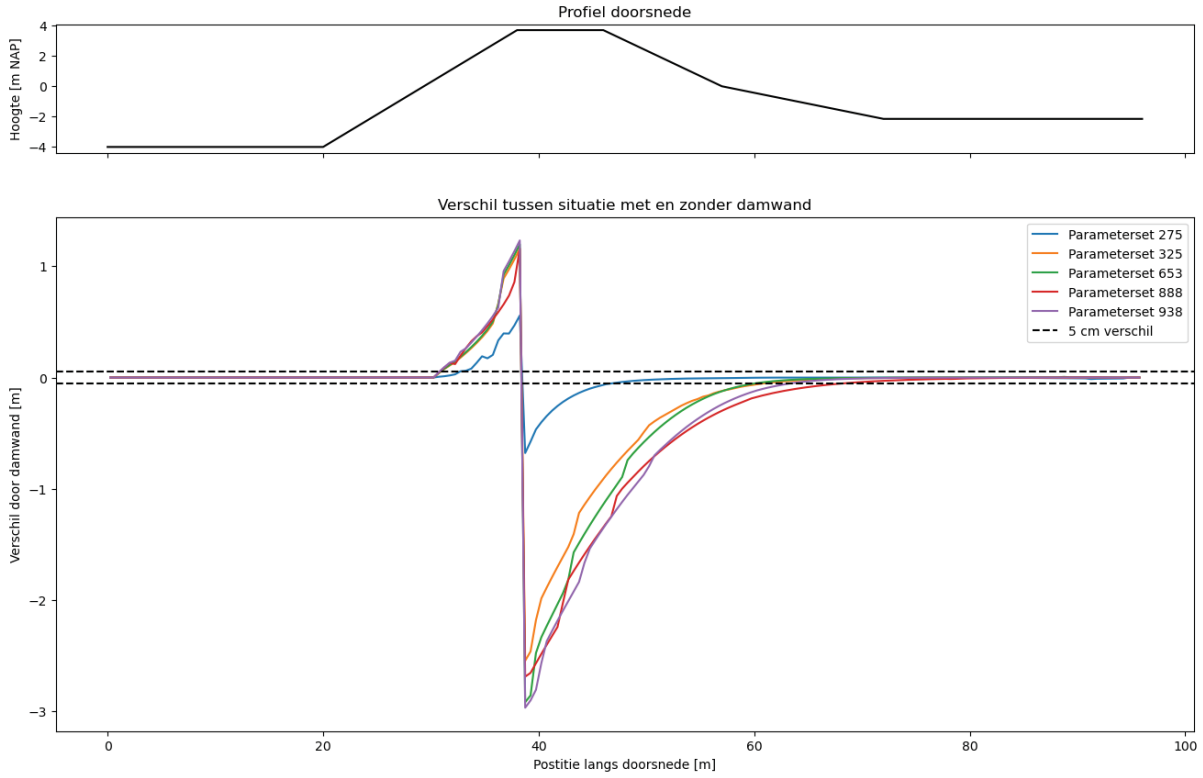
Droge periode

In de droge periode worden voor doorsnede O2 wel effecteng gemodelleerd. Vanwege het gebrek aan grondwateraanvulling is in dit geval geen sprake van een verzadigde kruin. Dit is te zien in Figuur 5-19.

In Figuur 5-20 is het gemodelleerde effect voor de 5 best presterende parametersets gegeven. Opvallend is dat in de meeste gevallen verschillen worden berekend van ongeveer 3,0 meter. Uitzondering hierop is parameterset 275. Bij deze parameterset neemt de grondwaterstand vanaf de Hollandse IJssel snel af. Hierdoor zijn er op de plek van de damwand minder effecten aanwezig.



Figuur 5-19 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653 in het geval van een lage grondwateraanvulling



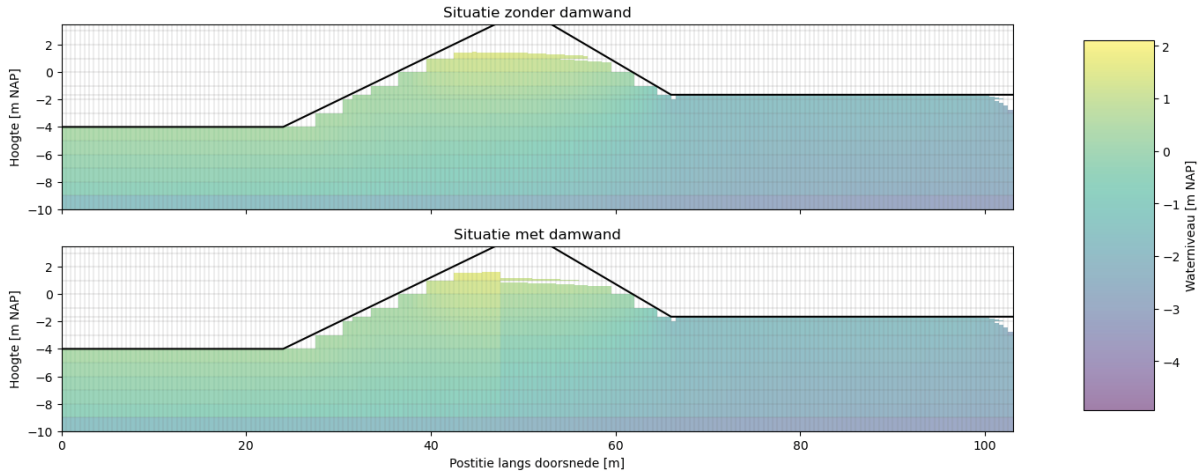
Figuur 5-20 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

5.9. Doorsnede U1

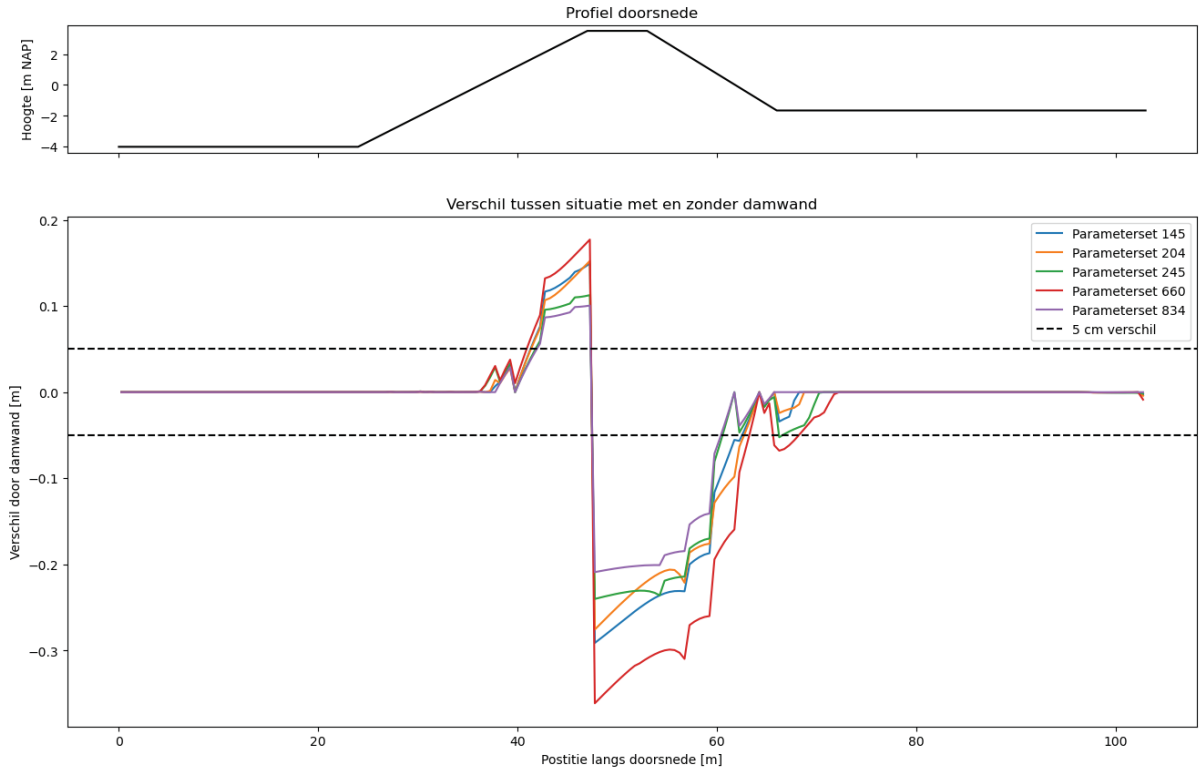
Natte periode

In doorsnede U1 treden door het plaatsen van de damwand beperkt effecten op. In Figuur 5-21 is dit weergegeven voor de best presterende parameterset uit de validatie. Hieruit blijkt dat in beide gevallen de freatische grondwaterstand in de kruin hoog is. Hier volgt een gemodelleerde afname van ongeveer 15 centimeter door de plaatsing van de damwand.

Uit Figuur 5-22 volgt dat voor bijna alle parametersets beperkt effecten optreden in de freatische grondwaterstand. De effecten reiken maximaal tot de binnenteen.



Figuur 5-21 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 204

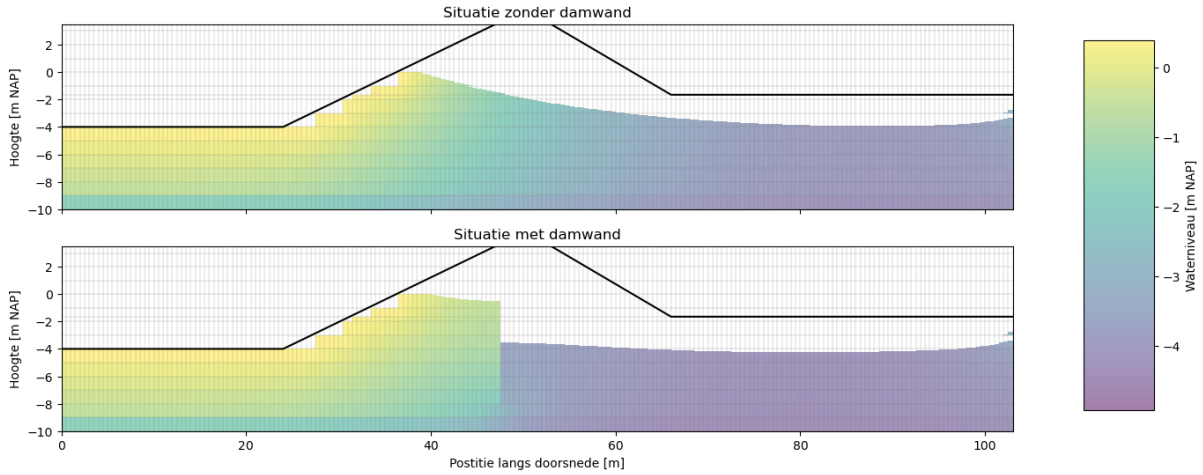


Figuur 5-22 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1

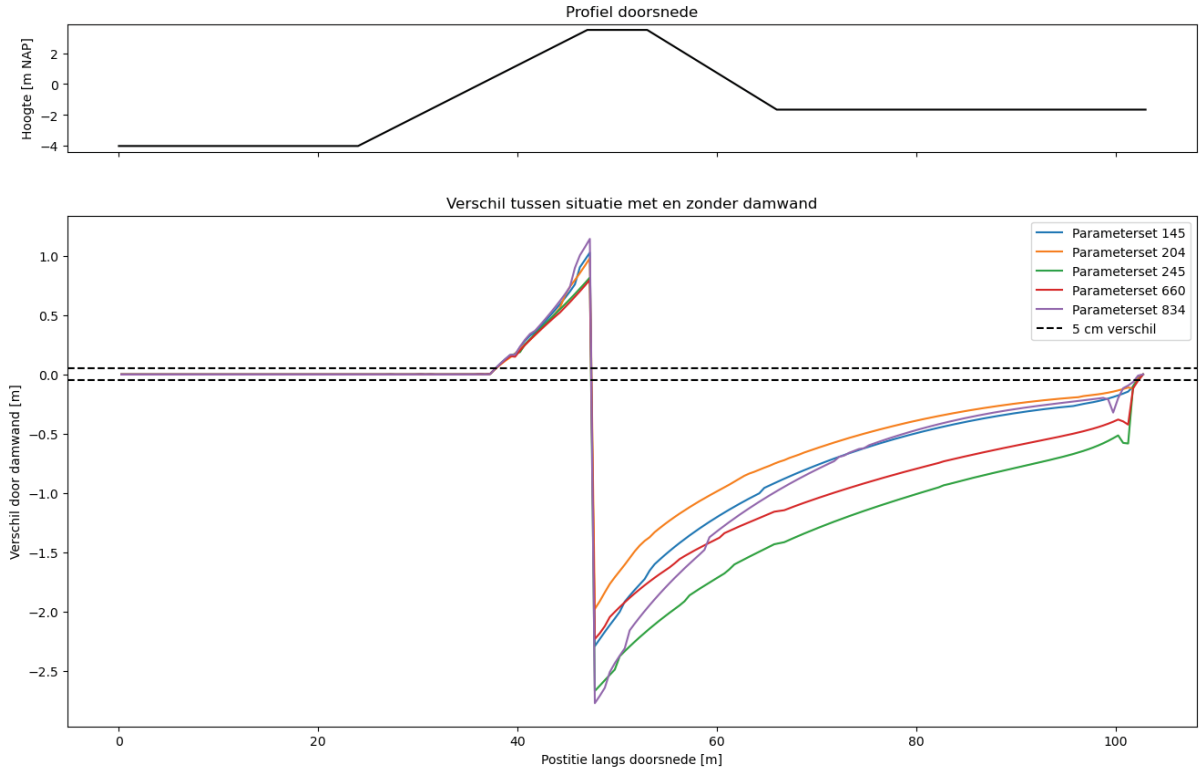
Droge periode

In het geval van een droge periode zijn de effecten die worden gemodelleerd bij doorsnede U1 groter dan in de situatie van een natte periode. Door de verminderde grondwateraanvulling is in dit geval

aanvulling vanuit de Hollandse IJssel belangrijker. Er treden daardoor in een droge periode effecten op tot achter de binnenteen. Daarbij is bij doorsnede U1 de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket ook laag. Dit is te merken in het gemodelleerde verschil in de freatische grondwaterstand, die hier bij de damwand ruim 2,0 meter wordt. Deze situatie is weergegeven voor 1 parameterset in Figuur 5-23. Vanwege druk onder de damwand door is er nog wel enige sprake van een aanvulling van buitendijks richting binnendijks. Een overzicht van de effecten op de freatische grondwaterstand voor alle parametersets is gegeven in Figuur 5-24.



Figuur 5-23 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 204 in het geval van een lage grondwateraanvulling

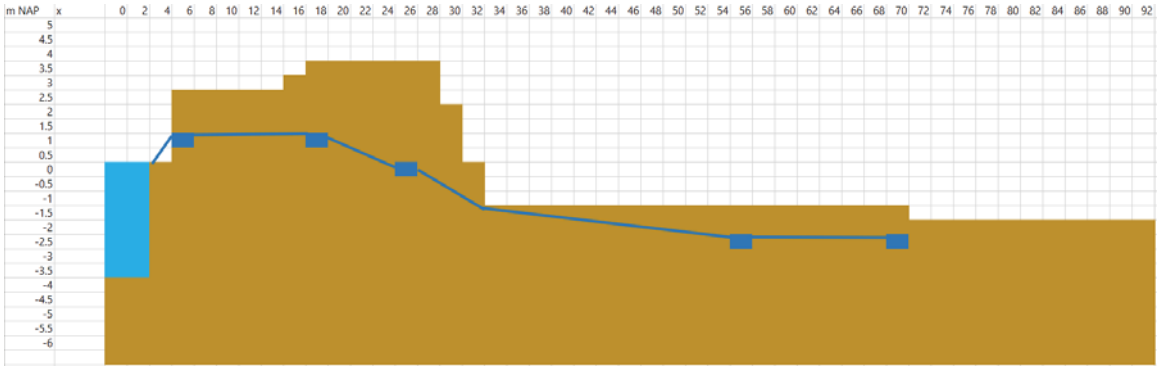


Figuur 5-24 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1 in het geval van geen grondwateraanvulling

6. Model naar werkelijkheid

De gemodelleerde effecten zijn op basis van 2D-dwarsdoorsnedemodellen. Deze effecten geven een indicatief beeld voor een bepaald cluster. Zoals eerder aangegeven zijn de effecten indicatie vanwege de heterogene bodemopbouw en het niet kunnen meenemen van lokale verschillen.

In Figuur 6-1 is een schematische overzichtsdoorsnede weergegeven met metingen. Dit laat een beeld zien van hogere waterstanden bij het buitentalud, welke lager worden naarmate de afstand tot de IJssel groter wordt. Dit is vergelijkbaar met wat volgt uit de modelstudie.



Figuur 6-1 Doorsnede dijkprofiel inclusief grondwaterstanden bepaald aan de hand van metingen. Blauwe blokjes zijn meetpunten.

Door te werken met bandbreedtes en conservatieve keuzes (zoals niet meenemen van drainage, het stationair rekenen en het modelleren van een doorsnede ter plaatse van maatgevende locatie) kan worden aangenomen dat de effecten een algemeen beeld geven dat voldoende toereikend is voor een MER effectenbeoordeling.

In de modellering is uitgegaan van een stationaire berekening. Hierdoor wordt er uitgegaan van een langdurige periode zonder neerslag. In werkelijkheid kan het zijn dat een deel van de opbolling in de winter resteert, waardoor de effecten in de modellering worden overschat.

In de huidige modellering is uitgegaan van een veenlaag, welke een hogere weerstand heeft dan de bovenliggende kleilaag. Deze veenlaag zorgt ervoor dat het water minder gemakkelijk naar het watervoerend pakket stroomt. Als blijkt dat de veenlaag in de praktijk afwezig is of zich op een andere diepte bevindt dan kunnen de resultaten afwijken. De afwijking in verlaging bij de BIT is dan enkele centimeters tot maximaal paar decimeter extra verlaging. Dat komt omdat de druk ter plaatse van de damwand met veenlaag hoger is dan zonder veenlaag. Hierdoor zal de freatische grondwaterstand binnendijks van de damwand relatief hoog blijven. Indien de veenlaag afwezig is, zal de druk ter plaatse van de damwand lager zijn. Hierdoor zal de binnendijkse verlaging groter zijn bij afwezigheid van de veenlaag.

7. Conclusies

Het doel van deze studie is het bepalen van het effect van de dijkversterking op freatische grondwaterstanden en waterspanningen in de dijk en het achterland. Dit is gedaan voor damwanddieptes tot NAP - 8 meter, NAP - 4 meter en NAP - 2 meter. Er worden voor een natte en een droge situatie verschillen grondwaterstandsveranderingen gemodelleerd.

Uit de modellering blijkt dat in een situatie met een hoge grondwateraanvulling (wintersituatie) effecten kunnen worden verwacht in de binnenteen en kruin van de dijk. Deze effecten kunnen overal langs de dijk optreden. De indicatieve effecten zijn weergegeven in Tabel 7-1.

In een situatie met een lage grondwateraanvulling (zomersituatie) zijn de gemodelleerde effecten groter en is het invloedsgebied groter. Dit komt omdat in het geval van een lage grondwateraanvulling de invloed van de Hollandse IJssel groter is. De indicatieve effecten zijn samengevat weergegeven in Tabel 7-2.

Tabel 7-1 Verlaging in wintersituatie

Cluster	Damwanddiepte [m NAP]	Verlaging BIK [m]		verlaging BIT [m]		afstand BIK tot 5cm verlaging [m]	
		Huidig	Autonome ontwikkeling	Huidig	Autonome ontwikkeling	Huidig	Autonome ontwikkeling
E	**-2**	-0.07	-0.09	-0.01	-0.01	2.5	6.5
	-4	-0.16	-0.19	-0.03	-0.04	7	7.5
	-8	-0.35	-0.43	-0.09	-0.11	11.5	12.5
F	**-2**	-0.08	-0.11	-0.01	-0.02	5	8.5
	-4	-0.24	-0.30	-0.04	-0.05	11.5	13
	-8	-0.54	-0.64	-0.09	-0.13	15	16
I1	**-2**	-0.05	-0.06	0	0	0	3.5
	-4	-0.12	-0.14	0	0	18	18
	-8	-0.35	-0.38	-0.01	-0.01	28.5	25.5
M2	**-2**	-0.17	-0.19	-0.01	-0.01	9	9
	-4	-0.37	-0.44	-0.03	-0.05	12	14.5
	-8	-0.82	-0.92	-0.09	-0.17	17.5	18.5
O2*	**-2**	0.0	0.0	0.0.	0	0	0
	-4	0.0	0.0	0.0	0	0	0
	-8	0.0	0.0	0.0	0	0	0
U1	**-2**	-0.06	-0.07	0	-0.01	3.5	3.5
	-4	-0.12	-0.14	-0.02	-0.02	7.5	8.5
	-8	-0.27	-0.31	-0.06	-0.07	13.5	14.5

* Verwacht wordt dat de effecten in de modellering hier worden onderschat

Tabel 7-2 Verlaging in zomersituatie

Cluster	Damwanddiepte [m NAP]	Verlaging BIK [m]		verlaging BIT [m]		afstand BIK tot 5cm verlaging [m]	
		Huidig	Autonome ontwikkeling	Huidig	Autonome ontwikkeling	Huidig	Autonome ontwikkeling
E	**-2**	-0.1	-0.14	-0.05	-0.06	9	24
	-4	-0.45	-0.54	-0.27	-0.32	42.5	43.5
	-8	-1.72	-1.91	-1.17	-1.30	44.5	44.5
F	**-2**	-0.14	-0.16	-0.07	-0.12	32.5	31.5
	-4	-0.66	-0.74	-0.43	-0.52	47	47.5
	-8	-2.63	-2.80	-1.74	-1.84	48.5	48.5
I1	**-2**	-0.05	-0.03	-0.02	0.0	0	0
	-4	-0.31	-0.33	-0.09	-0.08	49.5	52
	-8	-1.52	-1.59	-0.43	-0.45	57.5	58
M2	**-2**	-0.19	-0.23	-0.06	-0.06	15	20.5
	-4	-0.88	-0.97	-0.31	-0.34	36	37
	-8	-2.74	-2.88	-1.43	-1.57	38	38.5
O2*	**-2**	-0.12	-0.08	0.0	0.0	0.5	3.5
	-4	-0.66	-0.72	-0.01	-0.02	17	18.5
	-8	-1.25	-1.32	-0.03	-0.03	21	22
U1	**-2**	-0.18	-0.19	-0.07	-0.09	24	35
	-4	-0.72	-0.78	-0.36	-0.40	47.5	48
	-8	-2.01	-2.15	-1.31	-1.43	48.5	49

* Verwacht wordt dat de effecten hier worden onderschat

Het is de verwachting dat de effecten in doorsnede O2 voor alle scenario's en varianten groter is dan gemodelleerd. De kruin is in het model bij doorsnede O2 namelijk bijna volledig verzadigd. Dit is in werkelijkheid niet waarschijnlijk. De verwachting is dat de effecten ergens ligt tussen de berekende effecten bij doorsnede O2 en de overige doorsnedes.

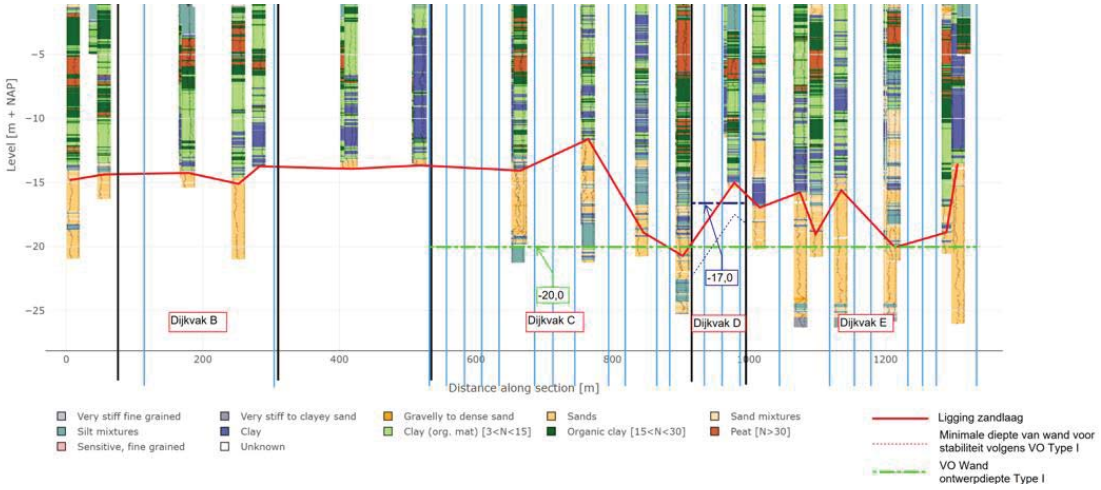
In de modellering is uitgegaan van een stationaire berekening. Hierdoor wordt er uitgegaan van een langdurige periode zonder neerslag. In werkelijkheid kan het zijn dat een deel van de opbolling in de winter resteert, waardoor de effecten in de modellering worden overschat.

8. Referenties

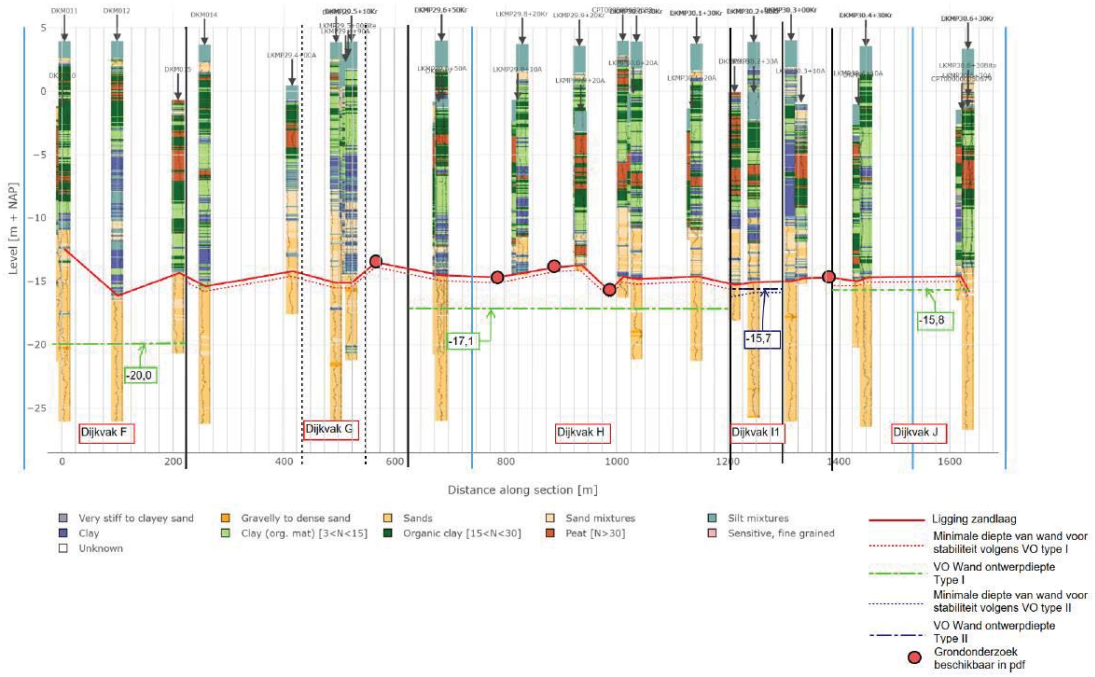
1 Bartholomeus, R., Voortman, B., Witte, F., 2010, De Toekomstige Grondwateraanvulling, H2O.
2 Bot, B., 2011, Grondwaterzakboekje
3 KIGO, 2021, Ligging draagkrachtige zandlaag langsconstructies
4 KIGO, 2022, Tekening ontwerp
5 KNMI, nd, dagwaarden neerslagstations. Beschikbaar via https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/monv/reeksen, geraadpleegd op 16 februari 2022.
6 KNMI, nd, dagwaarden weerstations. Beschikbaar via https://daggegevens.knmi.nl/klimatologie/daggegevens
7 Kroes, J.G.; Schaap, J.D.; Bolt, F.J.E. van der; Wolleswinkel, R.J.; Roelsma, J.; Schoumans, O.F.; Siderius, C.; Leenders, T.P., 2008, Systeemanalyse voor het stroomgebied de Krimpenerwaard fase 3
8 NHI, nd, NHI Data Portaal. Beschikbaar via https://data.nhi.nu/, geraadpleegd op 17 februari 2022
9 Rijkswaterstaat, nd, Hollandsche IJssel. Beschikbaar via https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/hollandsche-ijssel, geraadpleegd op 23 februari 2022.
10 TNO, nd, GeoTOP
11 TNO, nd, REGIS II v2.2
12 TNO, 1995, Isohypsen
13 WABES, nd, Instrument waterbeschikbaarheid hoofdwatersysteem, beschikbaar via: https://wabes.nl/#!/wabes.

Bijlage I: Overzicht sonderingen

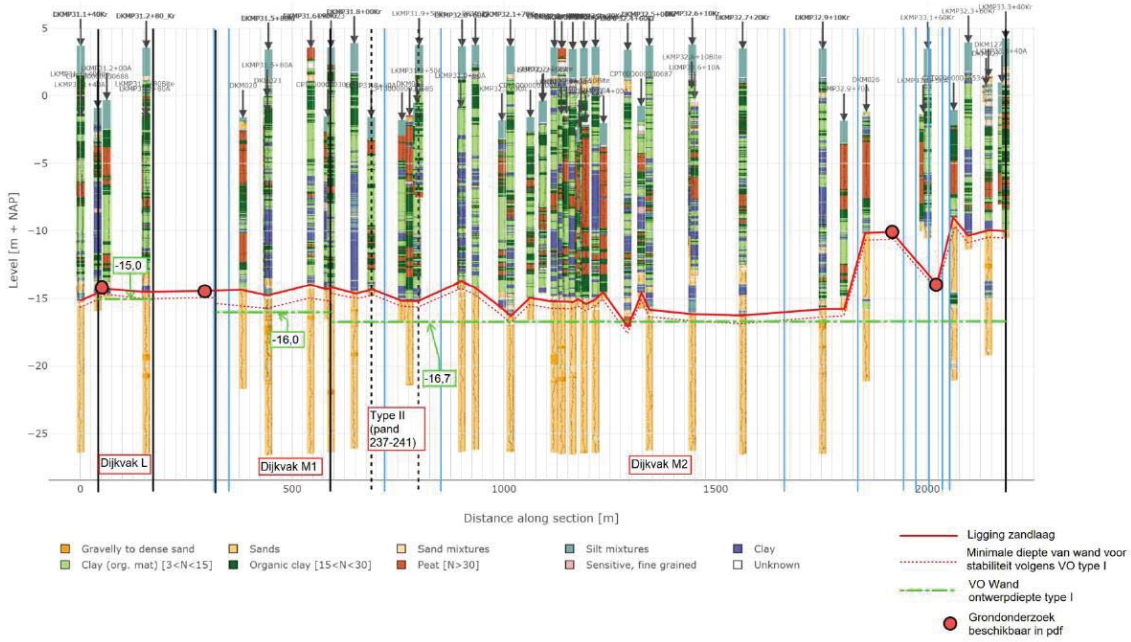
Afbeelding I.1 Sonderingen dijkvak B tot en met dijkvak E



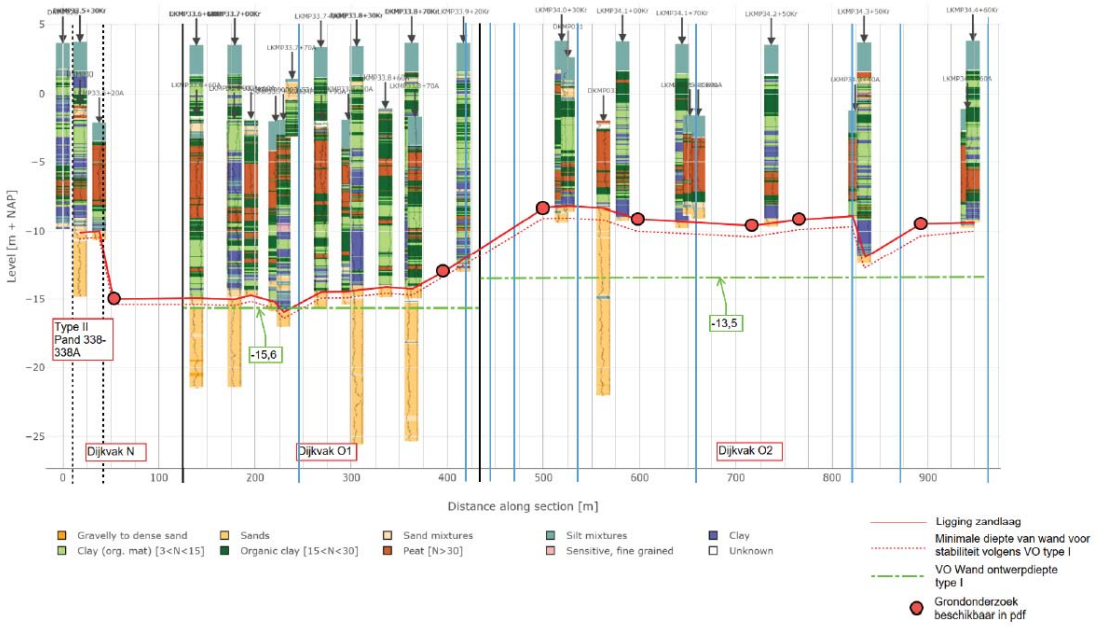
Afbeelding I.2 Sonderingen dijkvak F tot en met dijkvak J



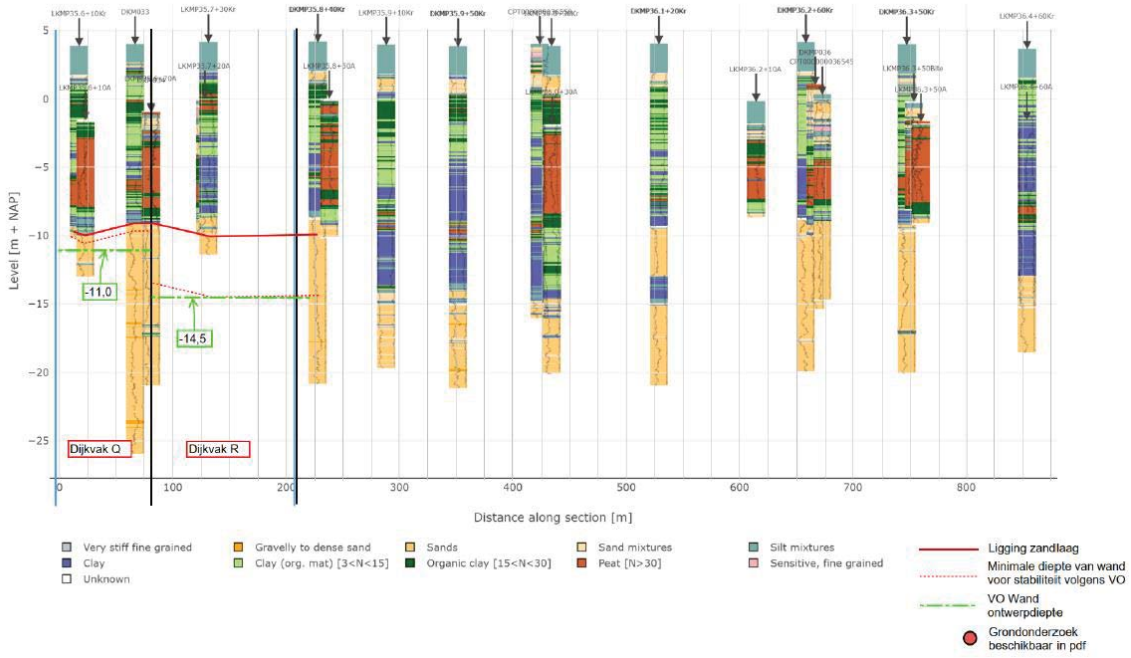
Afbeelding I.3 Sonderingen dijkvak L tot en met dijkvak M2



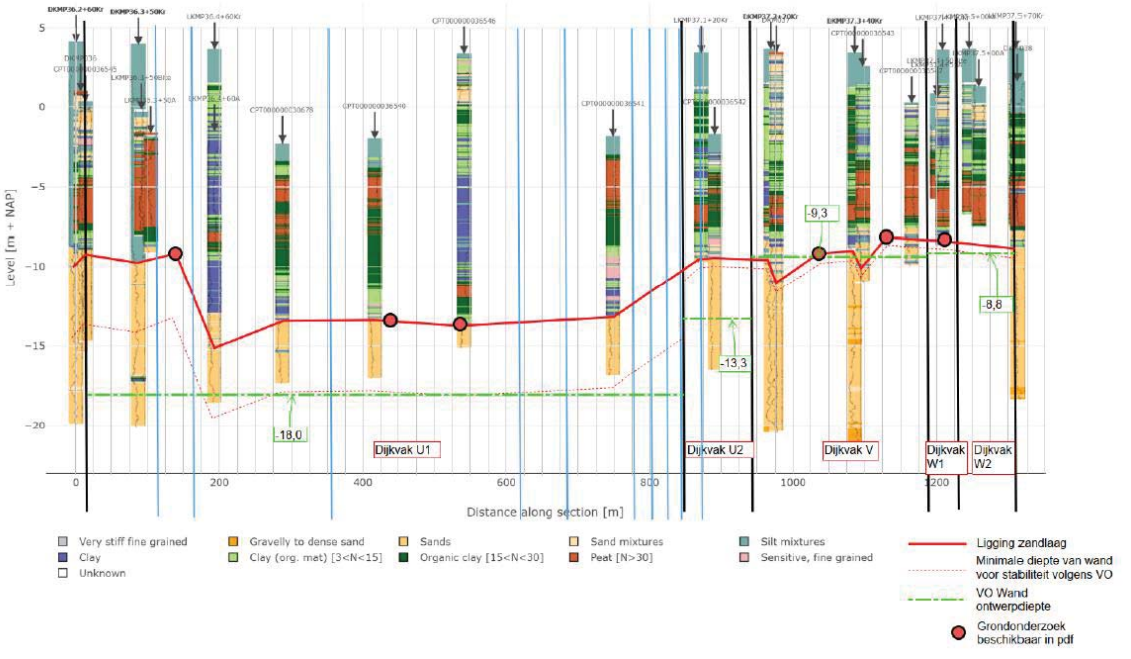
Afbeelding I.4 Sonderingen dijkvak N tot en met dijkvak O2



Afbeelding I.5 Sonderingen dijkvak Q tot en met dijkvak T



Afbeelding I.6 Sonderingen dijkvak U1 tot en met dijkvak W2s

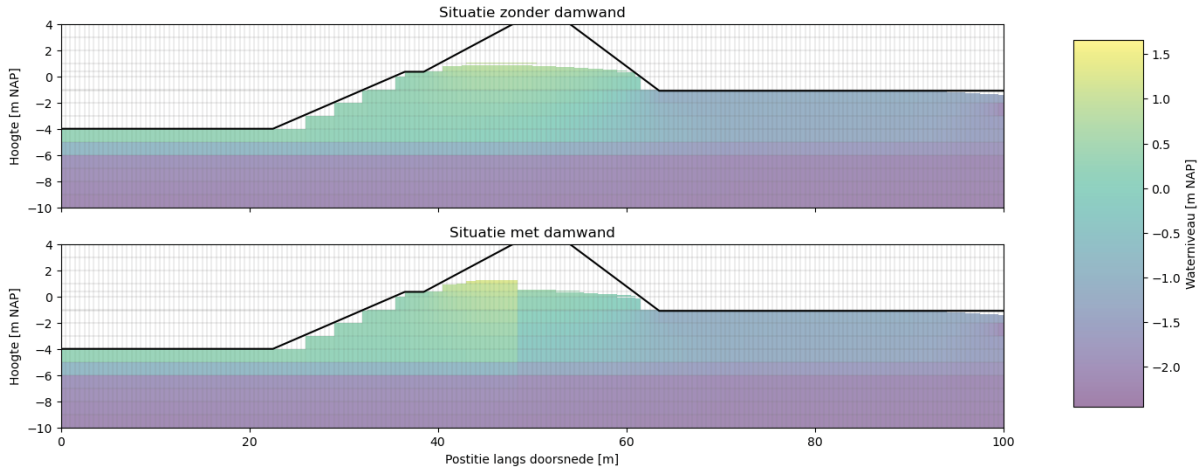


Bijlage II: modellering effecten huidige situatie

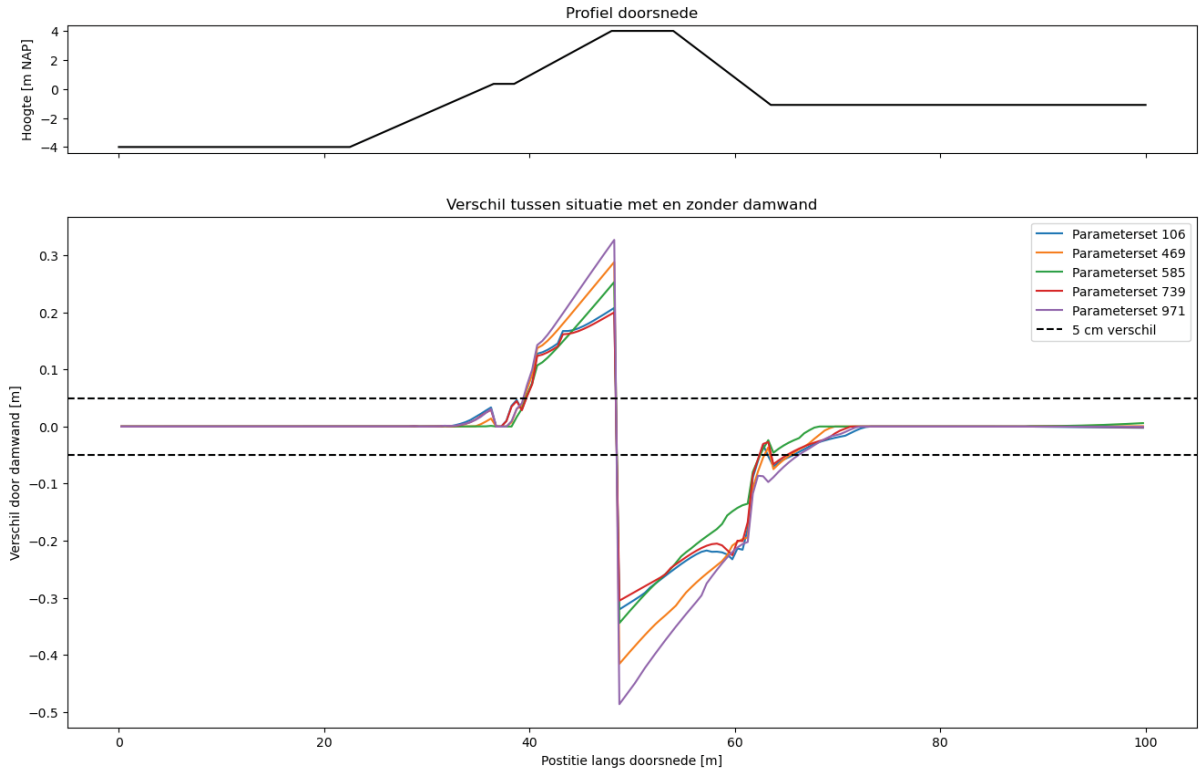
Damwand tot NAP -8 meter

Doorsnede E

Natte situatie

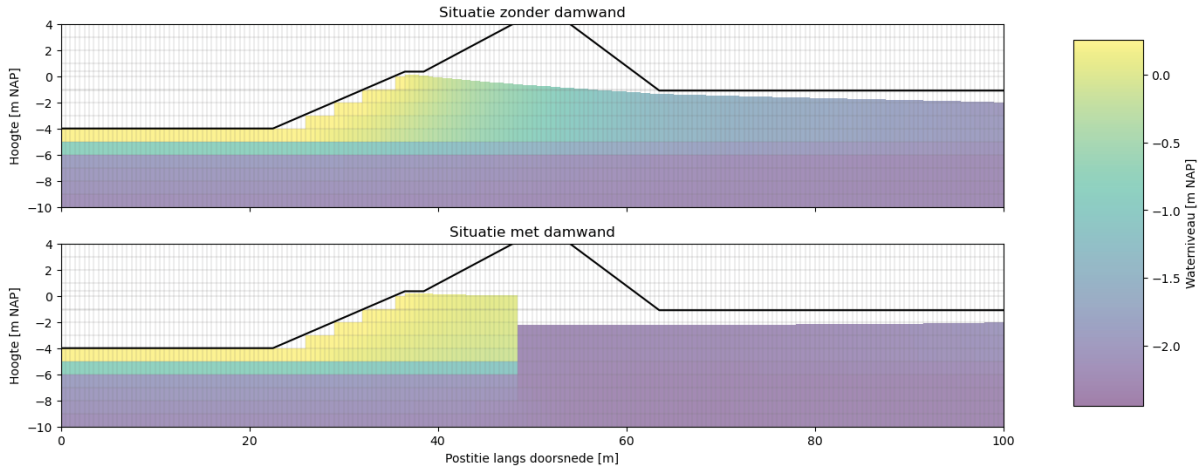


Figuur 9-1 Verschil tussen situatie zonder en met damwand tot NAP -8 meter voor parameterset 106

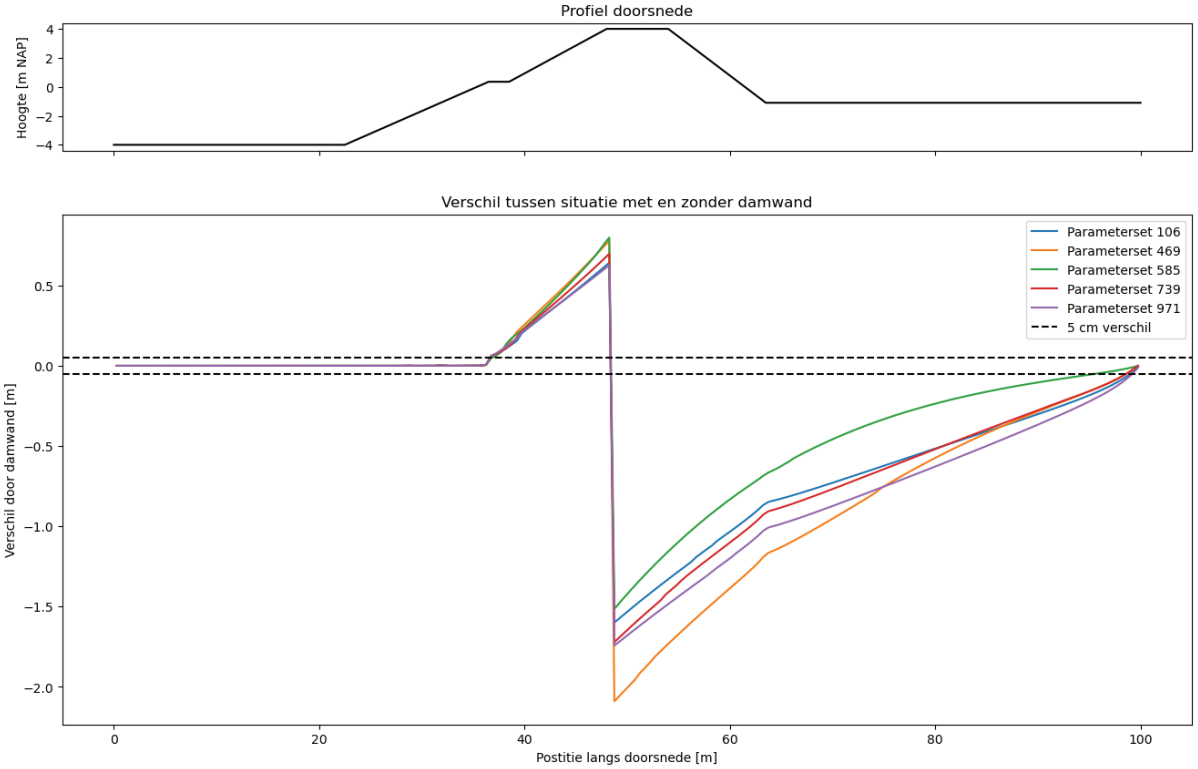


Figuur 9-2 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand tot NAP -8 meter in de buitenkruin voor doorsnede E

Droge situatie



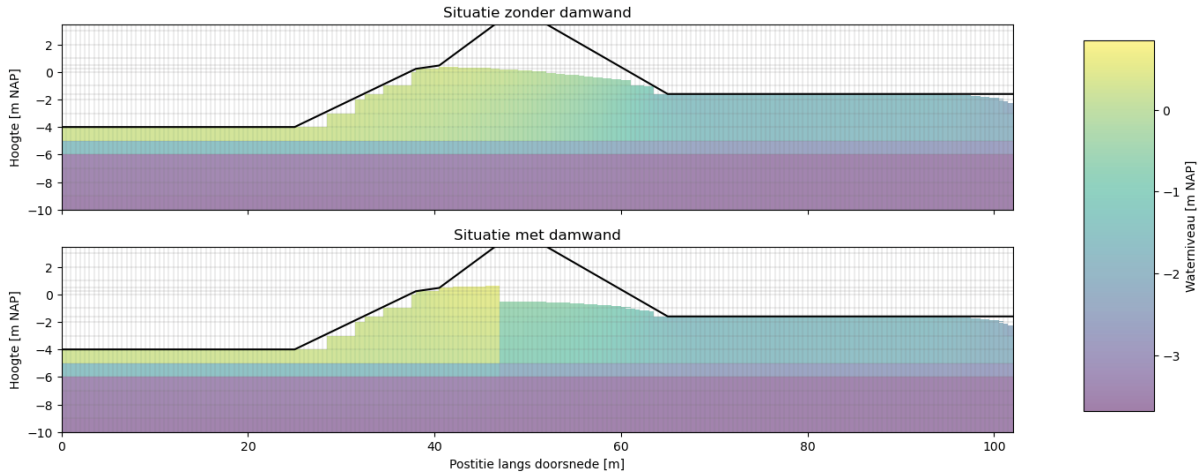
Figuur 9-3 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 106 in het geval van een lage grondwateraanvulling



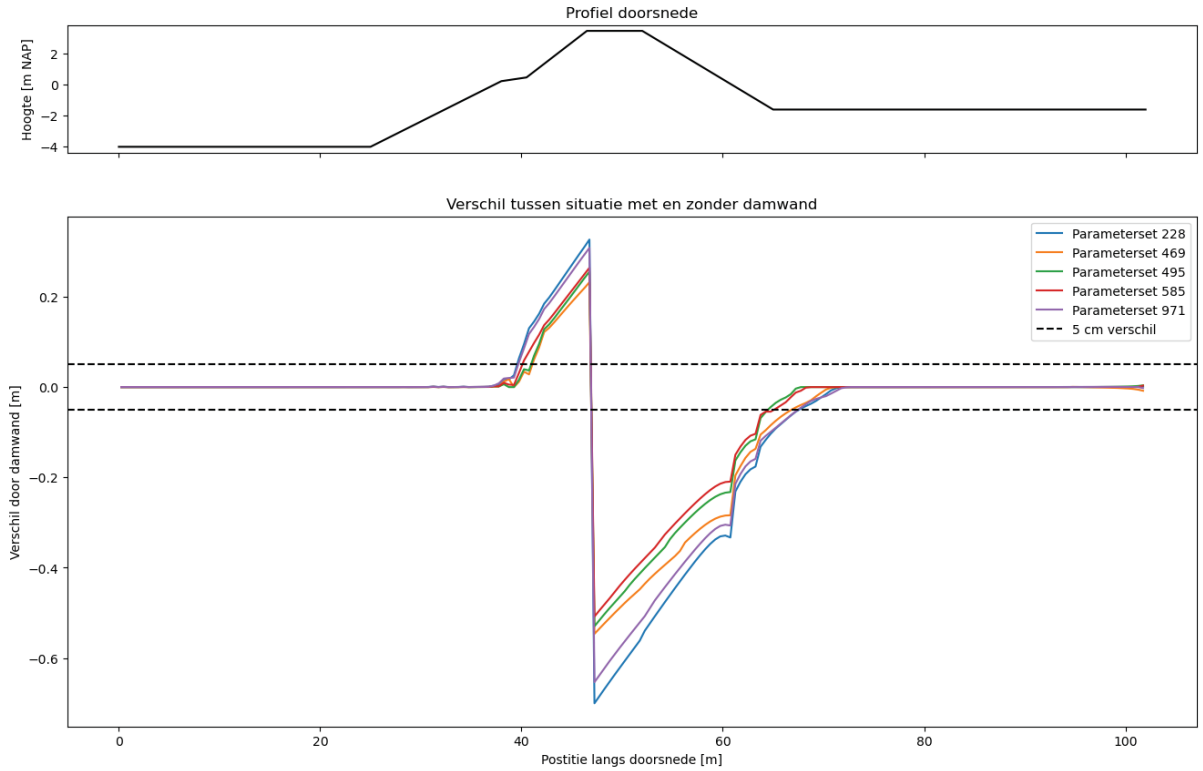
Figuur 9-4 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede E in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede F

Natte periode

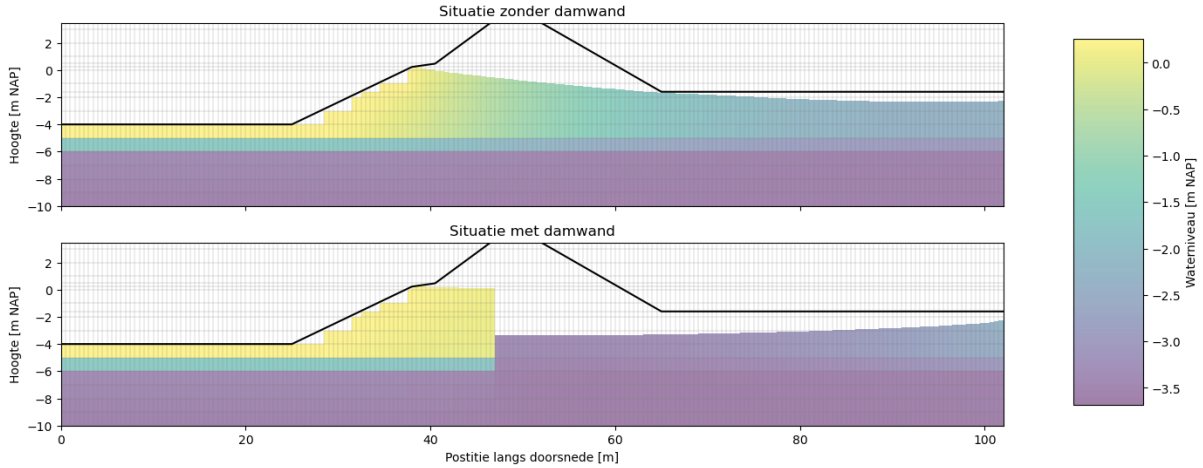


Figuur 9-5 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 971

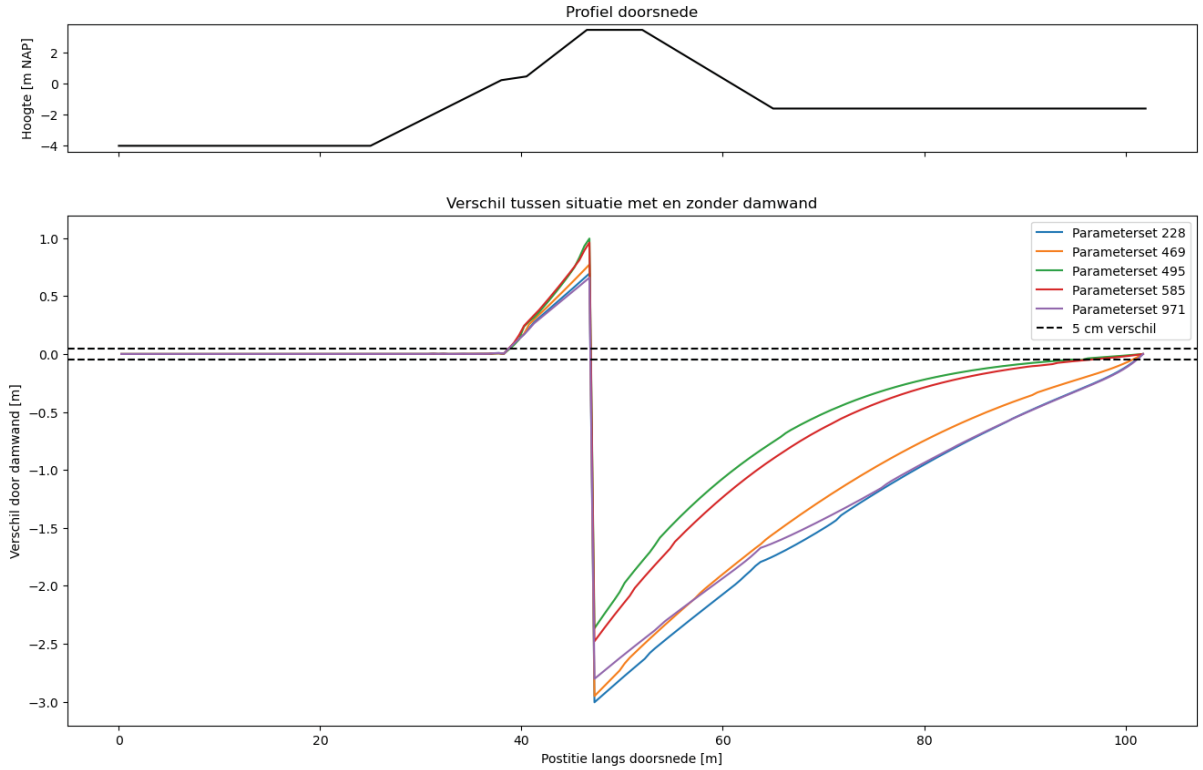


Figuur 9-6 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F

Droge situatie



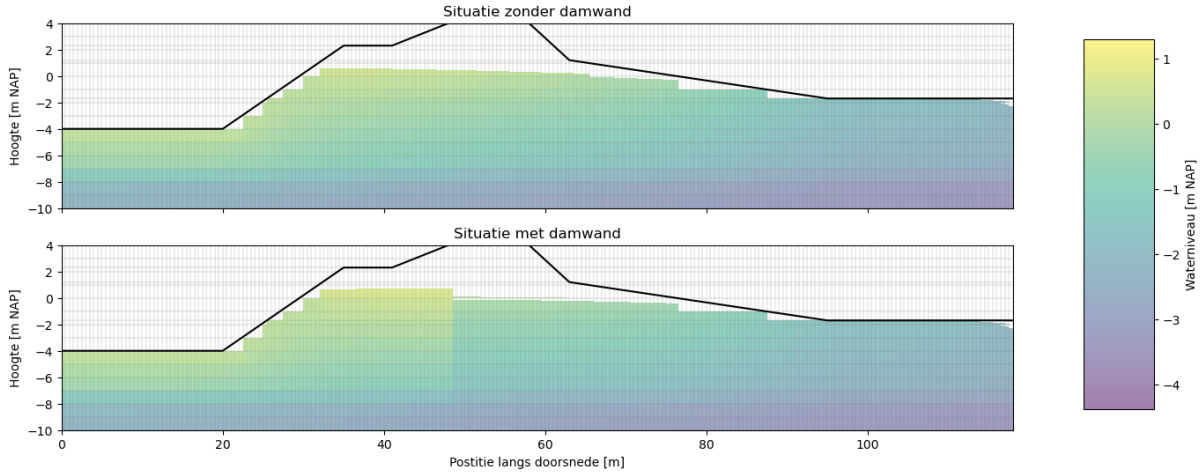
Figuur 9-7 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 971 in het geval van een lage grondwateraanvulling



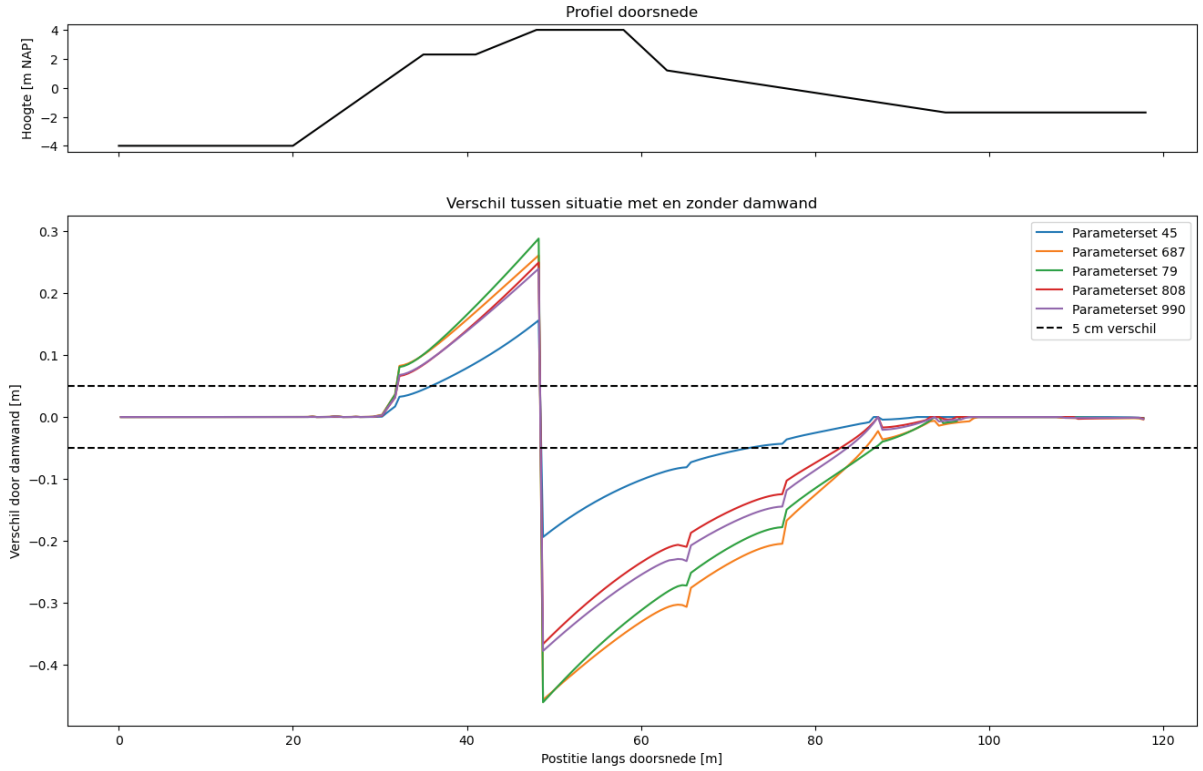
Figuur 9-8 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede I1

Natte situatie

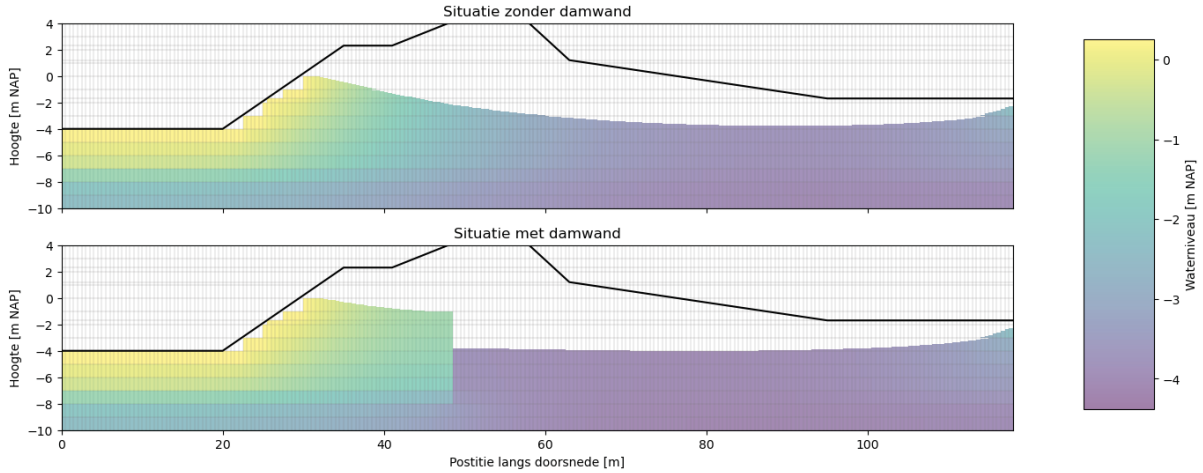


Figuur 9-9 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808

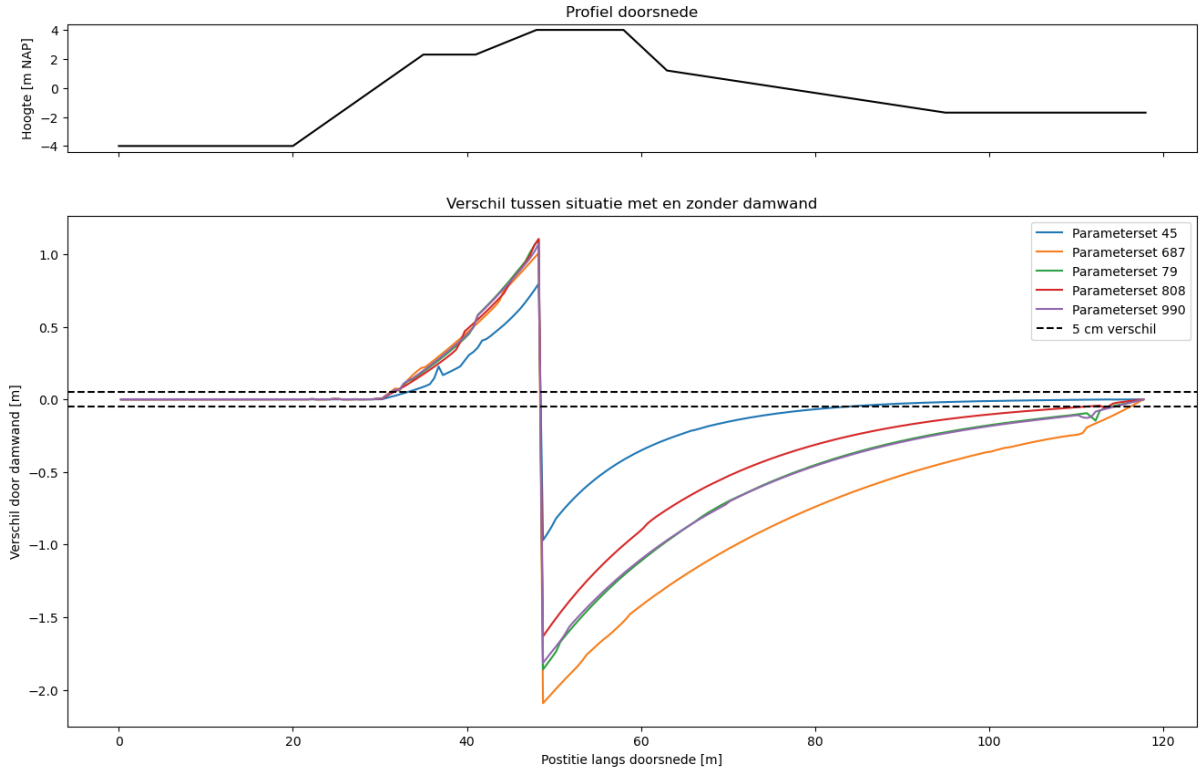


Figuur 9-10 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1

Droge situatie



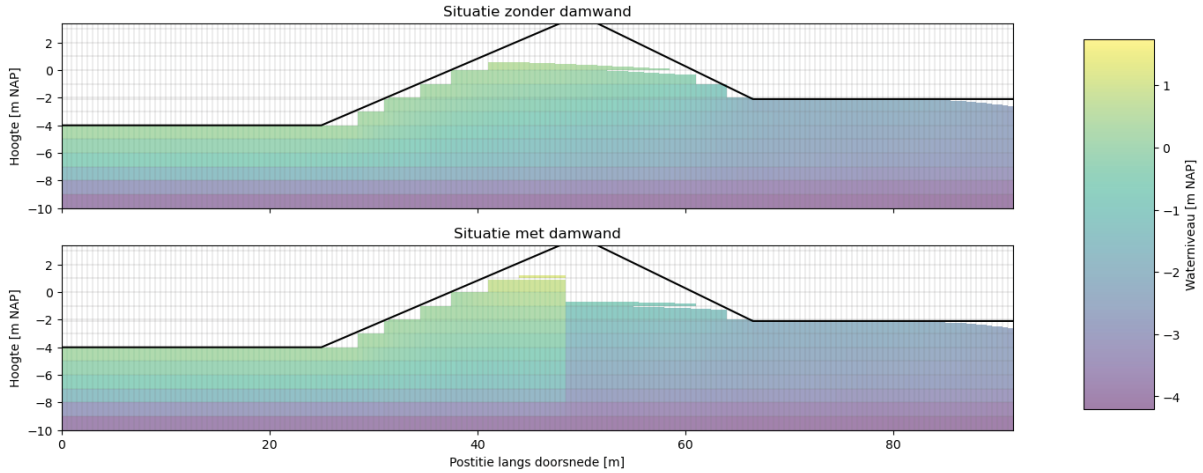
Figuur 9-11 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808 in het geval van een lage grondwateraanvulling



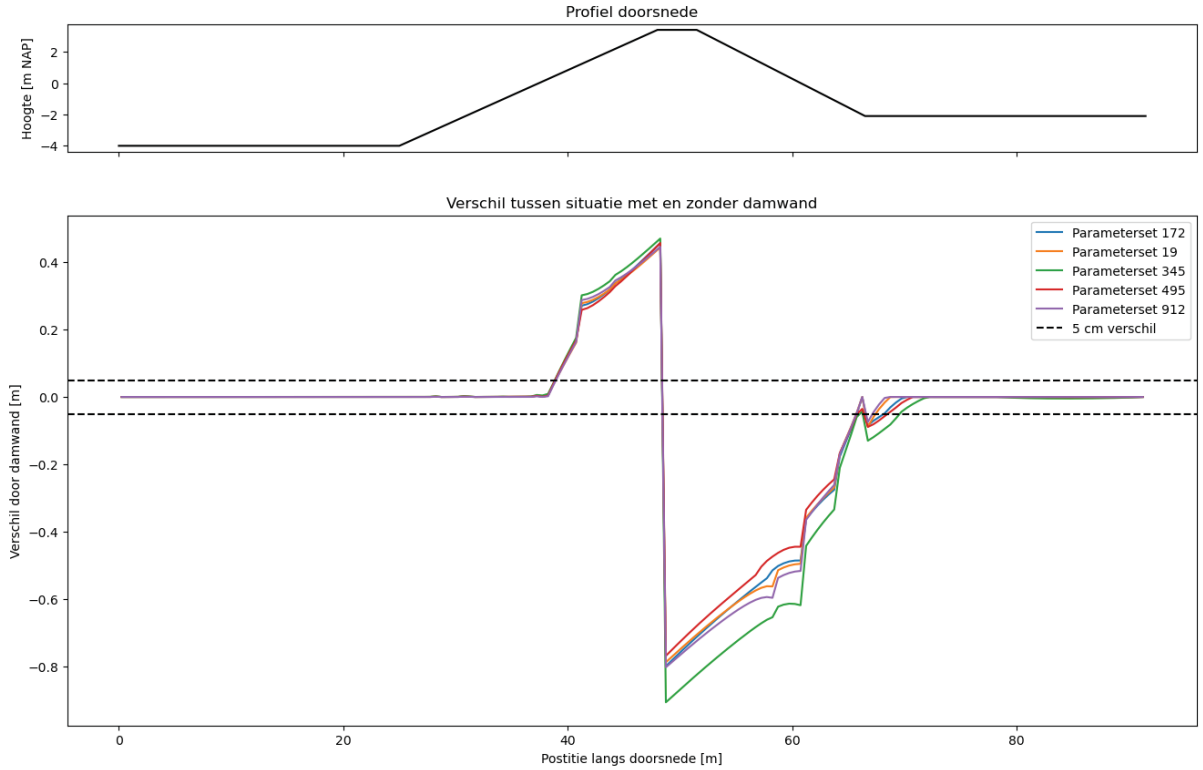
Figuur 9-12 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede M2

Natte periode

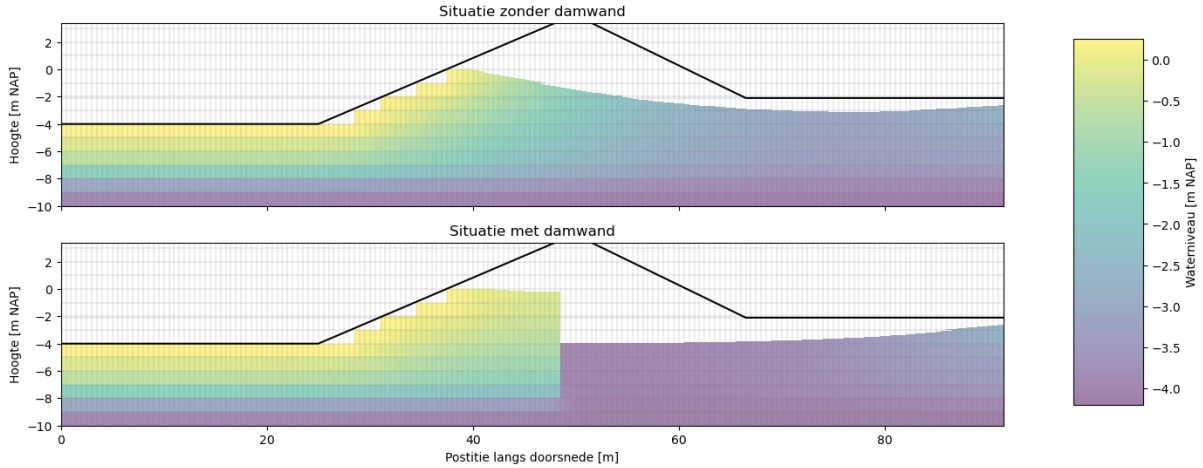


Figuur 9-13 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 19

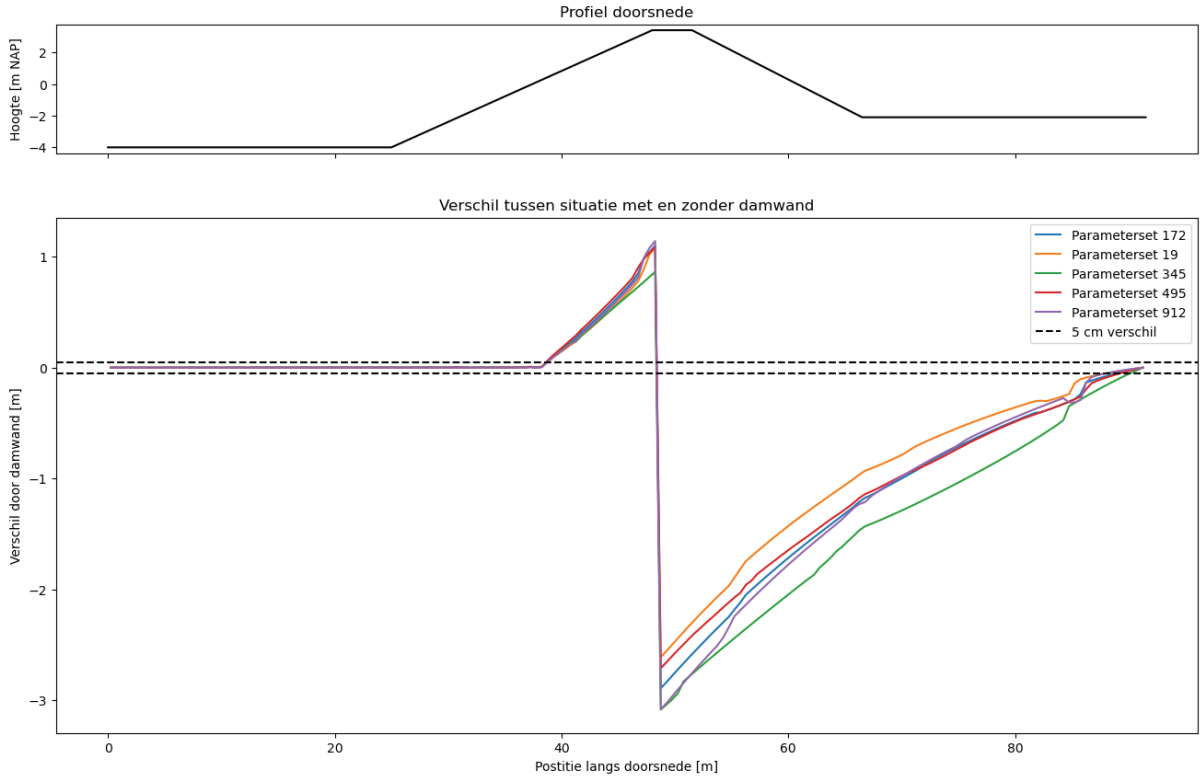


Figuur 9-14 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2

Droge situatie



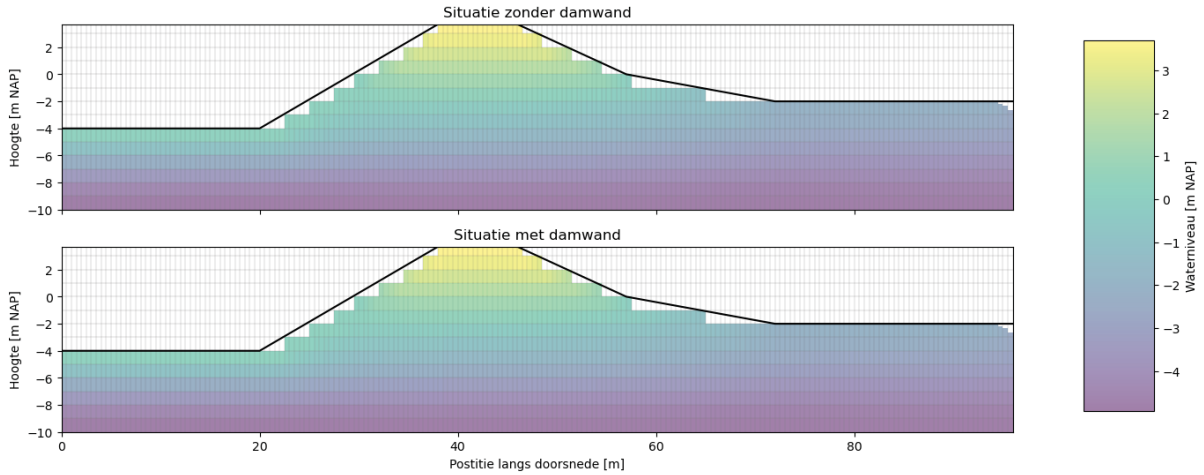
Figuur 9-15 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 19 in het geval van een lage grondwateraanvulling



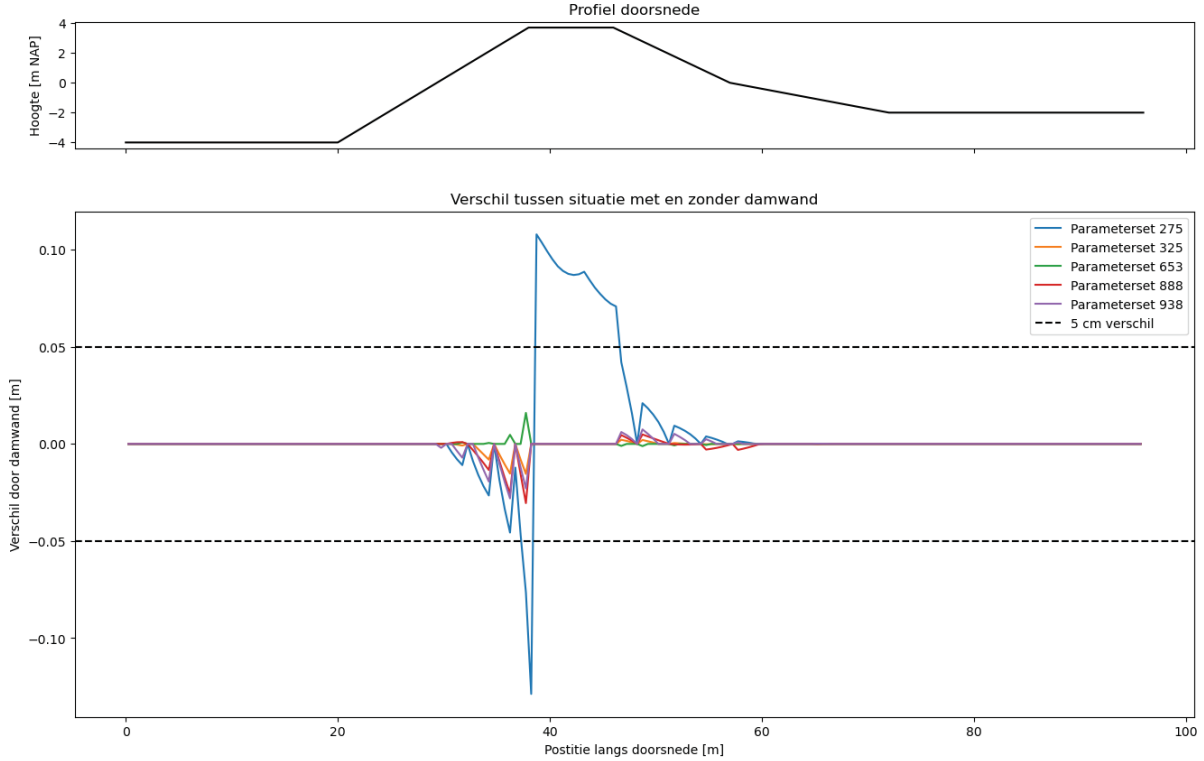
Figuur 9-16 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede O2

Natte situatie

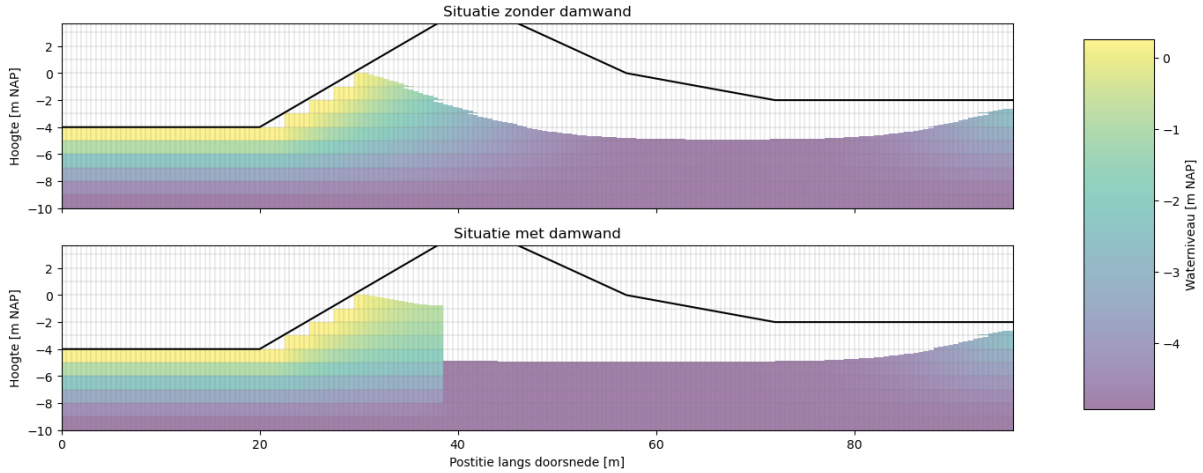


Figuur 9-17 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653

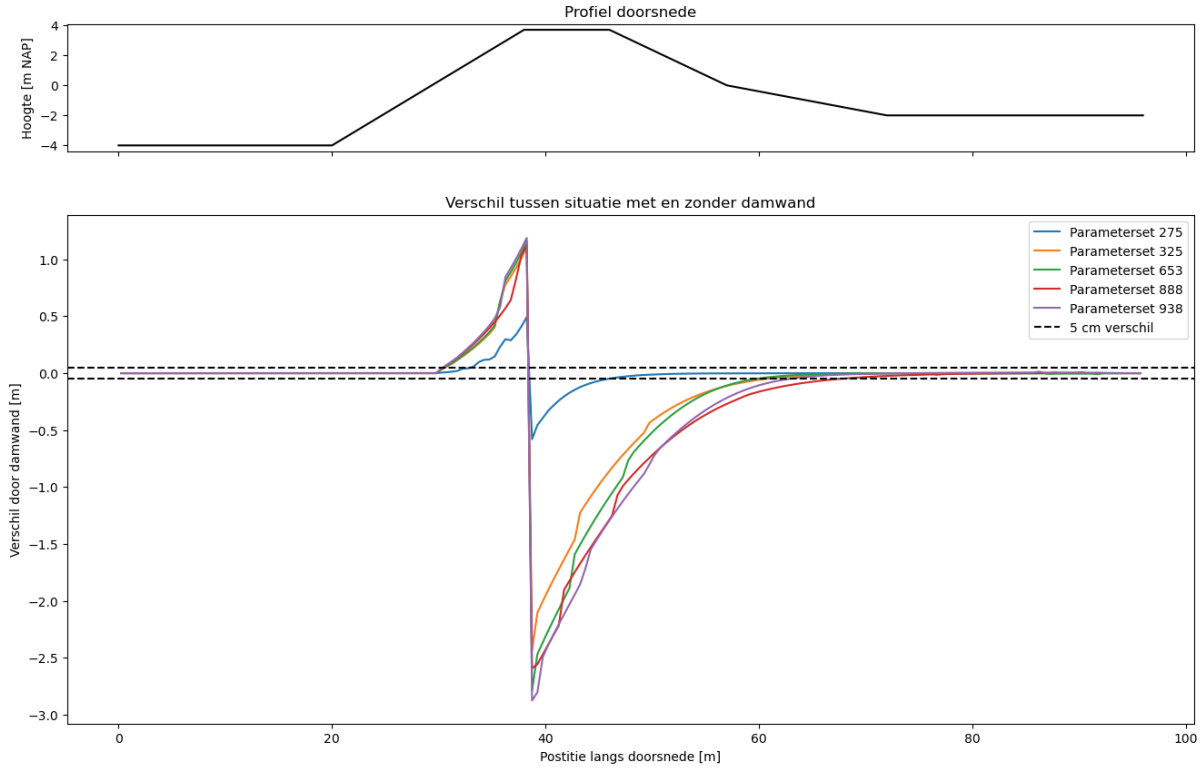


Figuur 9-18 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2

Droge situatie



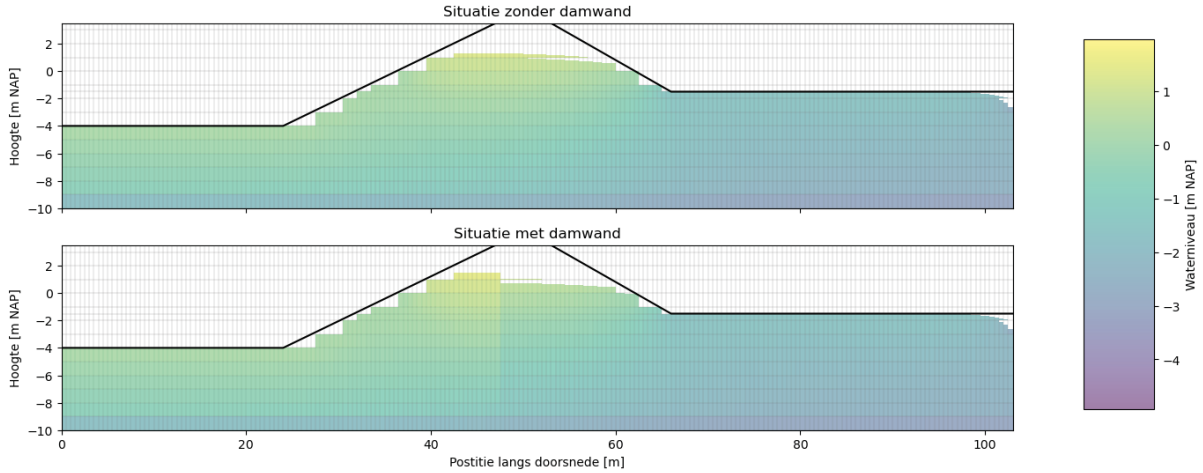
Figuur 9-19 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653 in het geval van een lage grondwateraanvulling



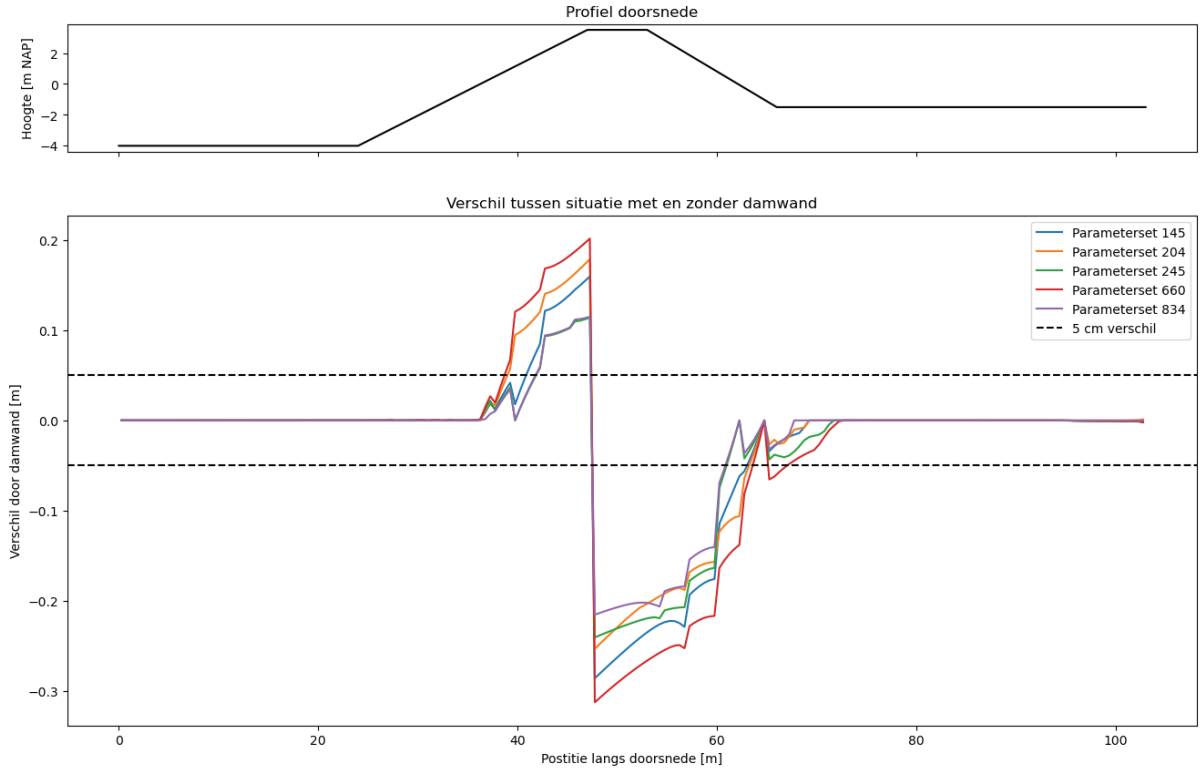
Figuur 9-20 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede U1

Natte periode

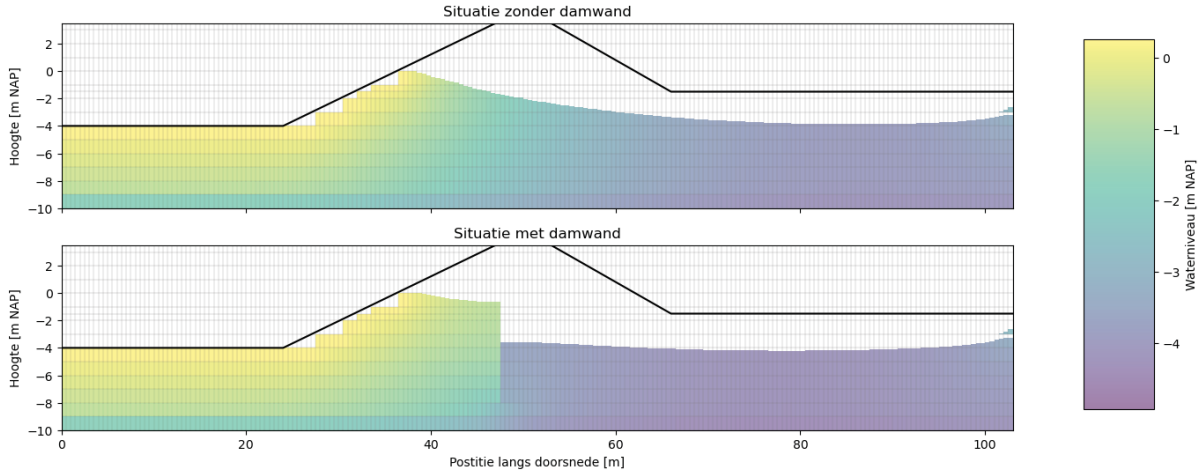


Figuur 9-21 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 204

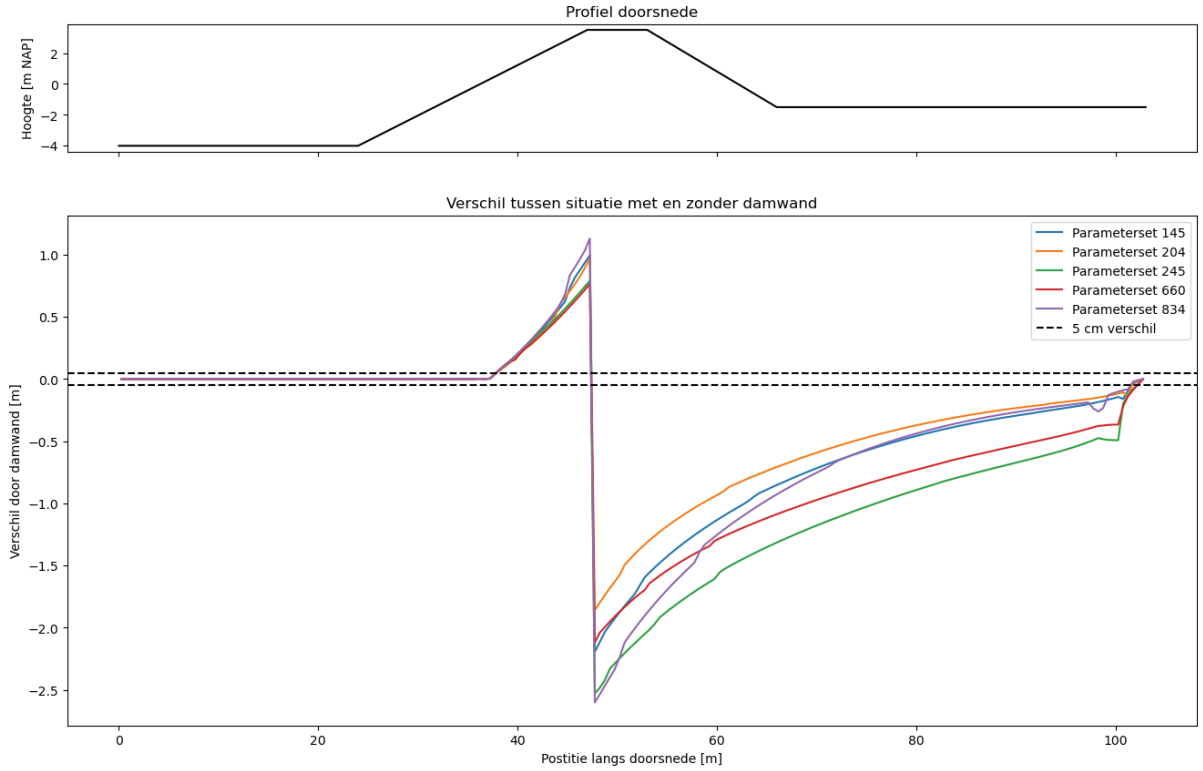


Figuur 9-22 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1

Droge situatie



Figuur 9-23 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 204 in het geval van een lage grondwateraanvulling

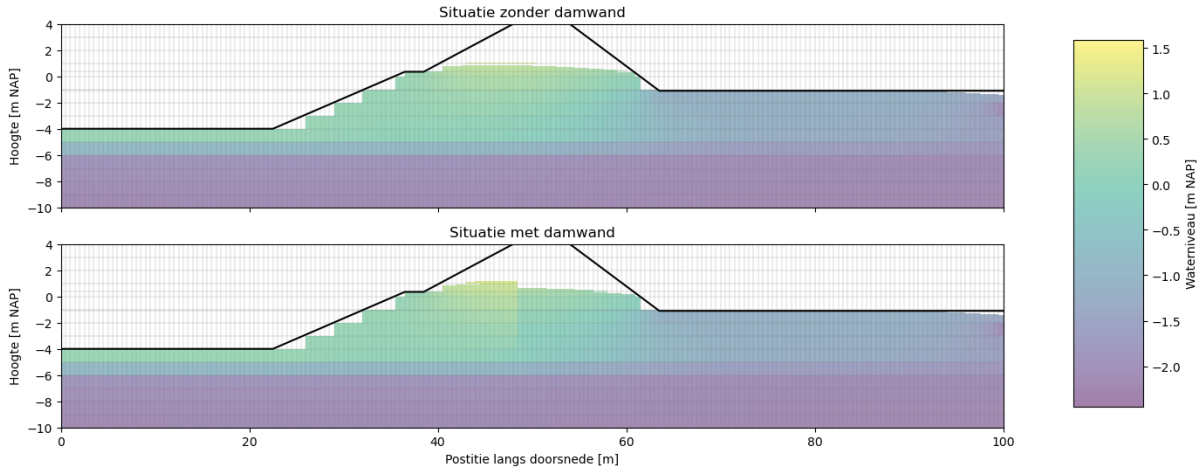


Figuur 9-24 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1 in het geval van geen grondwateraanvulling

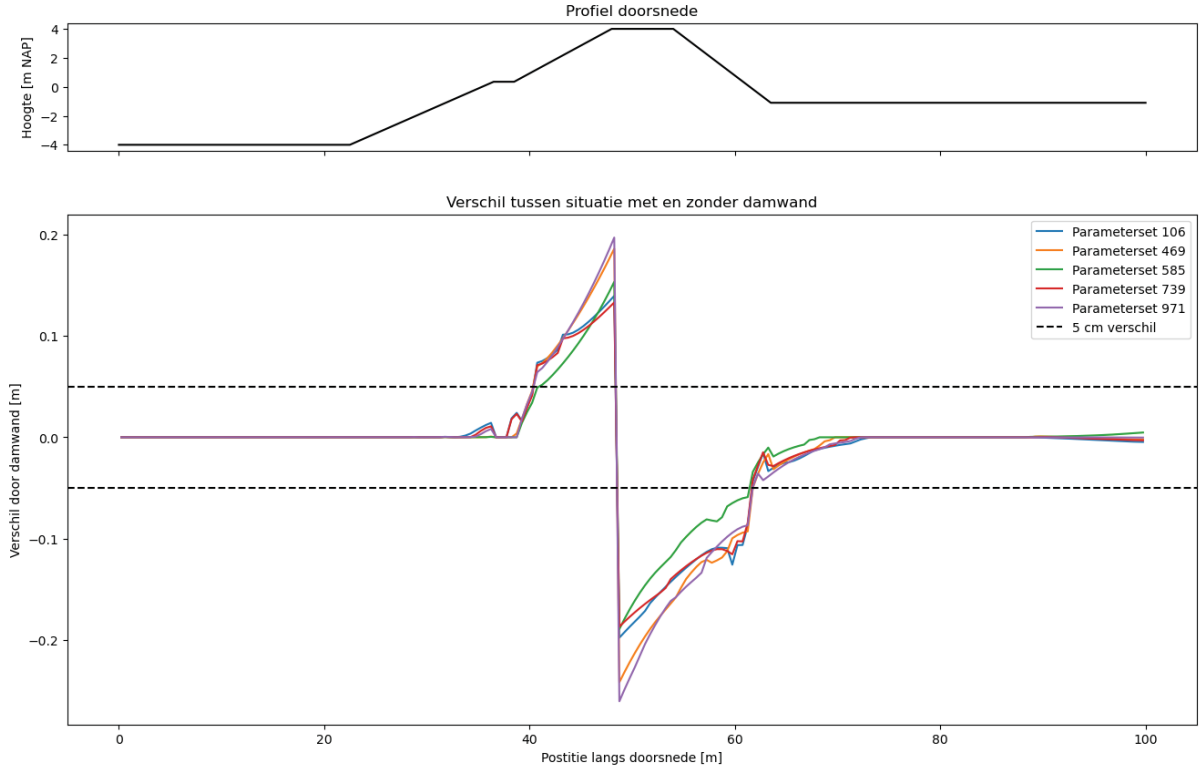
Damwand tot NAP -4 meter

Doorsnede E

Natte situatie

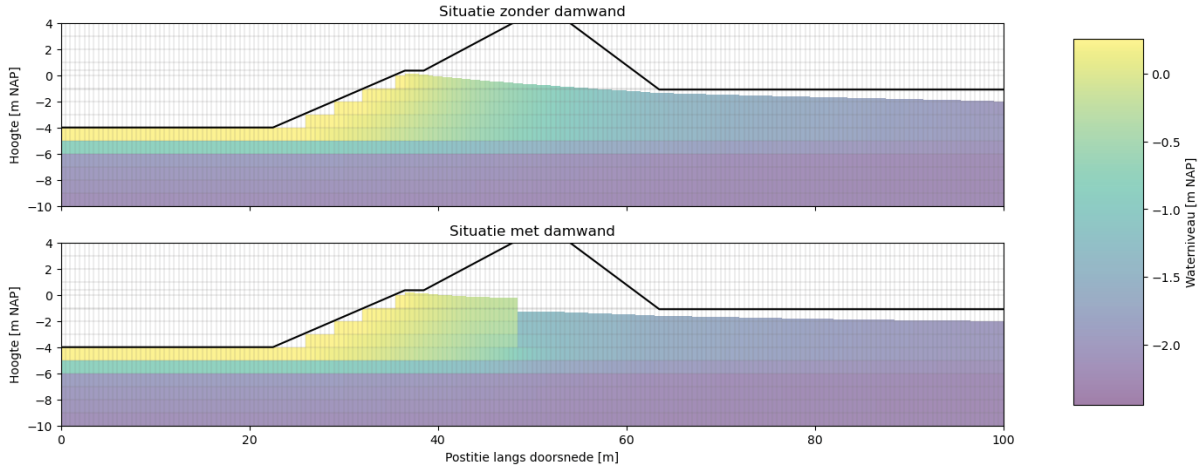


Figuur 9-1 Verschil tussen situatie zonder en met damwand tot NAP -4 meter voor parameterset 106

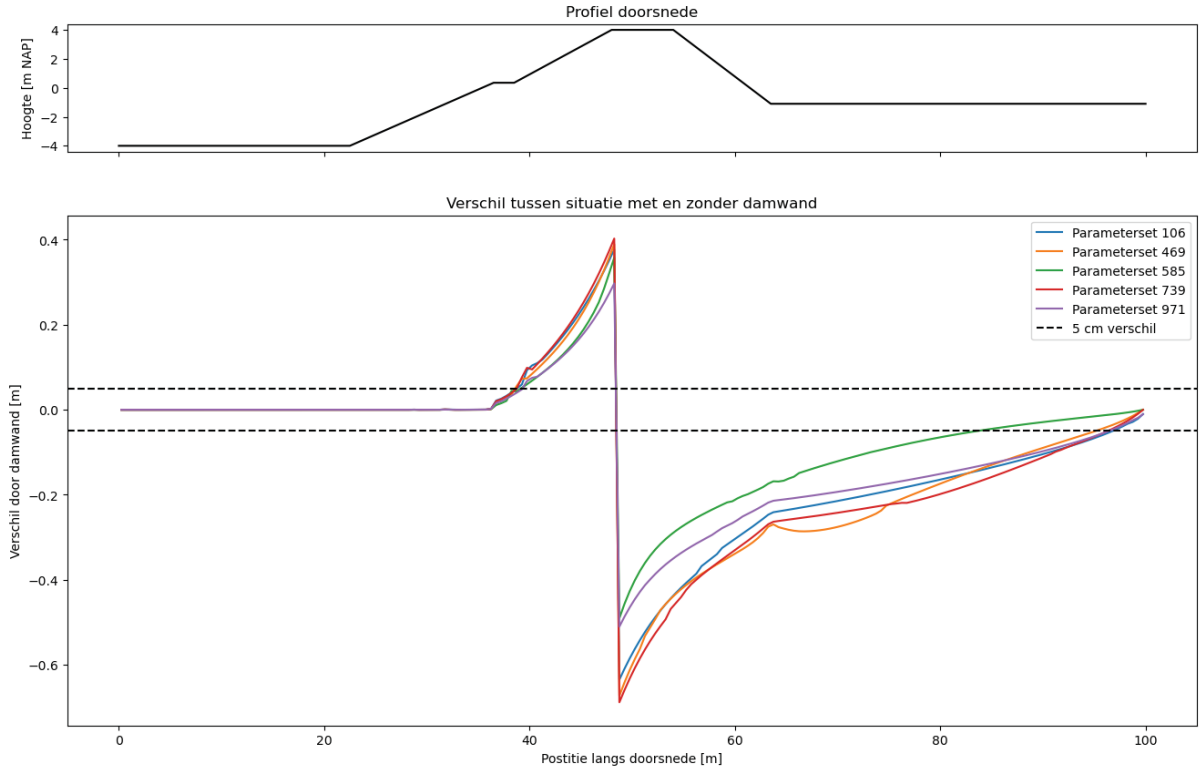


Figuur 9-2 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand tot NAP -4 meter in de buitenkruin voor doorsnede E

Droge situatie



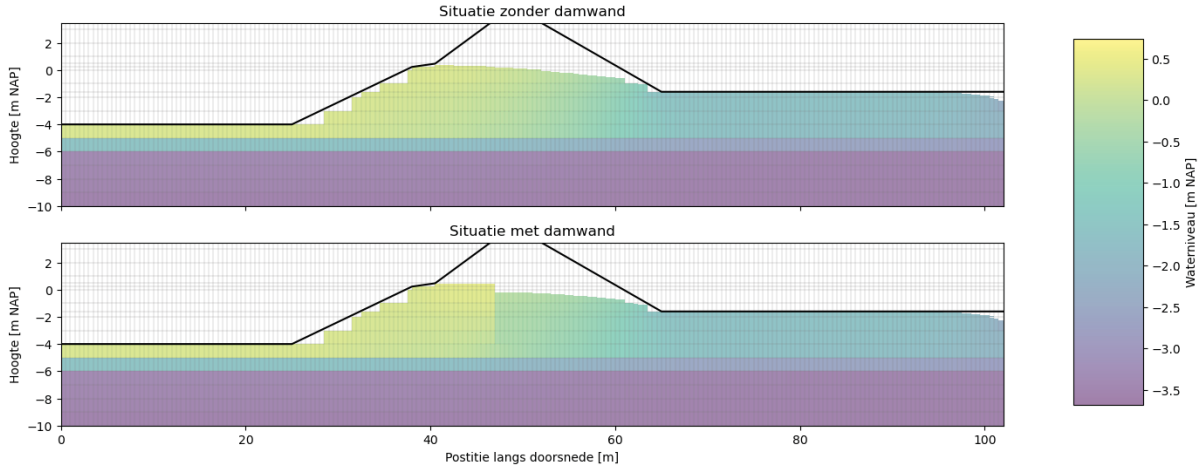
Figuur 9-3 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 106 in het geval van een lage grondwateraanvulling



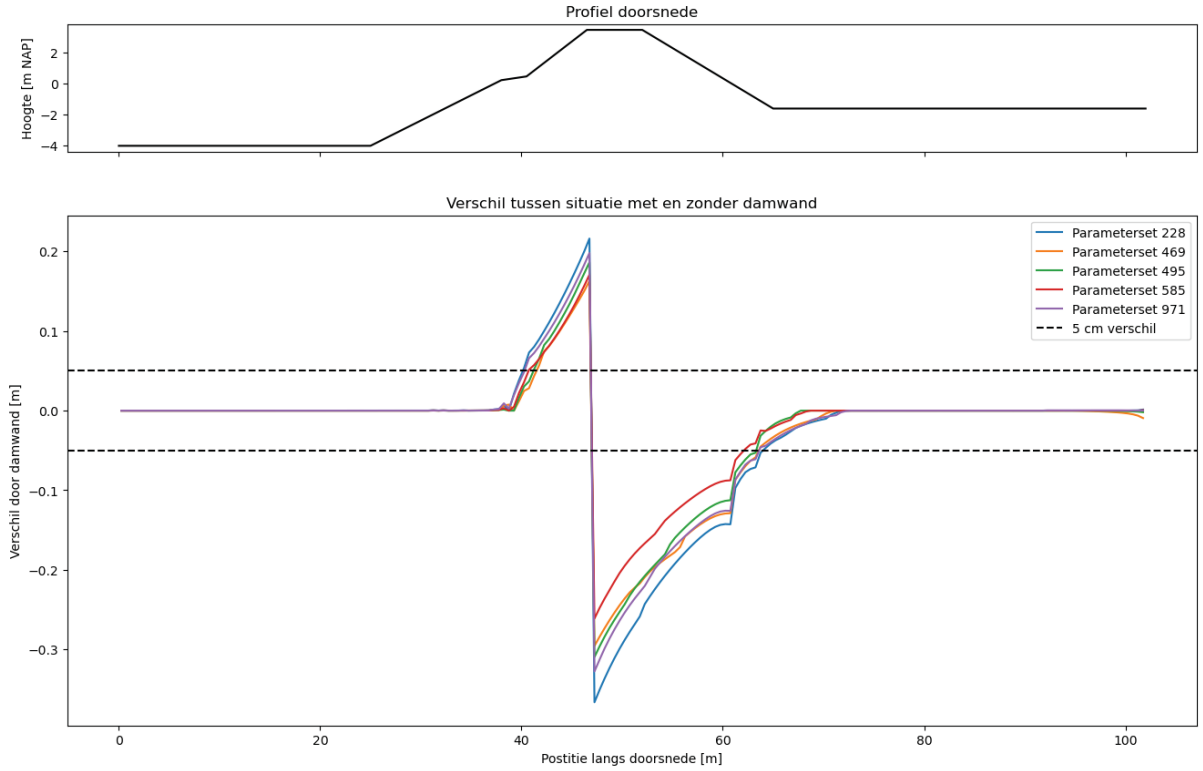
Figuur 9-4 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede E in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede F

Natte periode

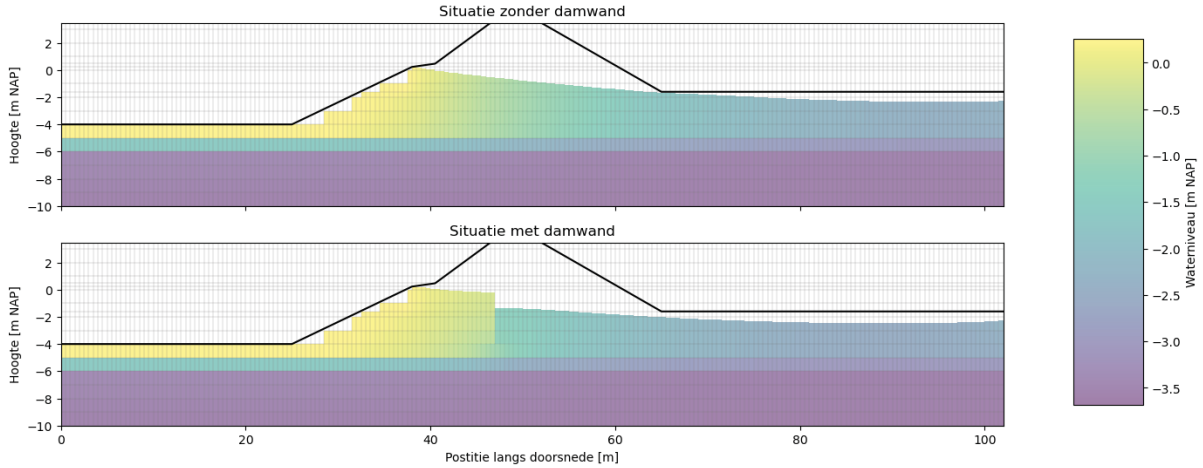


Figuur 9-5 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 971

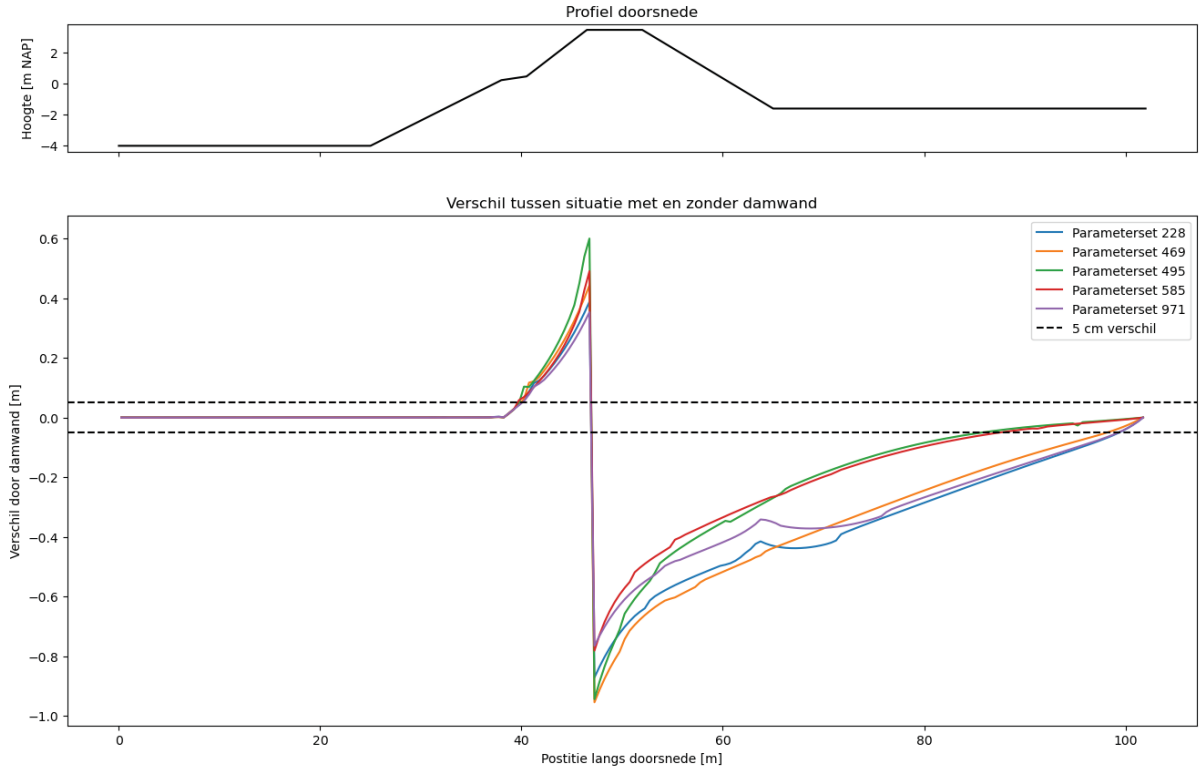


Figuur 9-6 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F

Droge situatie



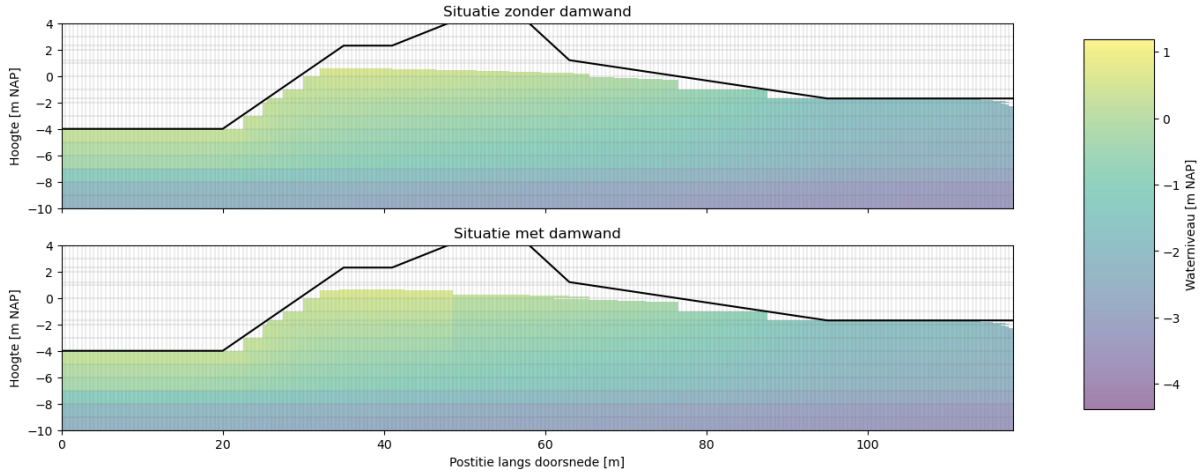
Figuur 9-7 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 971 in het geval van een lage grondwateraanvulling



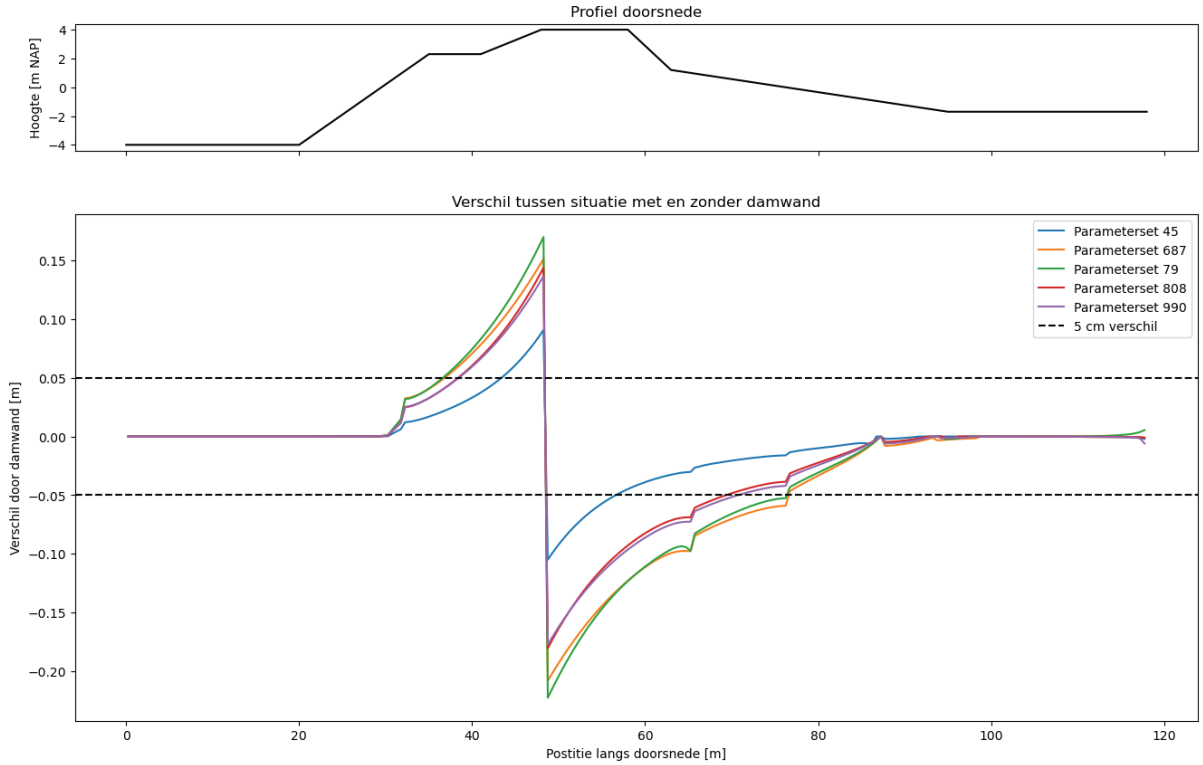
Figuur 9-8 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede I1

Natte situatie

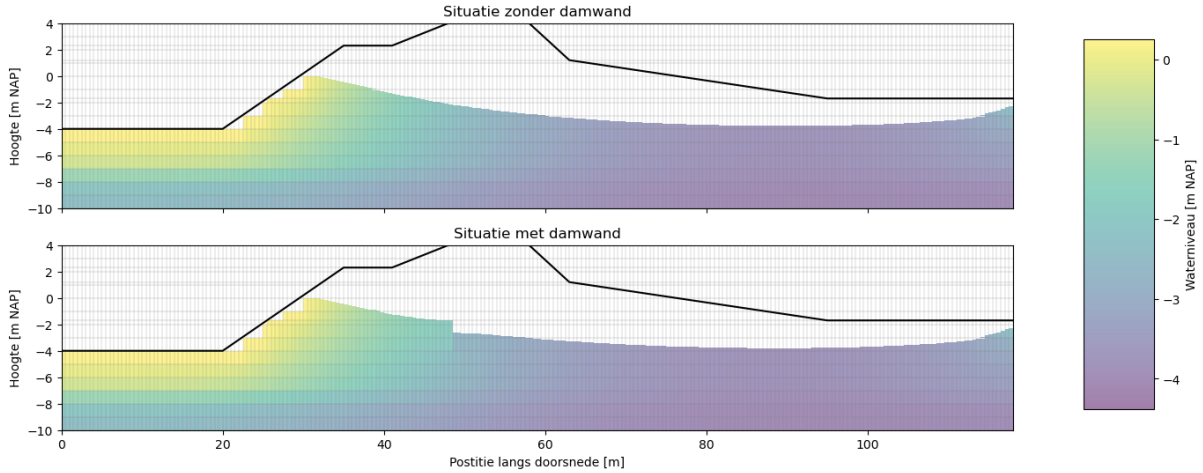


Figuur 9-9 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808

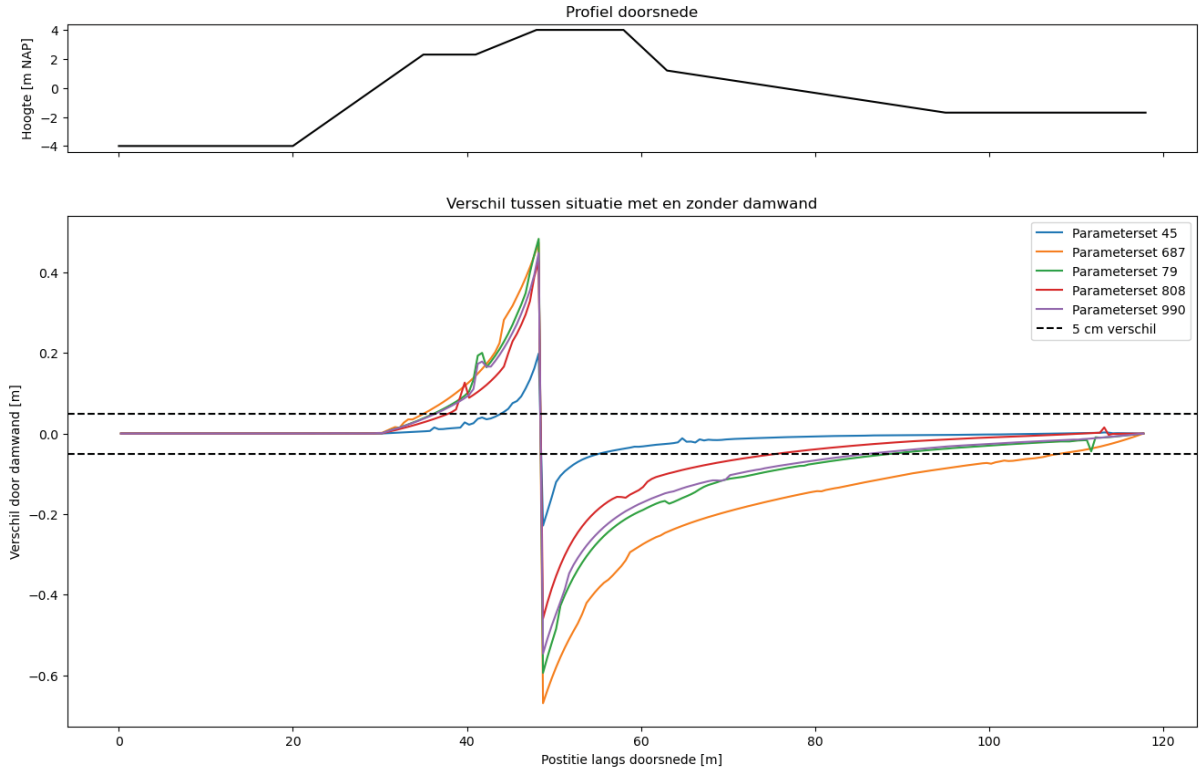


Figuur 9-10 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1

Droge situatie



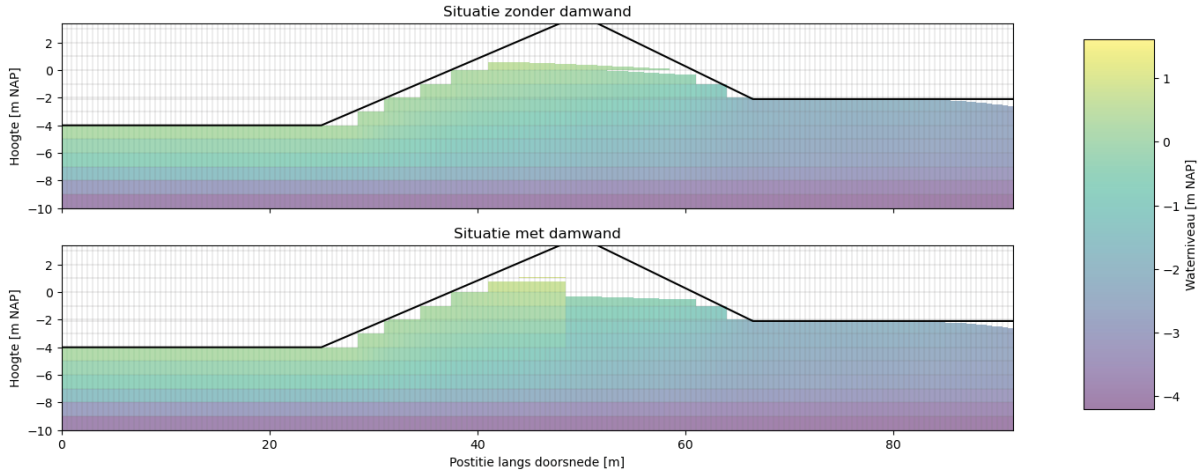
Figuur 9-11 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808 in het geval van een lage grondwateraanvulling



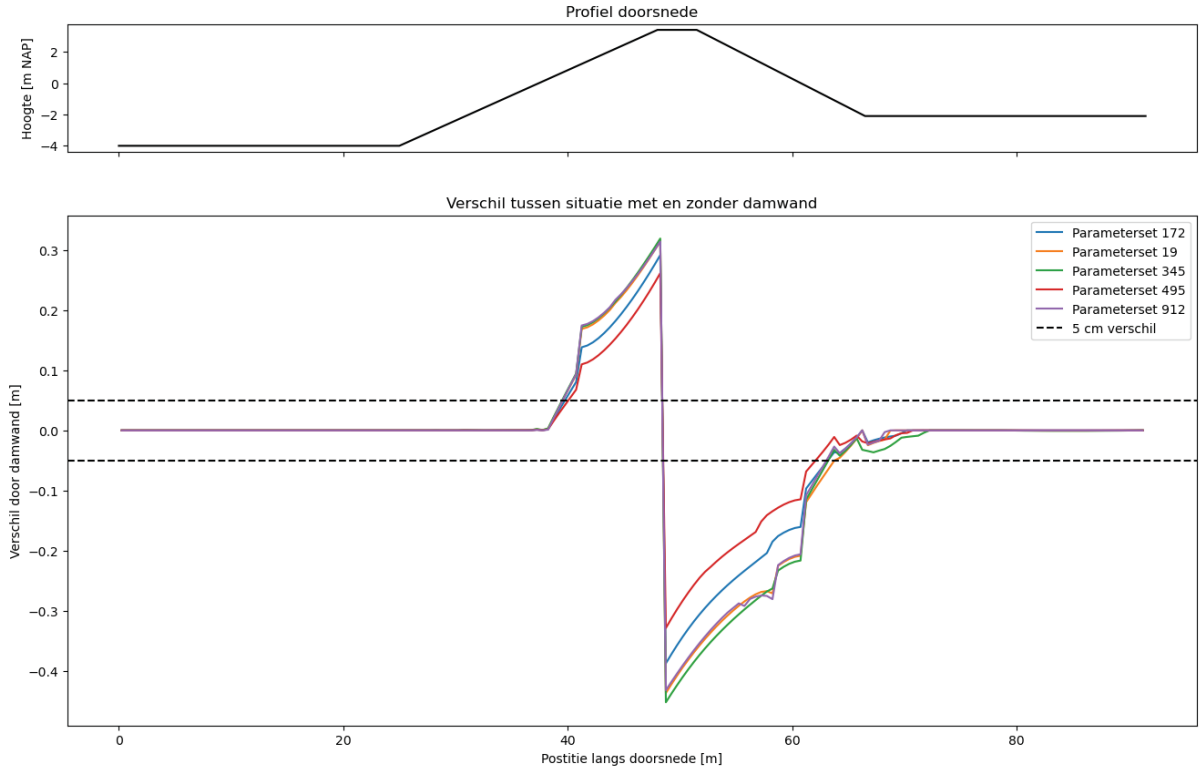
Figuur 9-12 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede M2

Natte periode

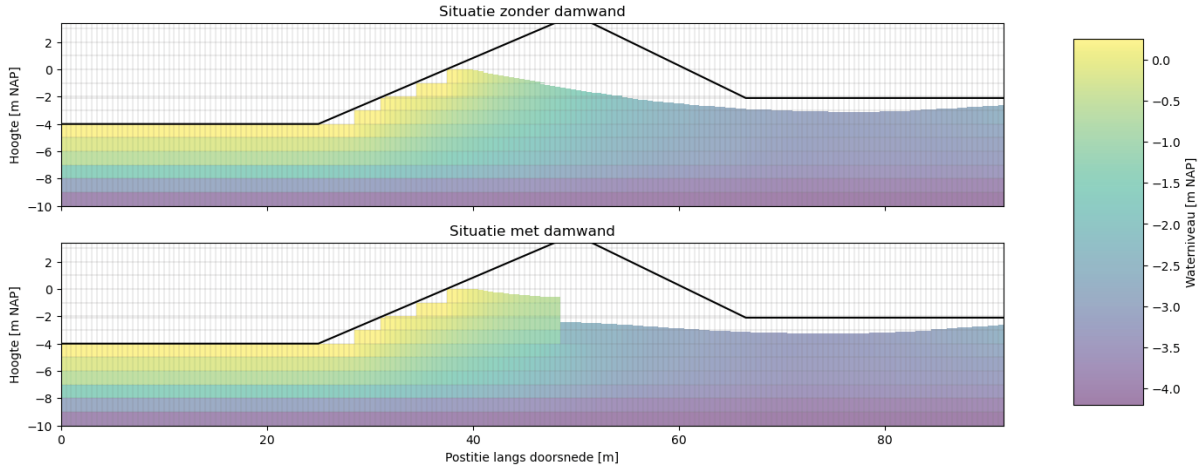


Figuur 9-13 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 19

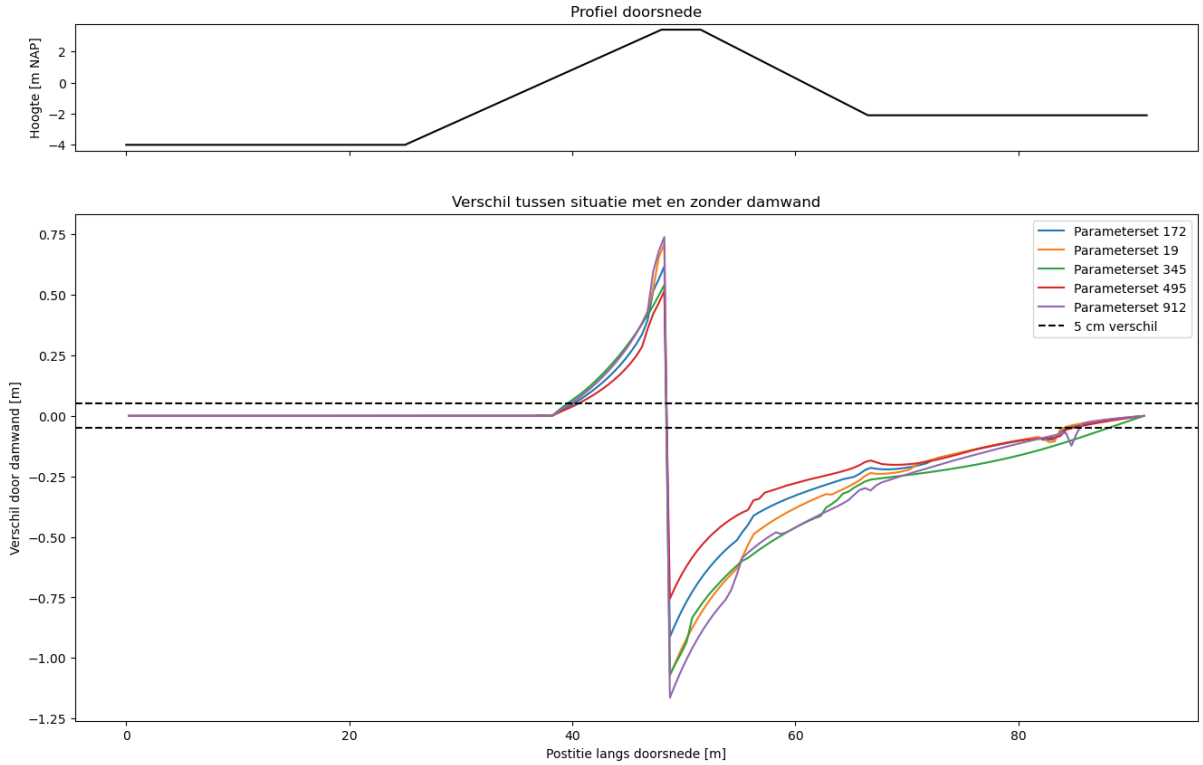


Figuur 9-14 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2

Droge situatie



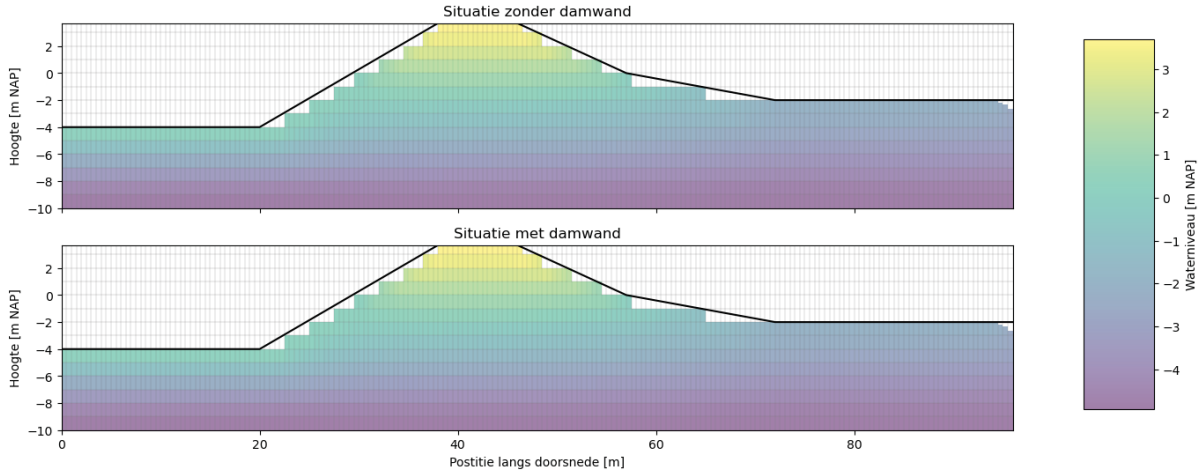
Figuur 9-15 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 19 in het geval van een lage grondwateraanvulling



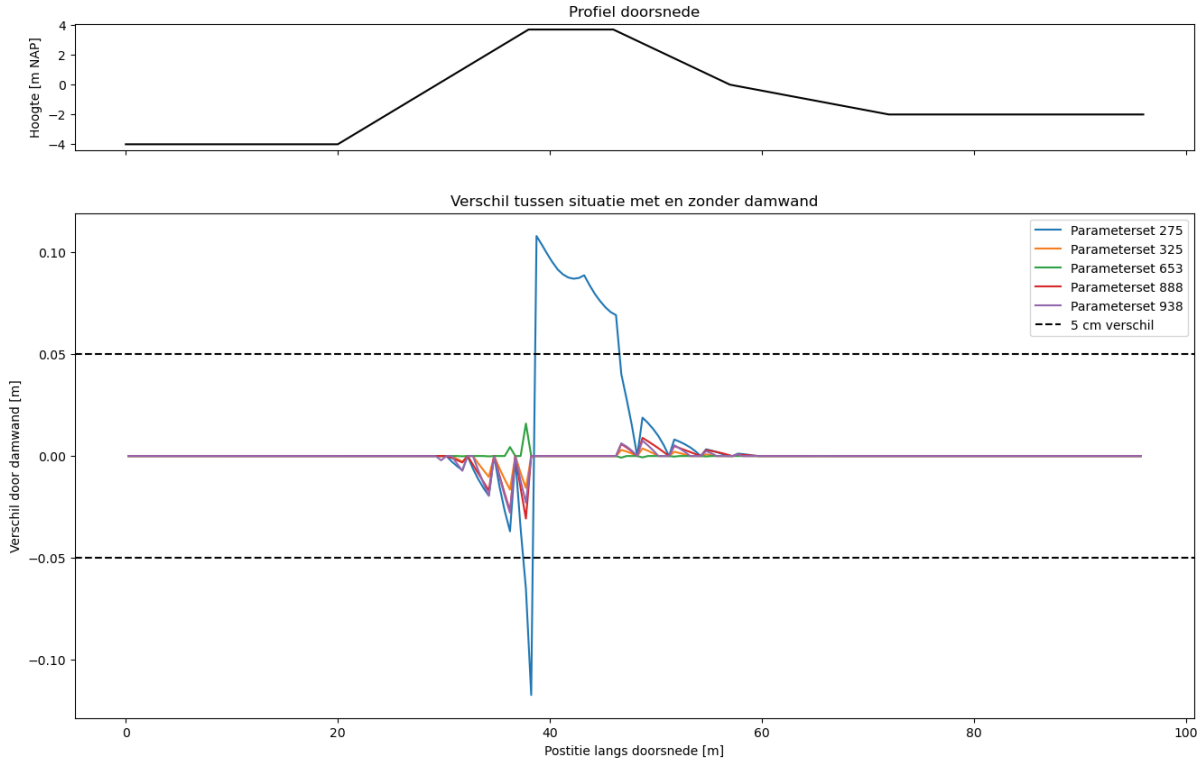
Figuur 9-16 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede O2

Natte situatie

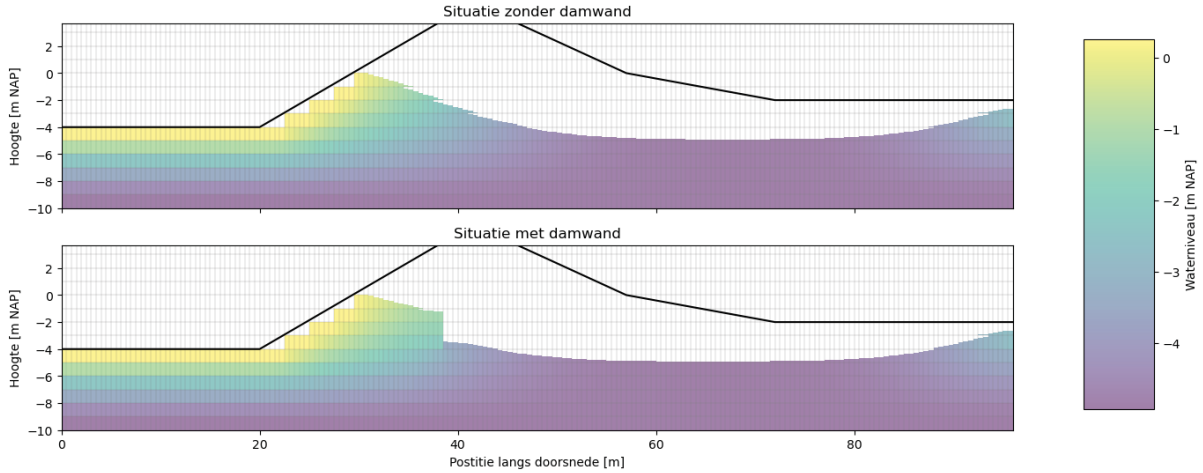


Figuur 9-17 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653

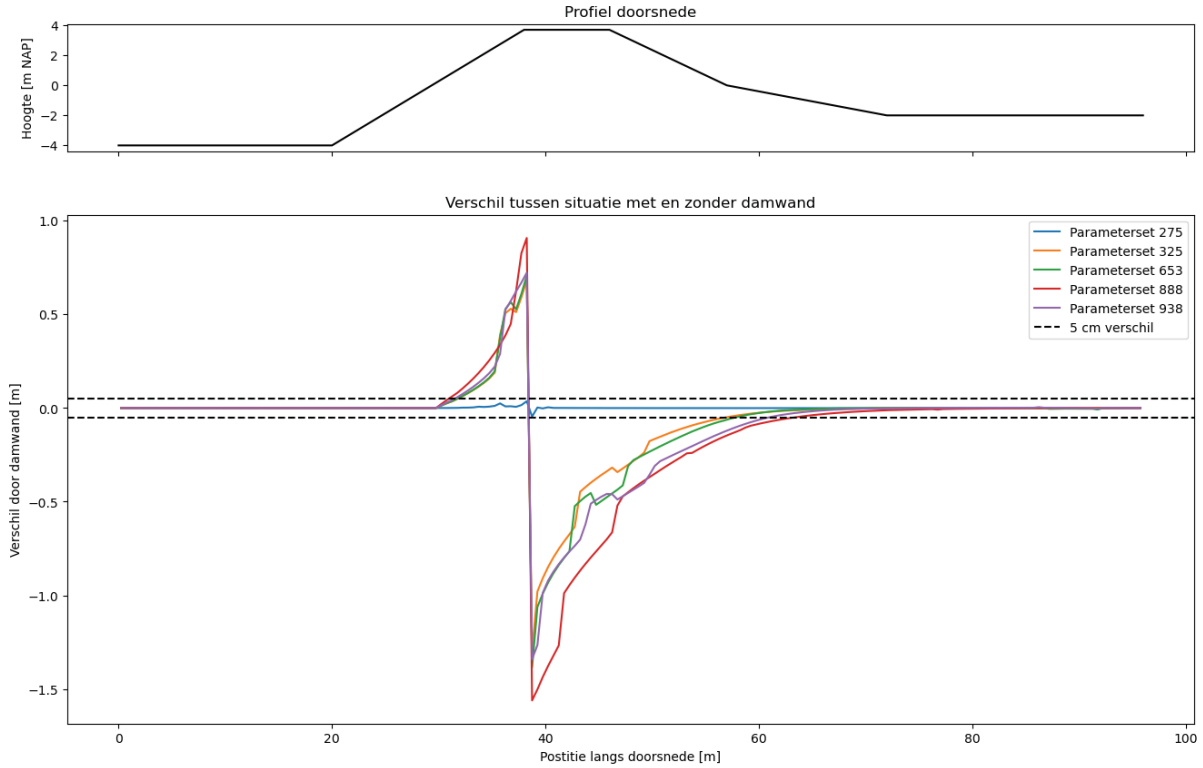


Figuur 9-18 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2

Droge situatie



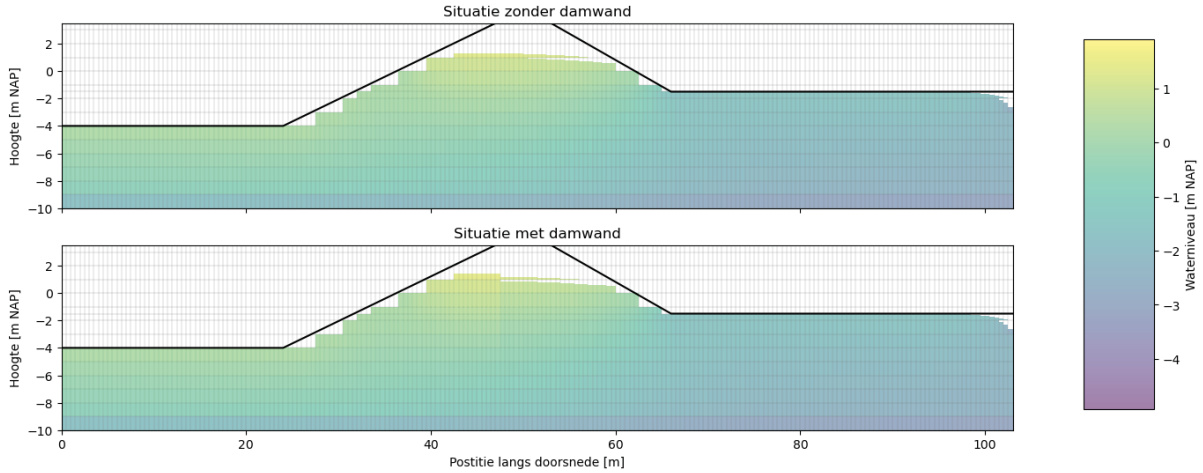
Figuur 9-19 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653 in het geval van een lage grondwateraanvulling



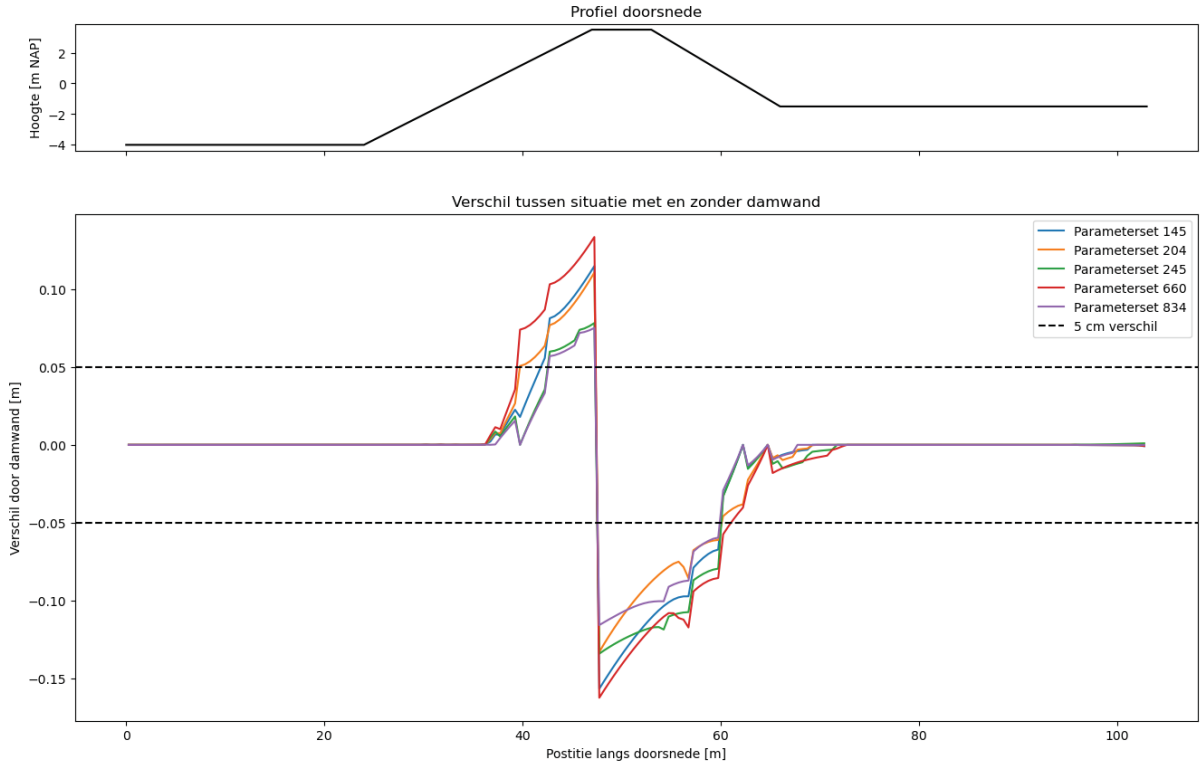
Figuur 9-20 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede U1

Natte periode

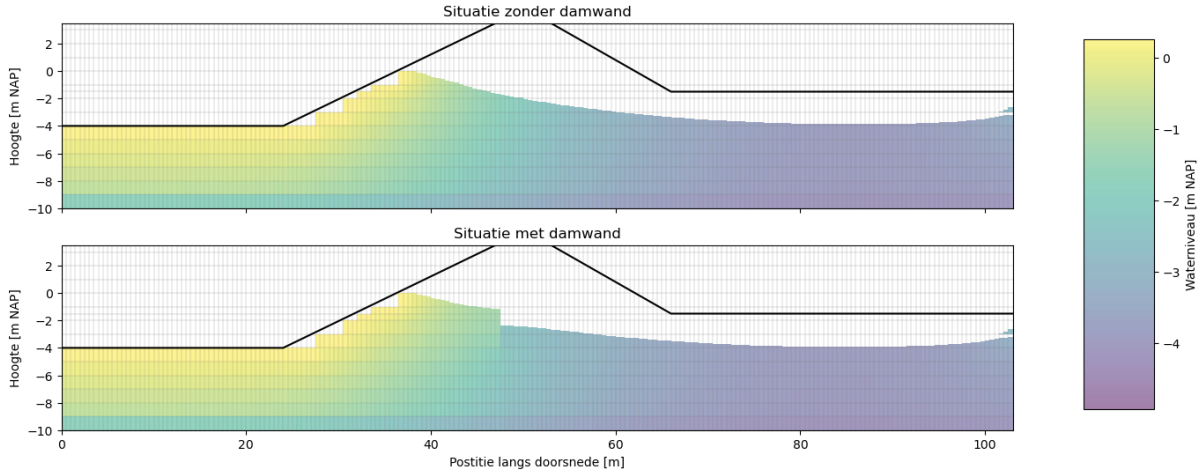


Figuur 9-21 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 204

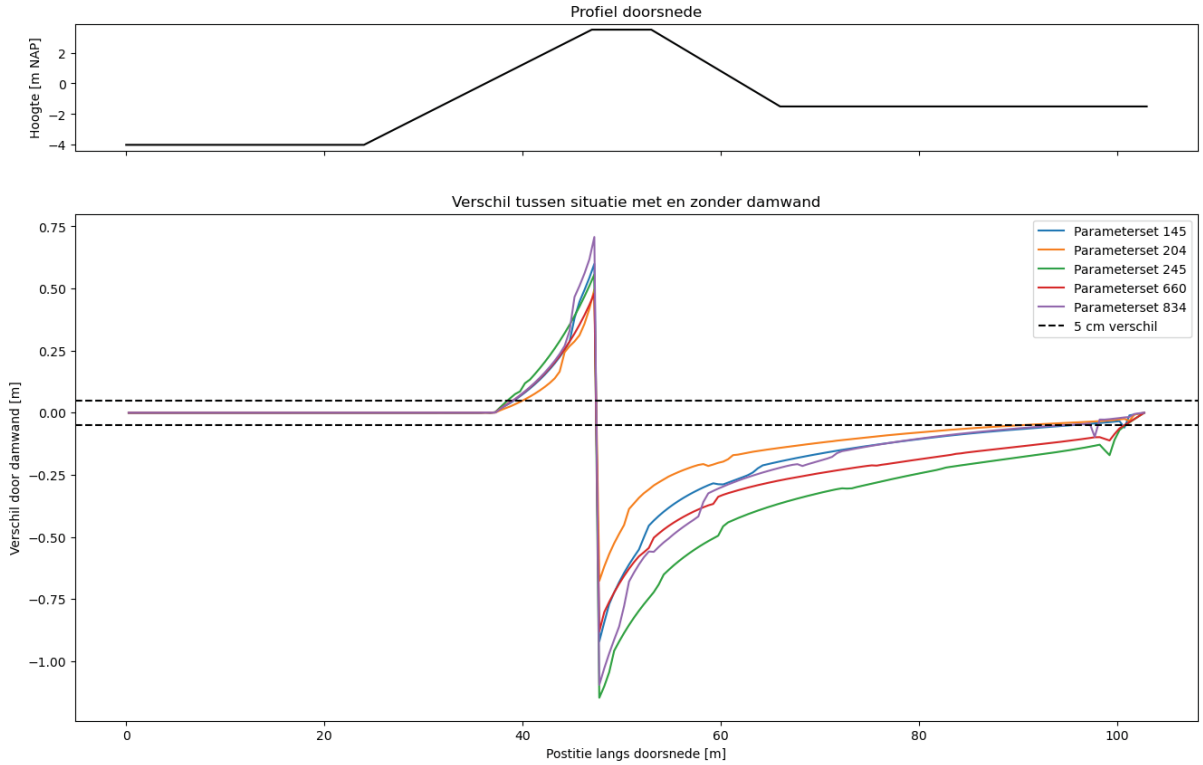


Figuur 9-22 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1

Droge situatie



Figuur 9-23 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 204 in het geval van een lage grondwateraanvulling

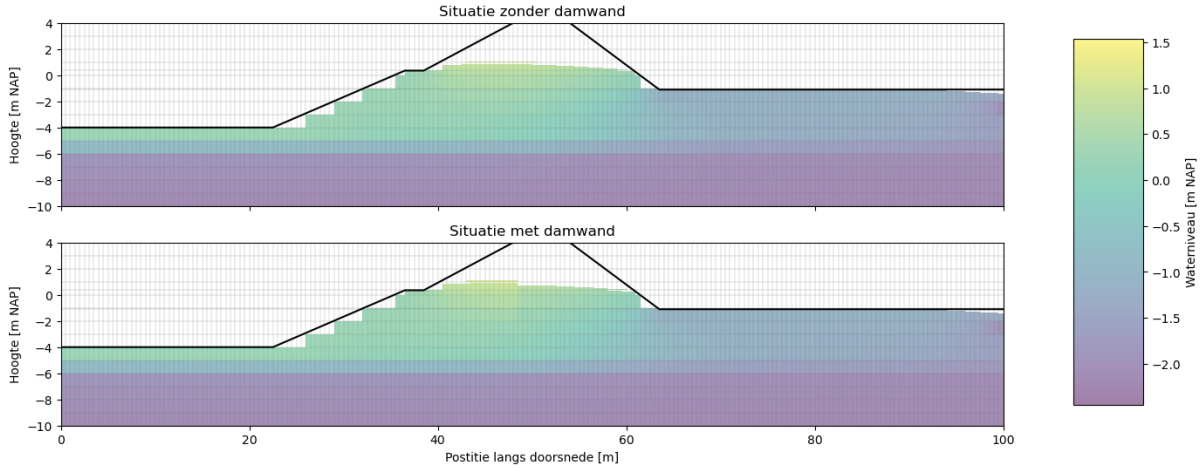


Figuur 9-24 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1 in het geval van geen grondwateraanvulling

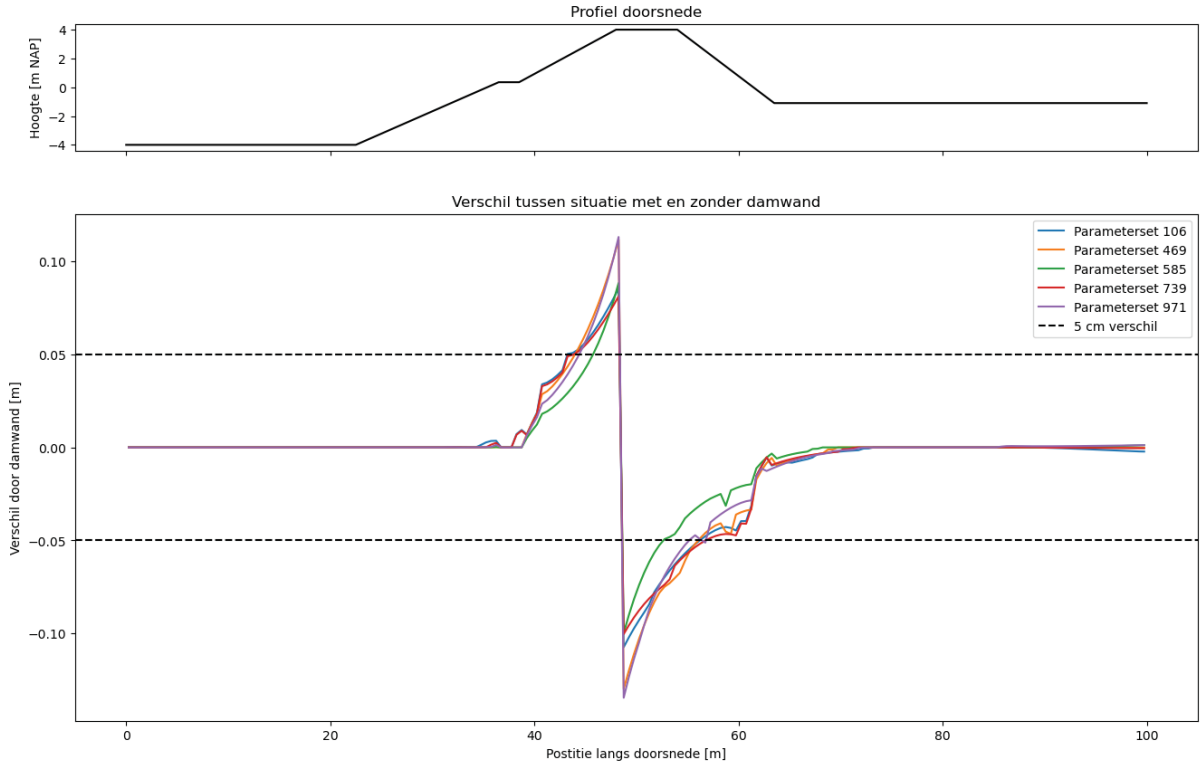
Damwand tot NAP -2 meter

Doorsnede E

Natte situatie

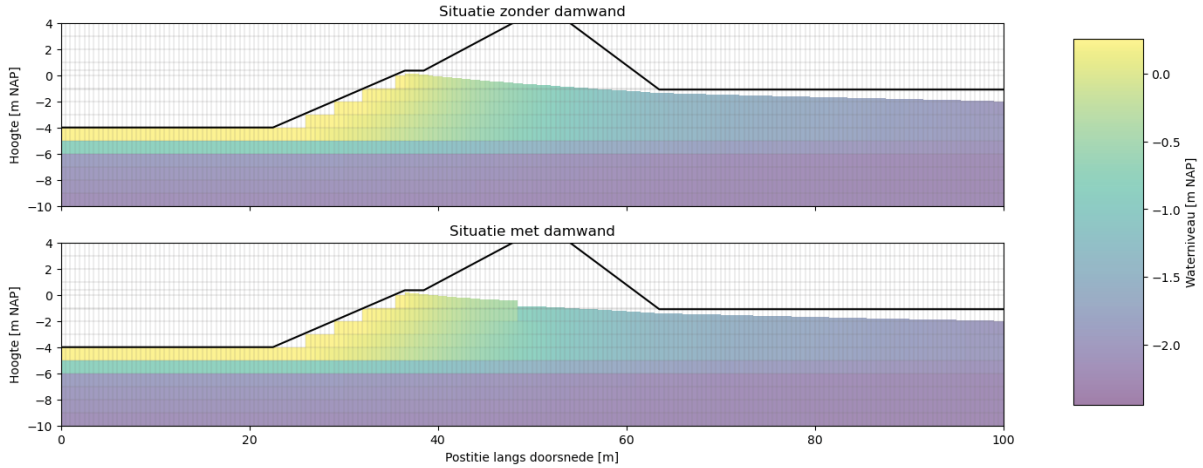


Figuur 9-25 Verschil tussen situatie zonder en met damwand tot NAP -2 meter voor parameterset 106

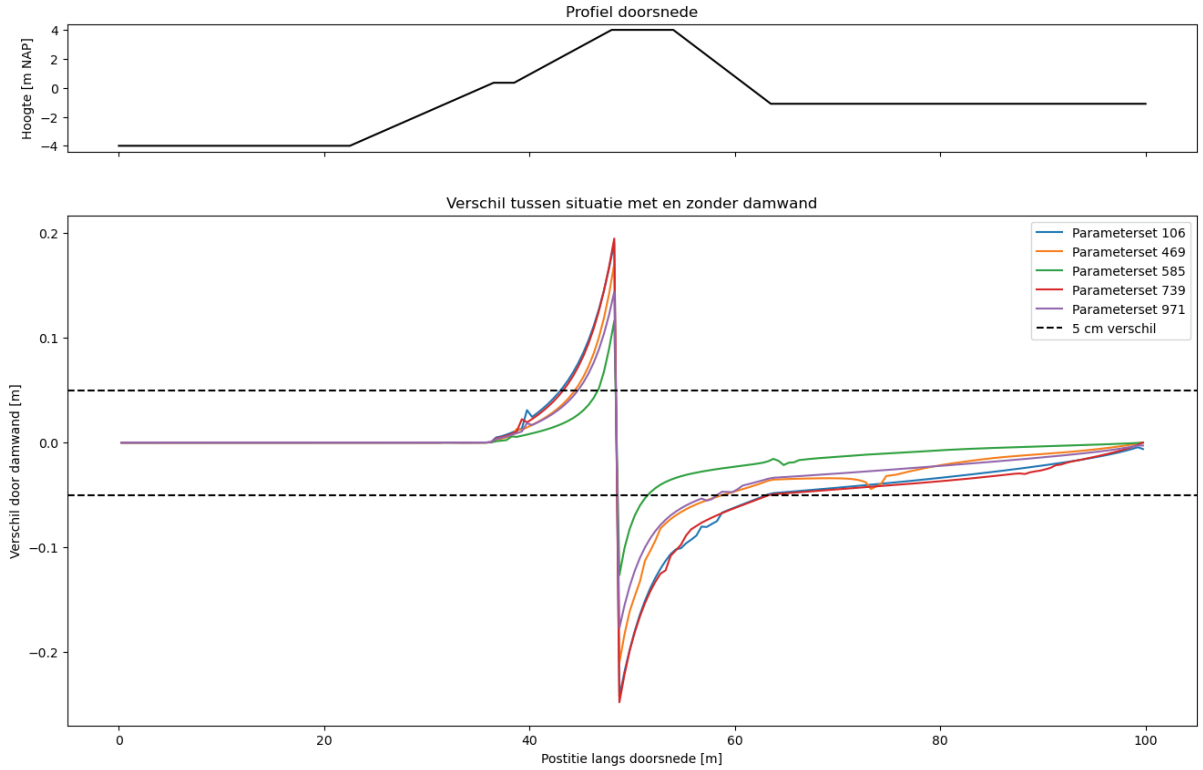


Figuur 9-26 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand tot NAP -2 meter in de buitenkruin voor doorsnede E

Droge situatie



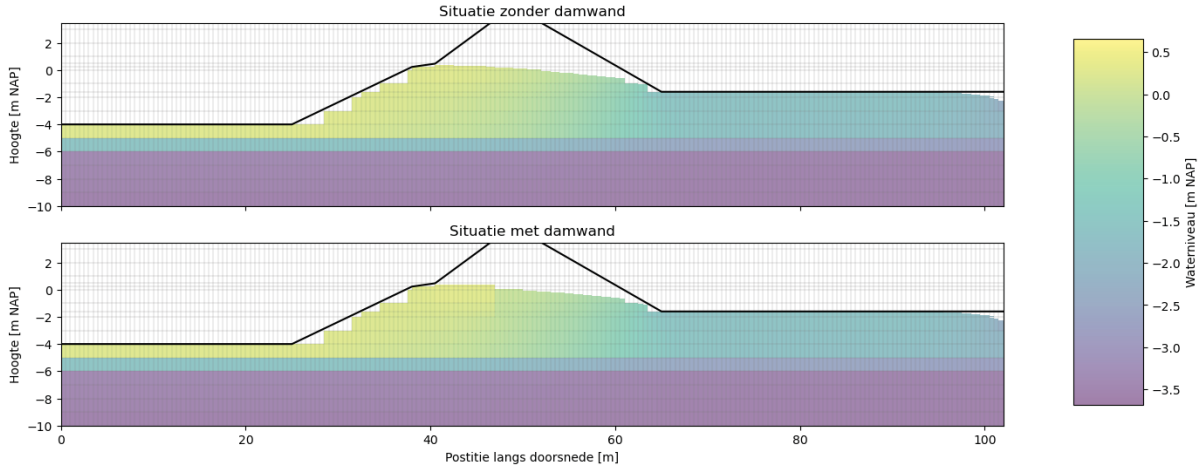
Figuur 9-27 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 106 in het geval van een lage grondwateraanvulling



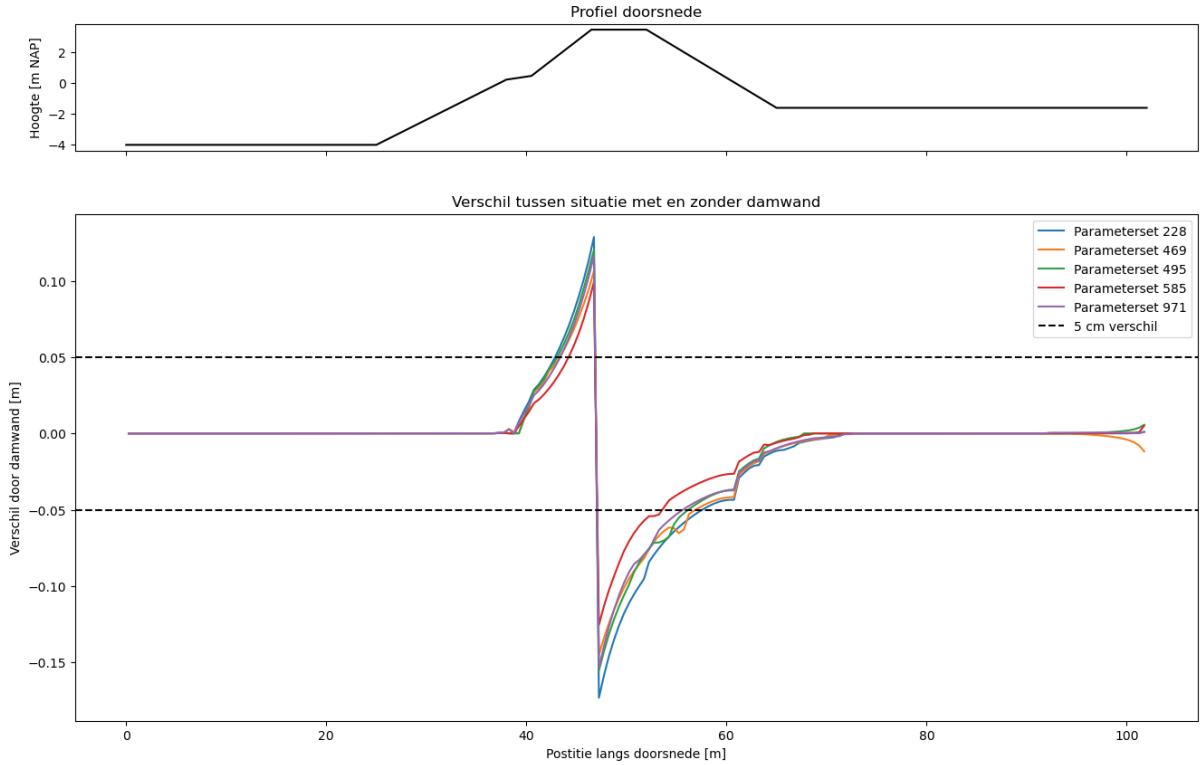
Figuur 9-28 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede E in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede F

Natte periode

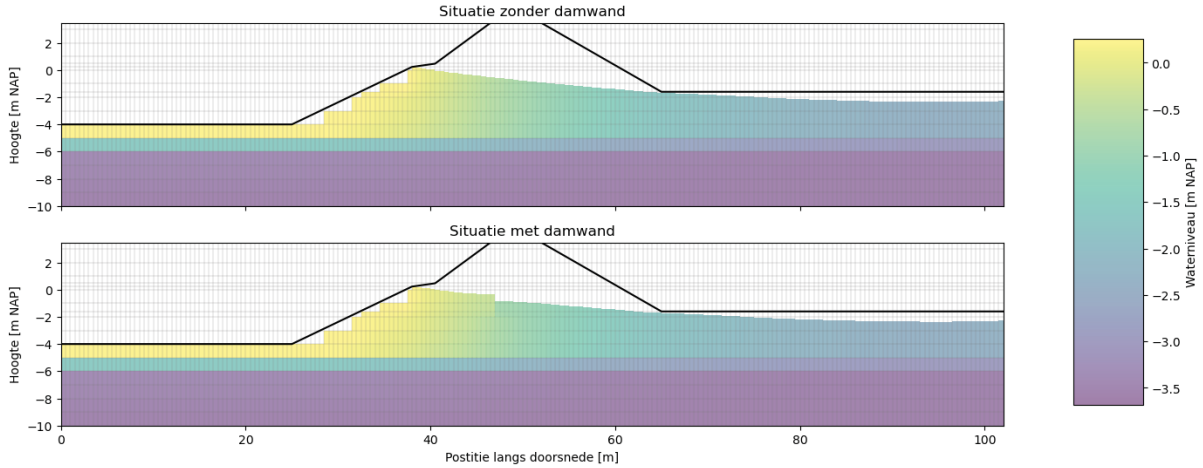


Figuur 9-29 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 971

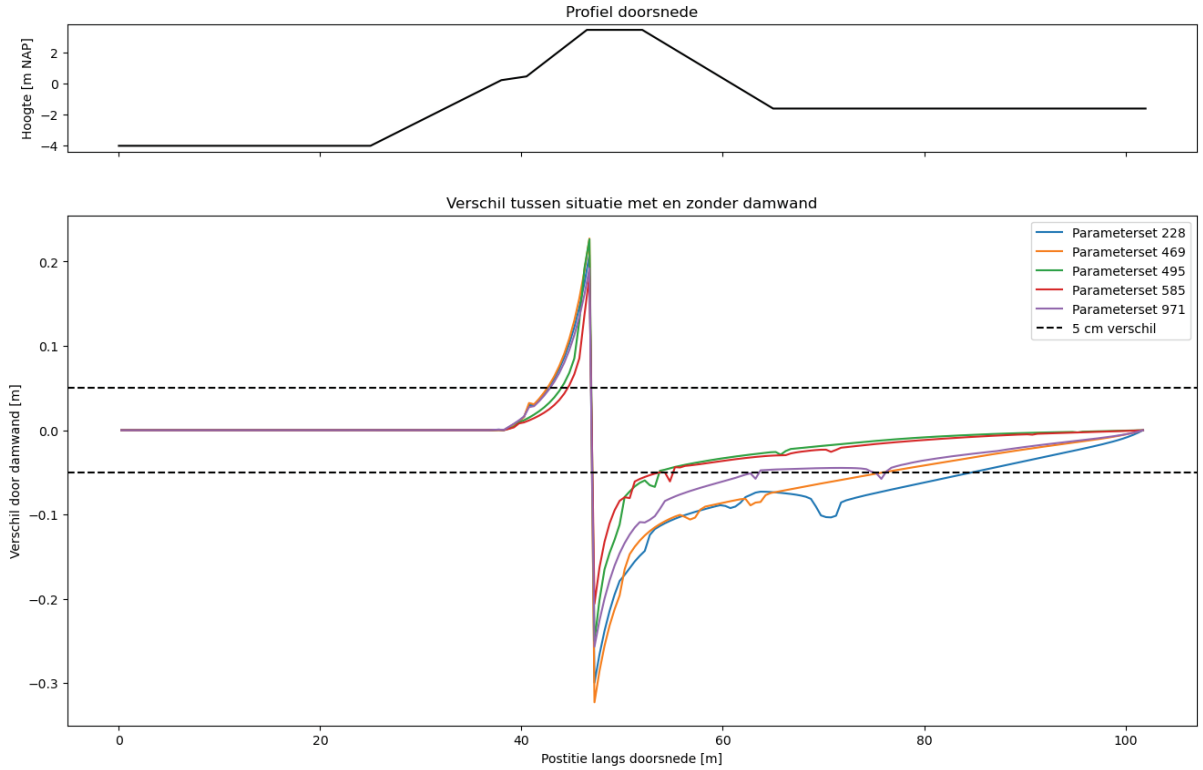


Figuur 9-30 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F

Droge situatie



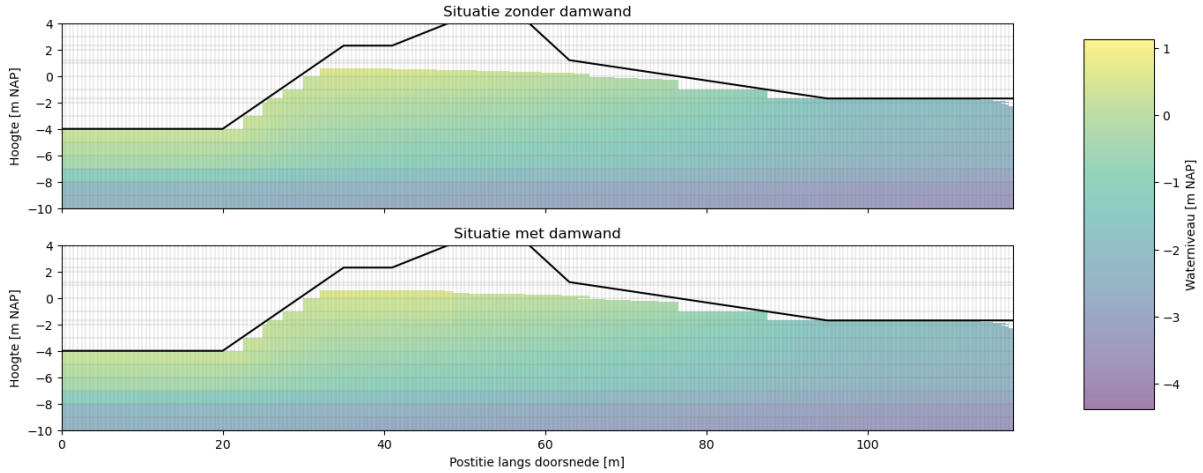
Figuur 9-31 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 971 in het geval van een lage grondwateraanvulling



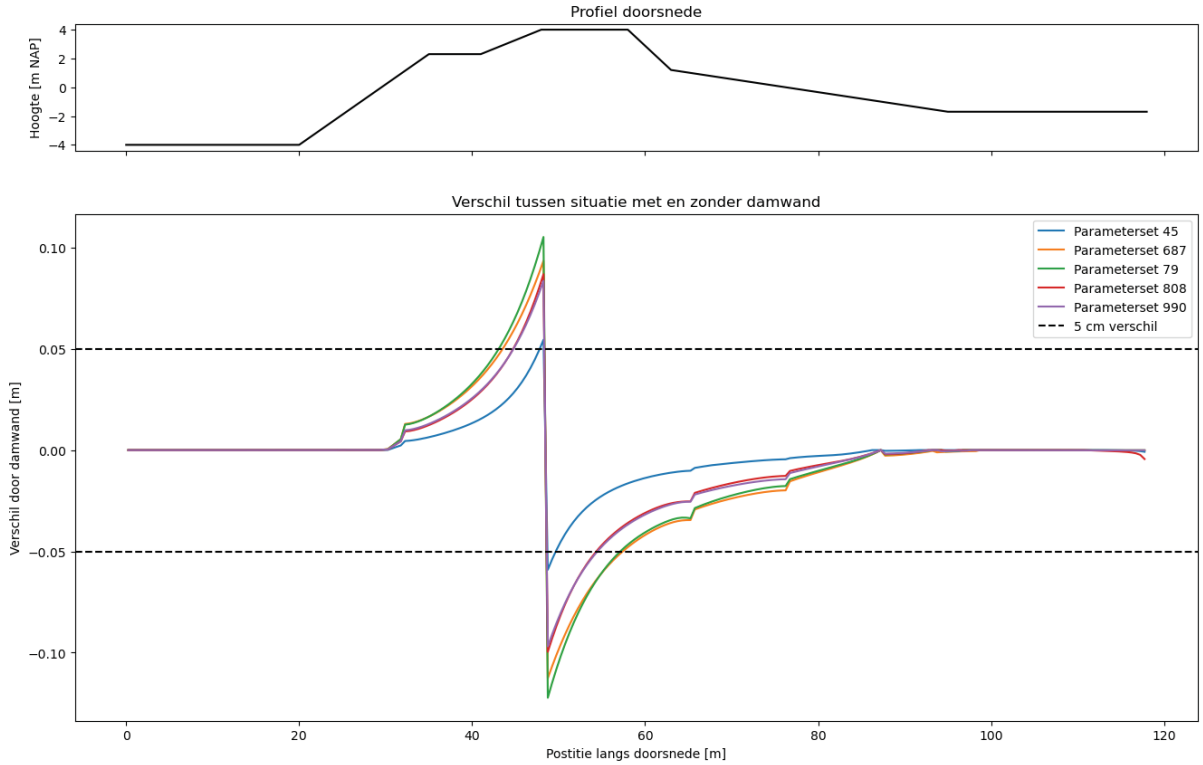
Figuur 9-32 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede I1

Natte situatie

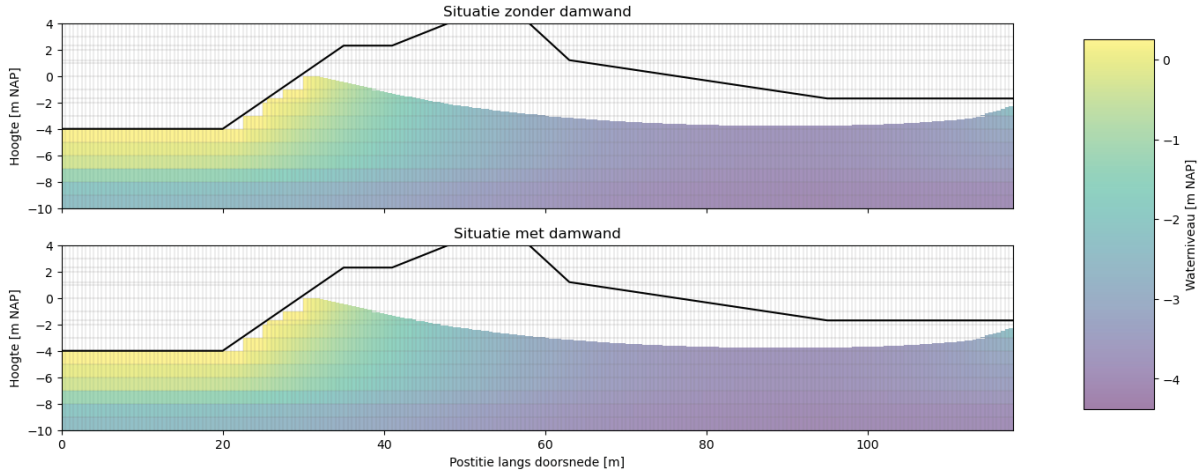


Figuur 9-33 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808

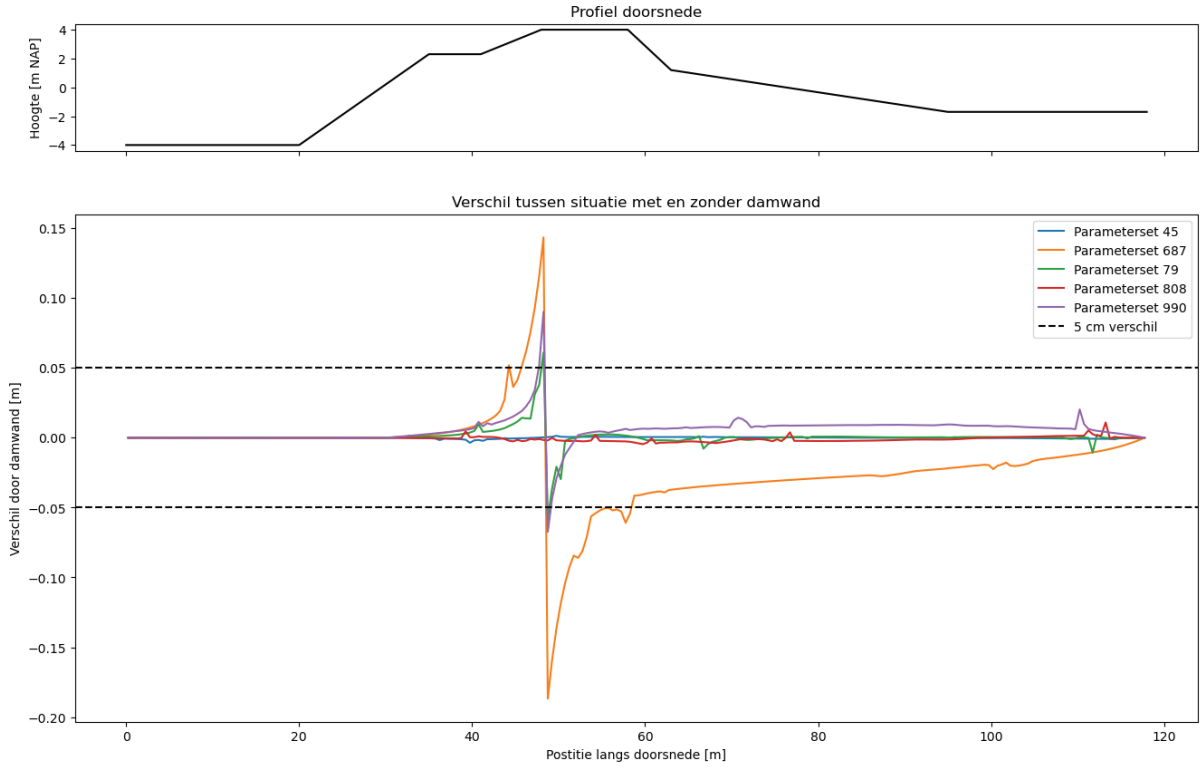


Figuur 9-34 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1

Droge situatie



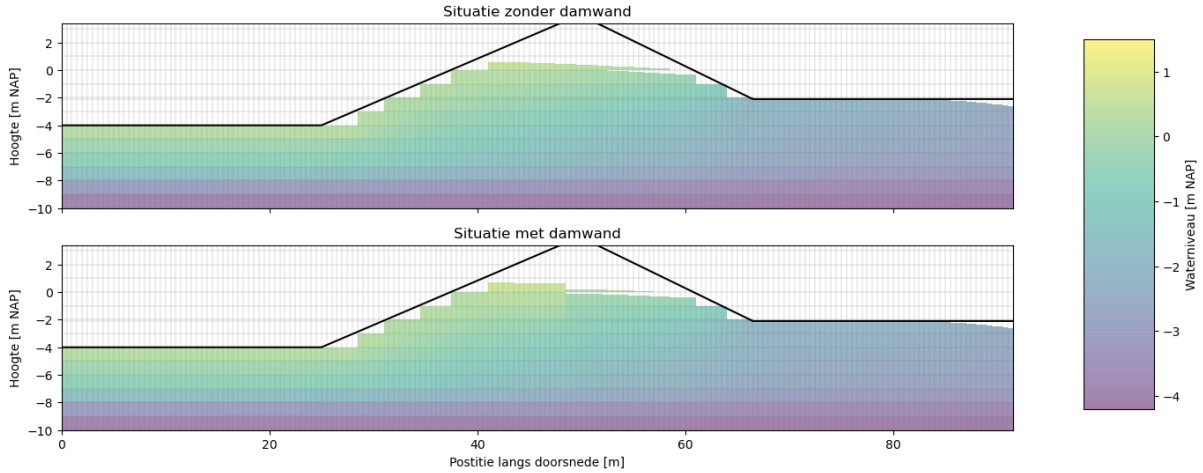
Figuur 9-35 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808 in het geval van een lage grondwateraanvulling



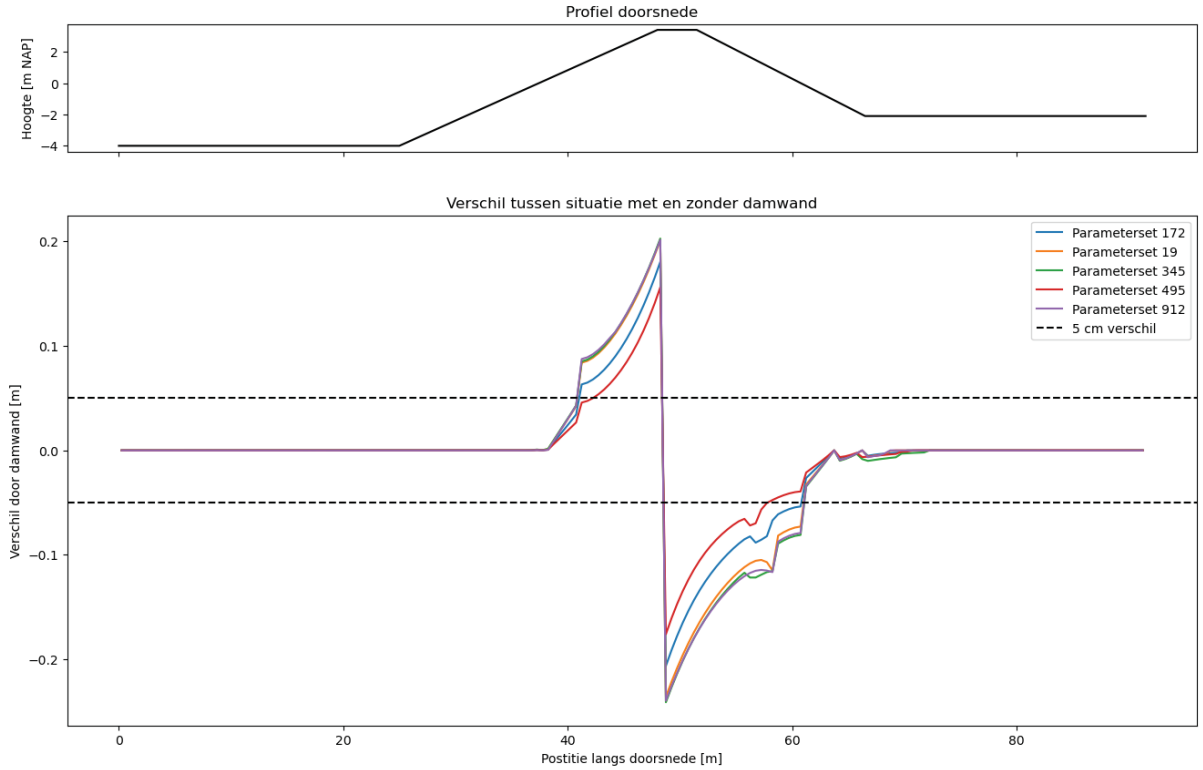
Figuur 9-36 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede M2

Natte periode

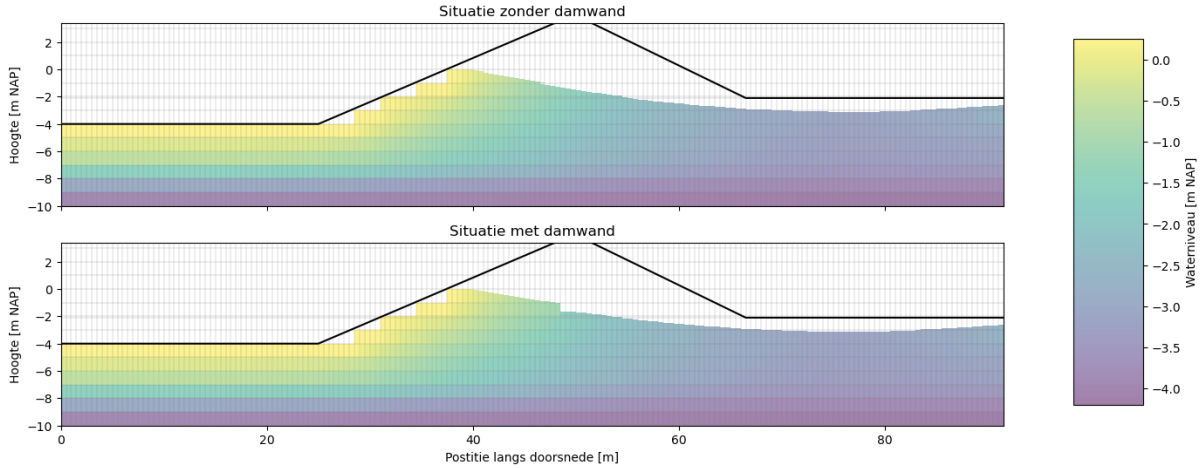


Figuur 9-37 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 19

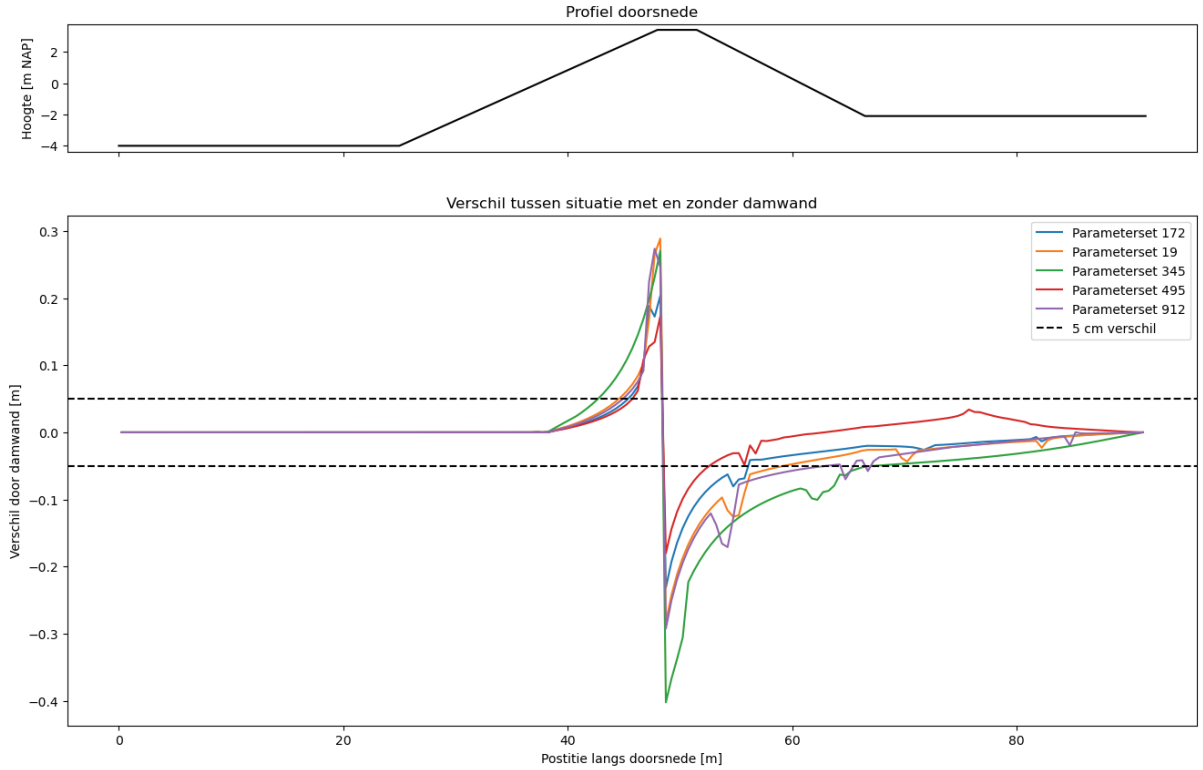


Figuur 9-38 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2

Droge situatie



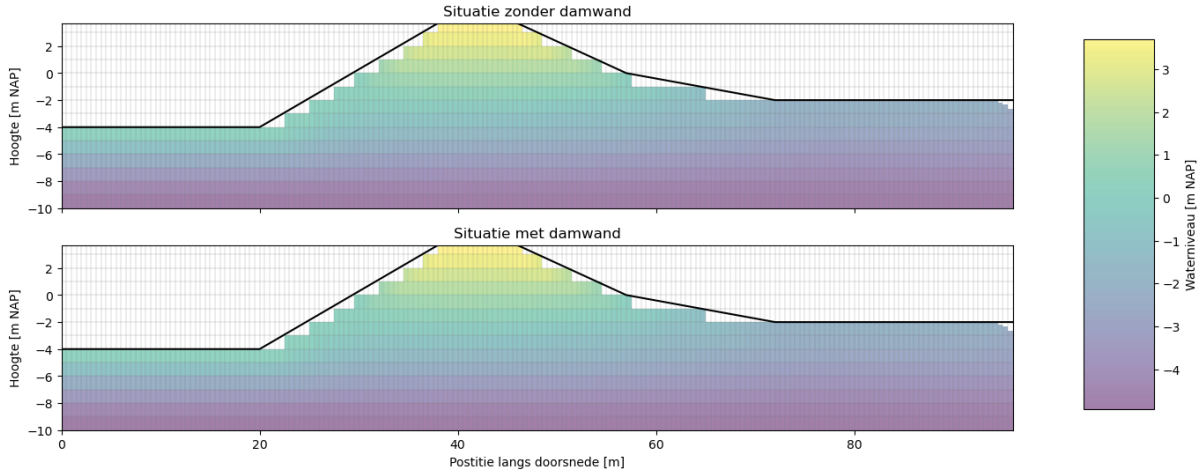
Figuur 9-39 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 19 in het geval van een lage grondwateraanvulling



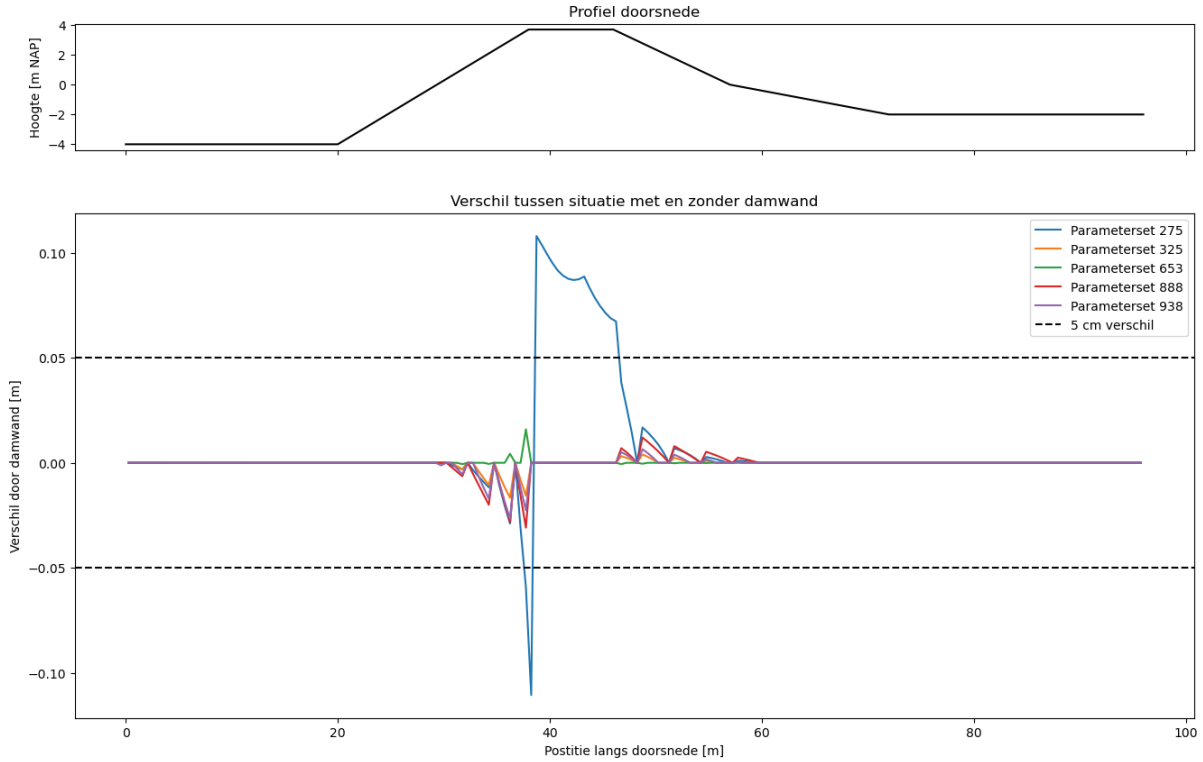
Figuur 9-40 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede O2

Natte situatie

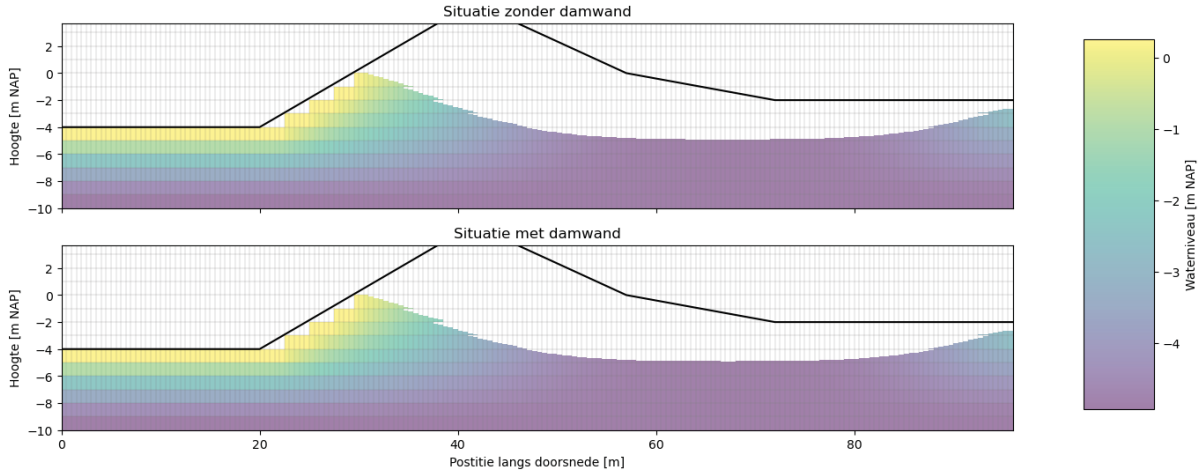


Figuur 9-41 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653

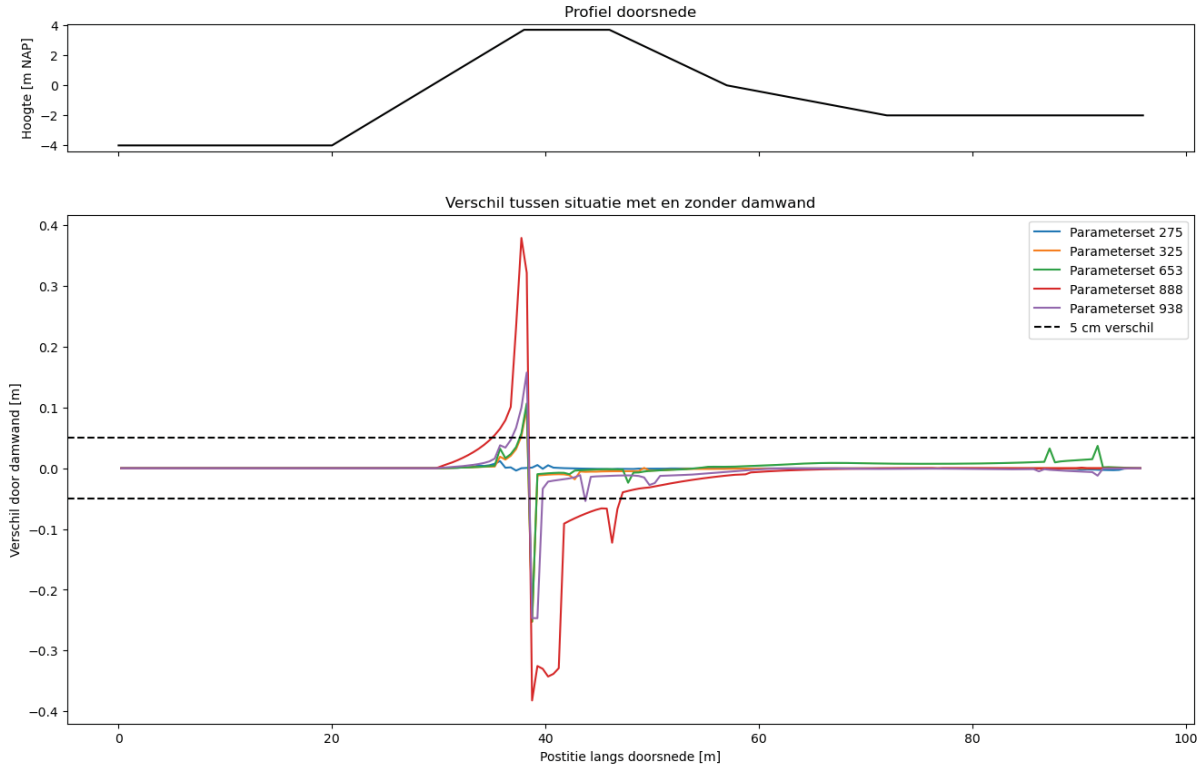


Figuur 9-42 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2

Droge situatie



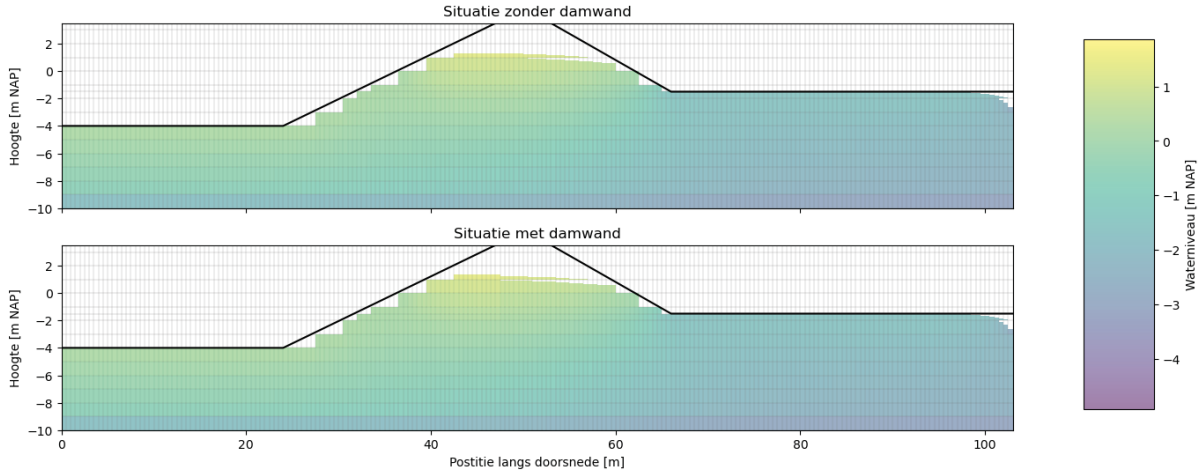
Figuur 9-43 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653 in het geval van een lage grondwateraanvulling



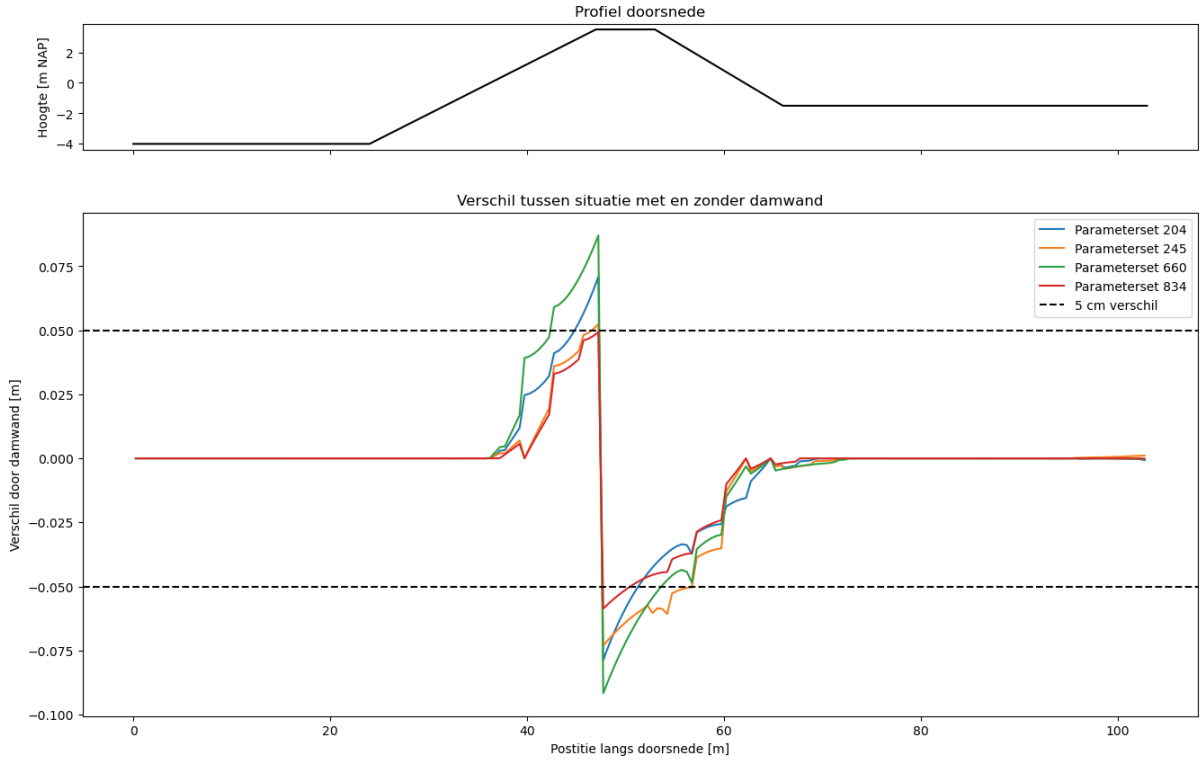
Figuur 9-44 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede U1

Natte periode

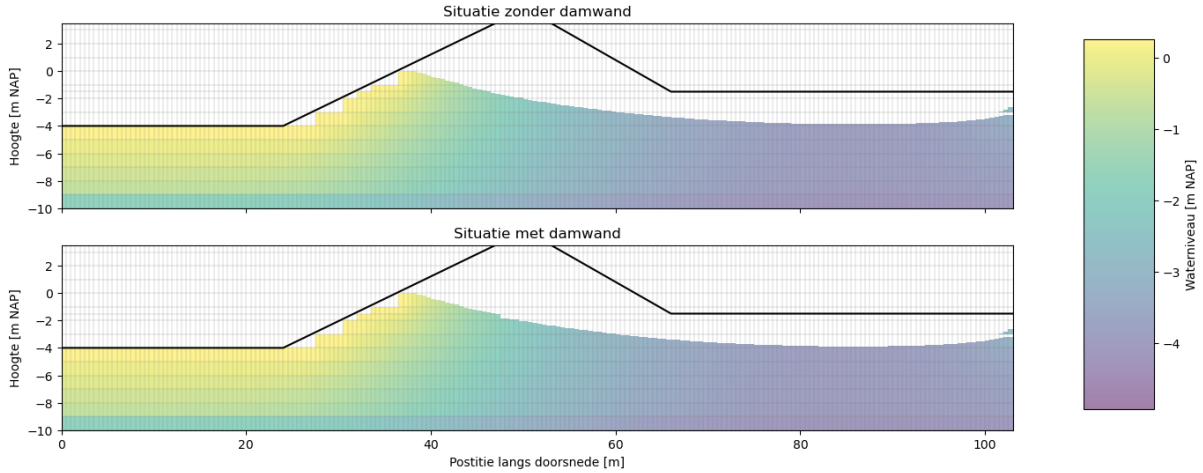


Figuur 9-45 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 204

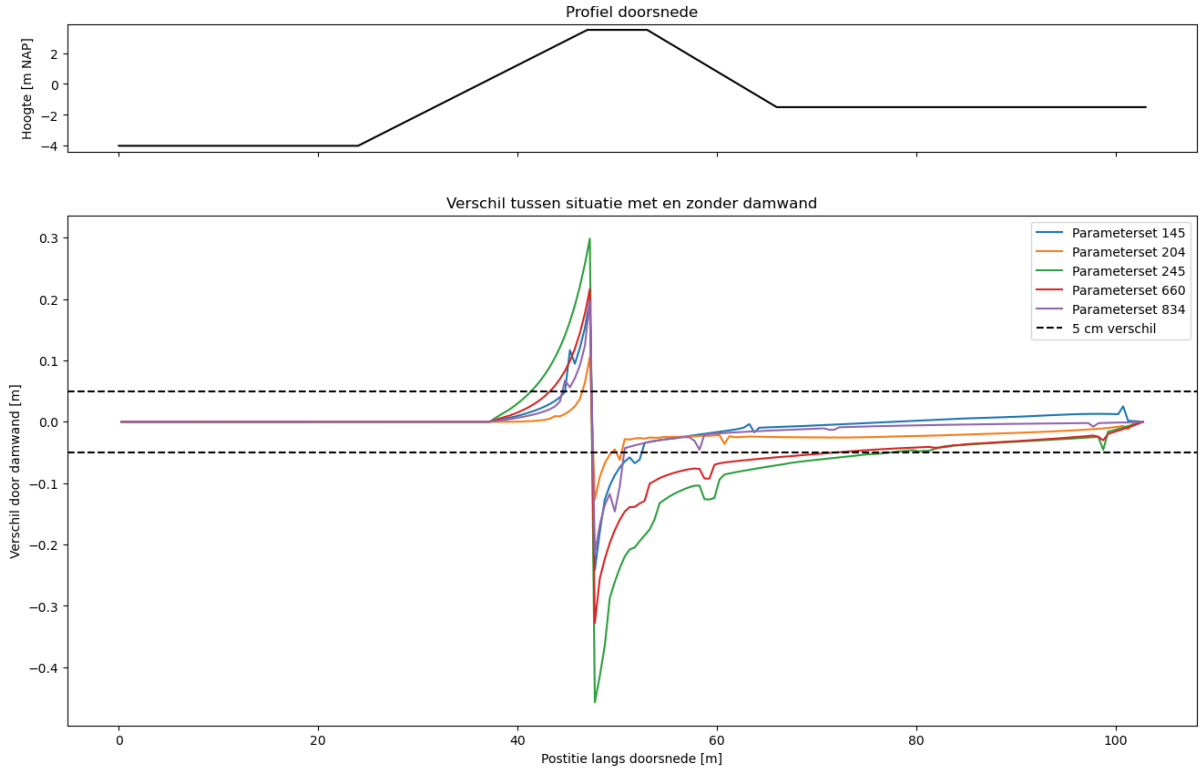


Figuur 9-46 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1

Droge situatie



Figuur 9-47 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 204 in het geval van een lage grondwateraanvulling



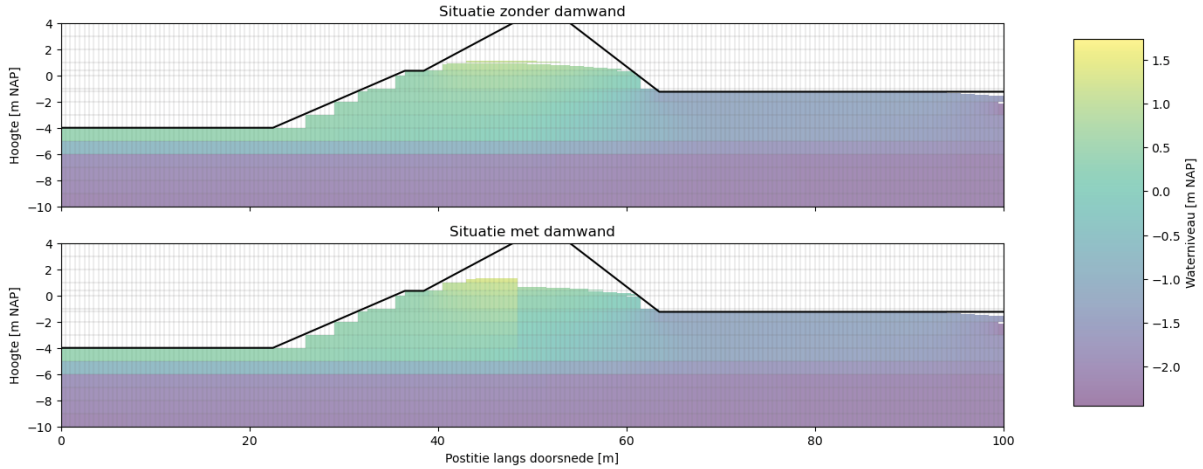
Figuur 9-48 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1 in het geval van geen grondwateraanvulling

Bijlage III: modellering effecten toekomstige situatie

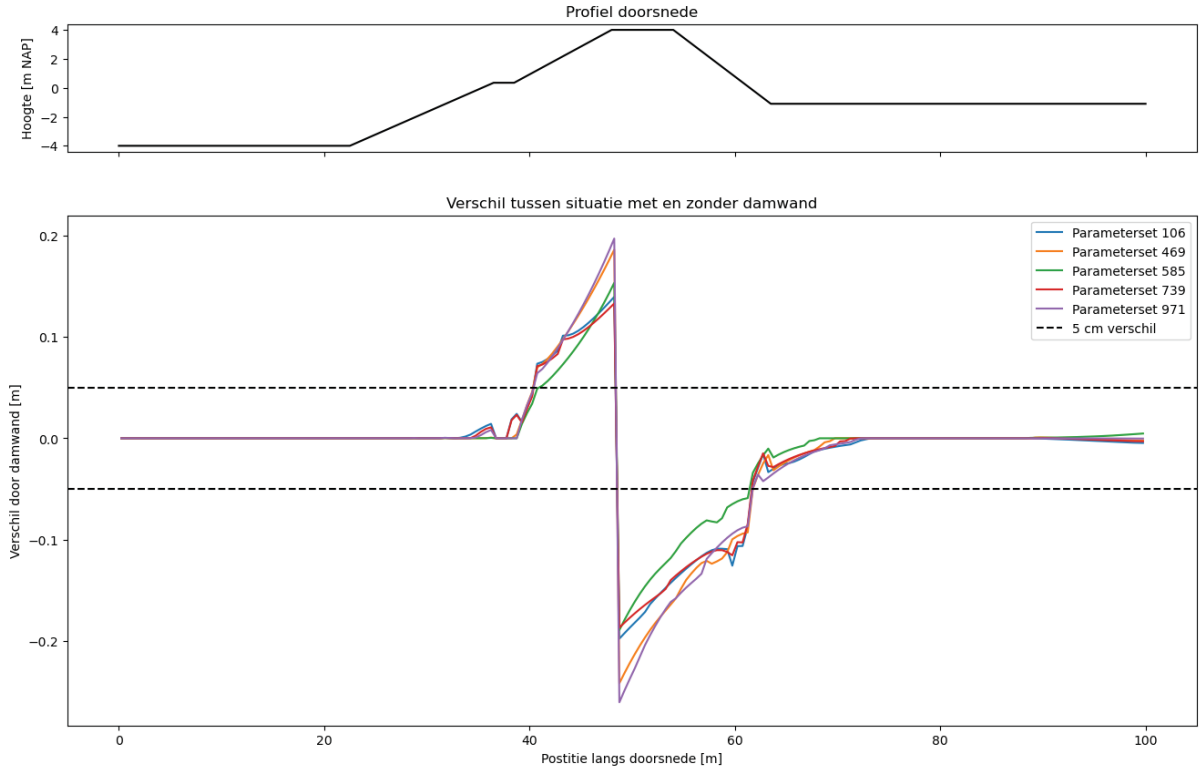
Damwand tot NAP -4 meter

Doorsnede E

Natte situatie

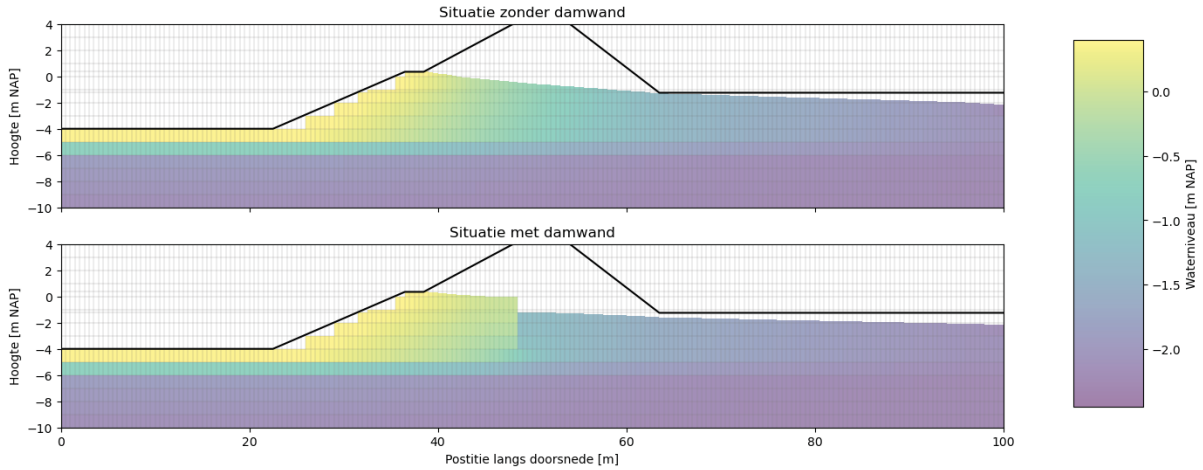


Figuur 9-1 Verschil tussen situatie zonder en met damwand tot NAP -4 meter voor parameterset 106

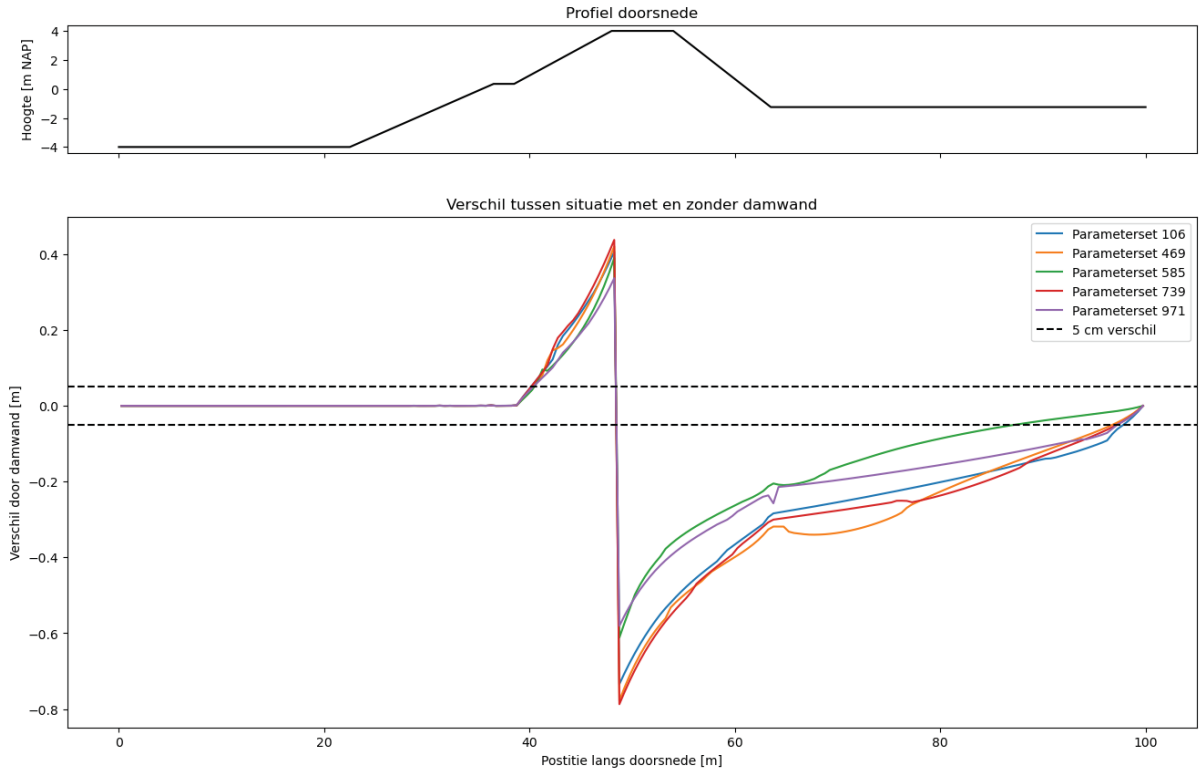


Figuur 9-2 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand tot NAP -4 meter in de buitenkruin voor doorsnede E

Droge situatie



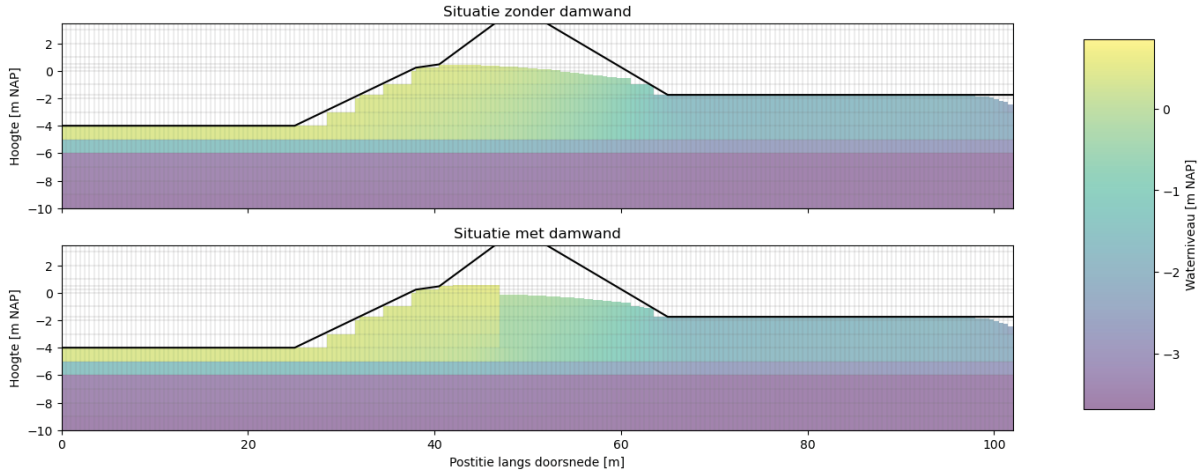
Figuur 9-3 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 106 in het geval van een lage grondwateraanvulling



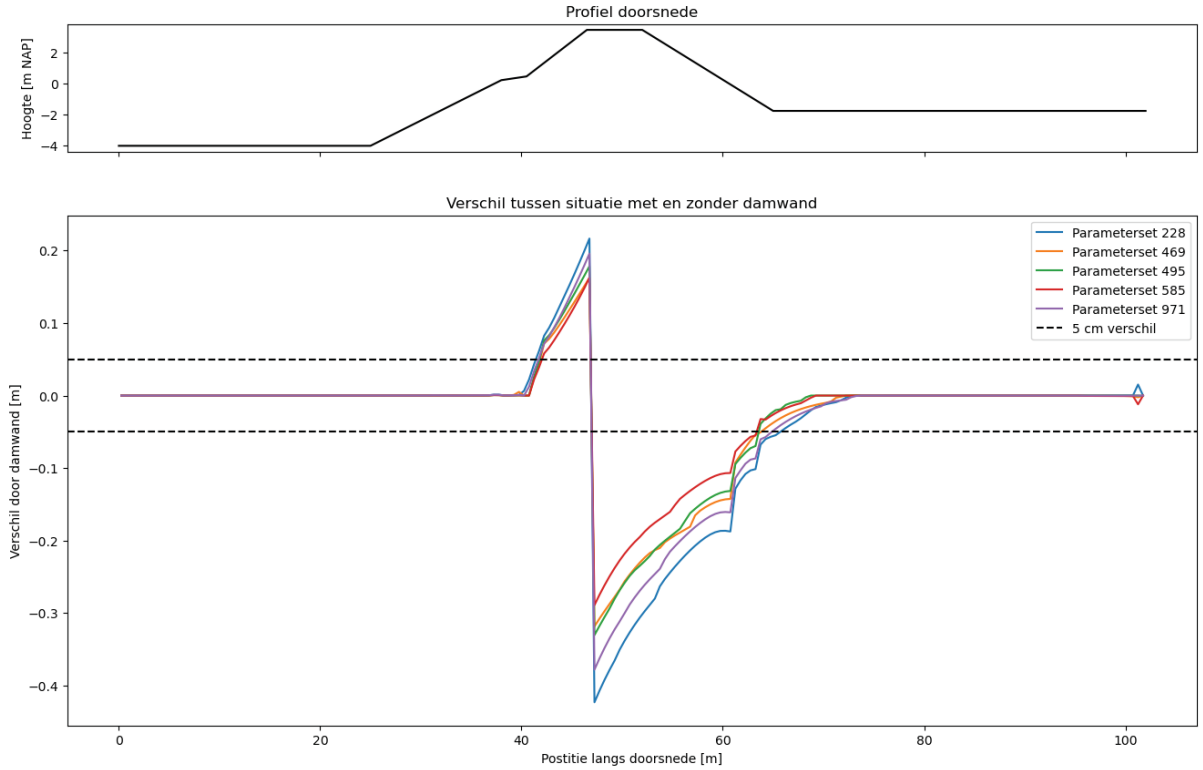
Figuur 9-4 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede E in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede F

Natte periode

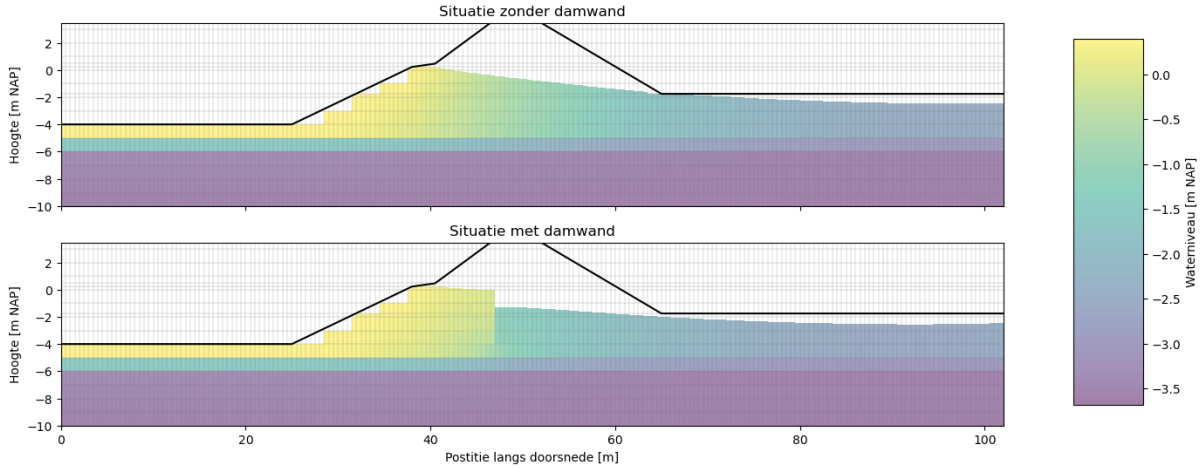


Figuur 9-5 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 971

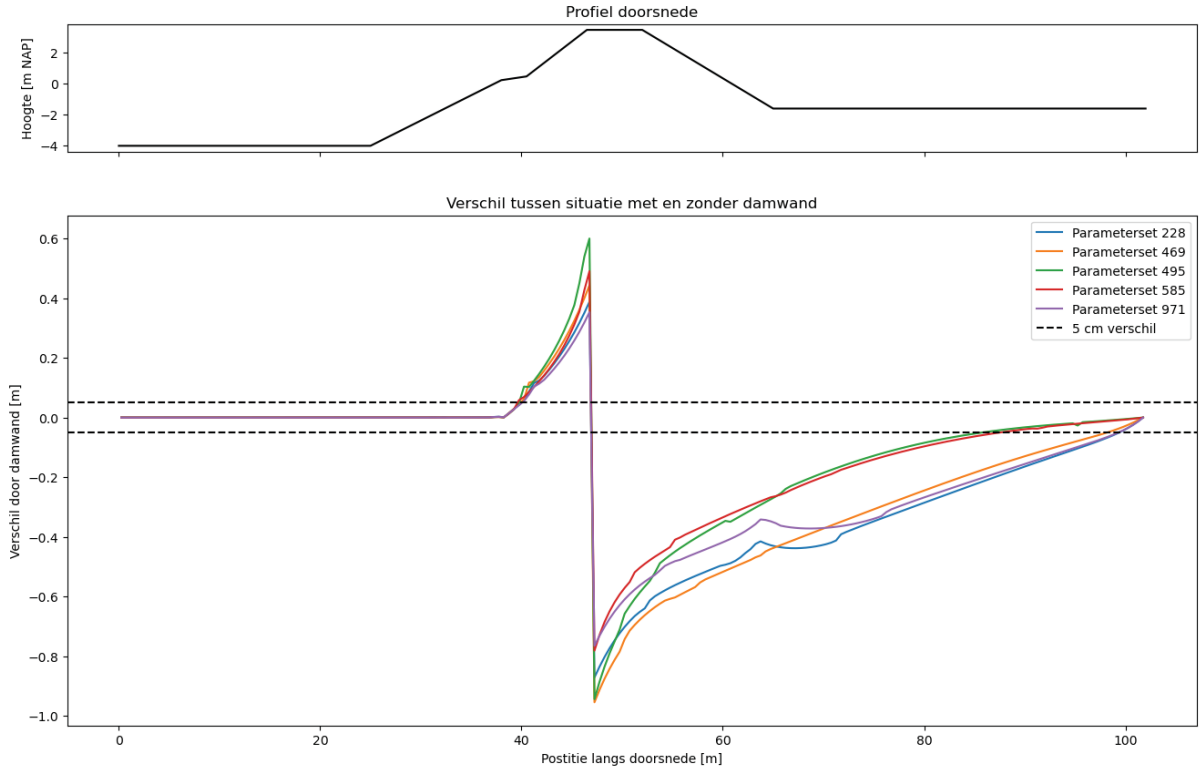


Figuur 9-6 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F

Droge situatie



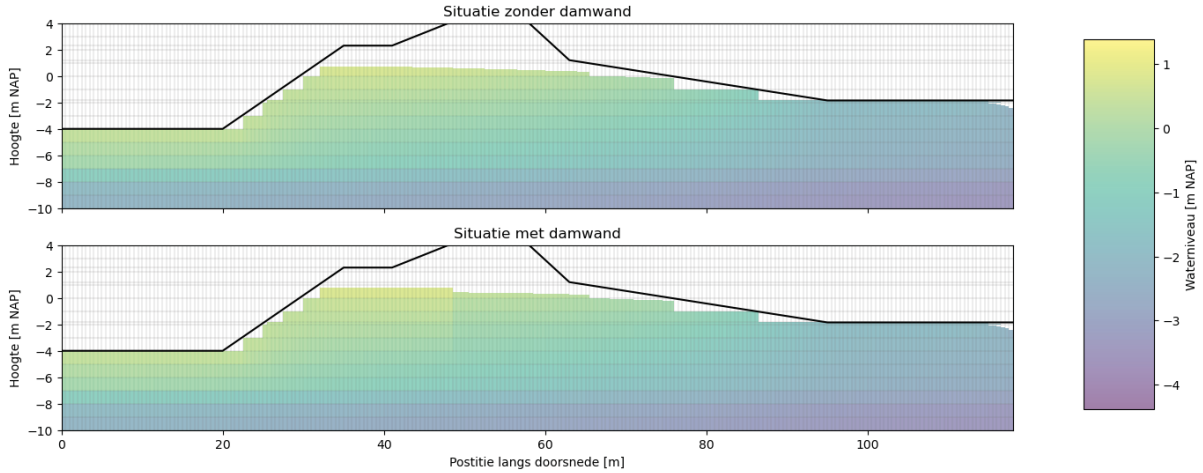
Figuur 9-7 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 971 in het geval van een lage grondwateraanvulling



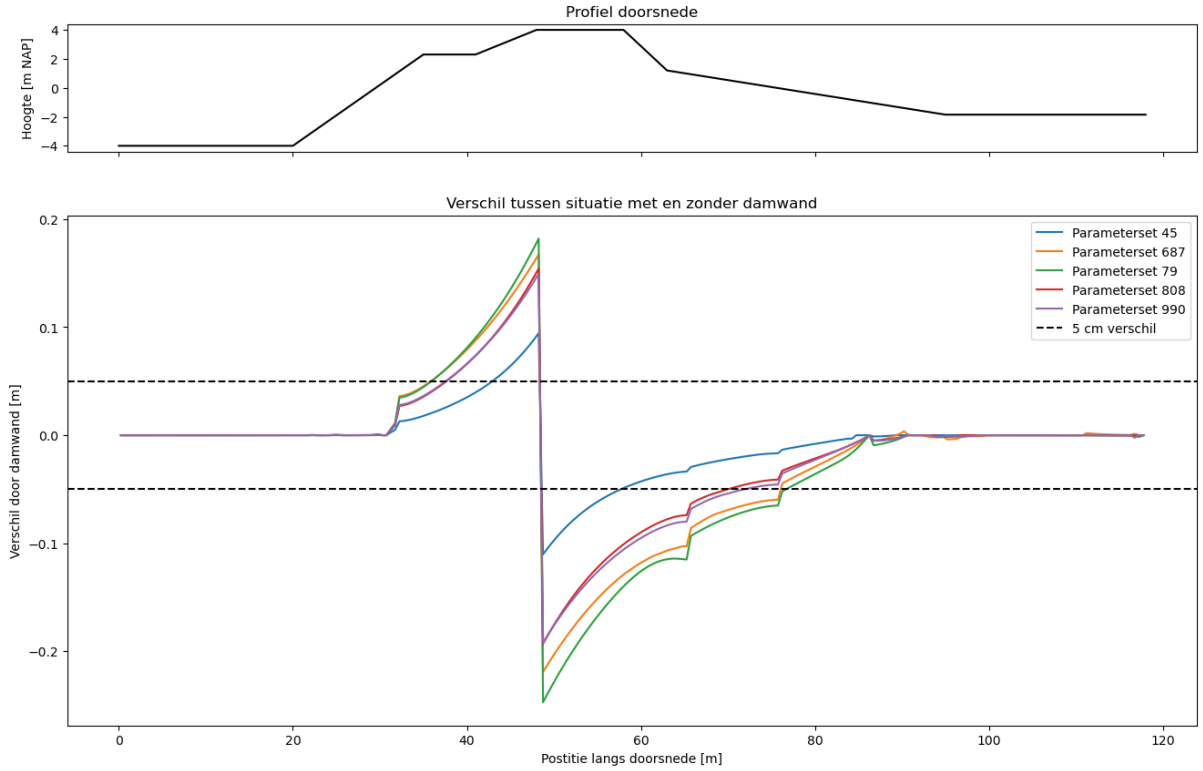
Figuur 9-8 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede I1

Natte situatie

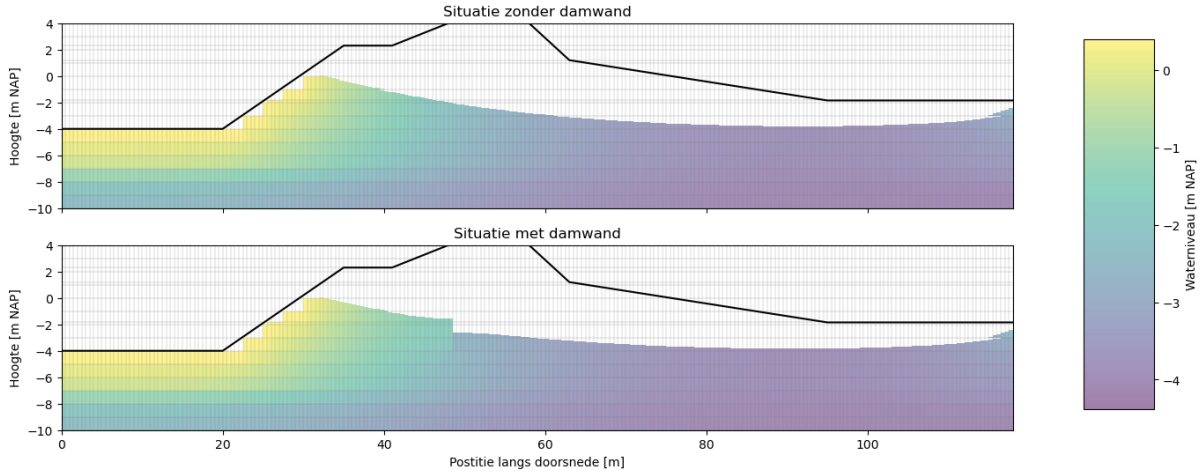


Figuur 9-9 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808

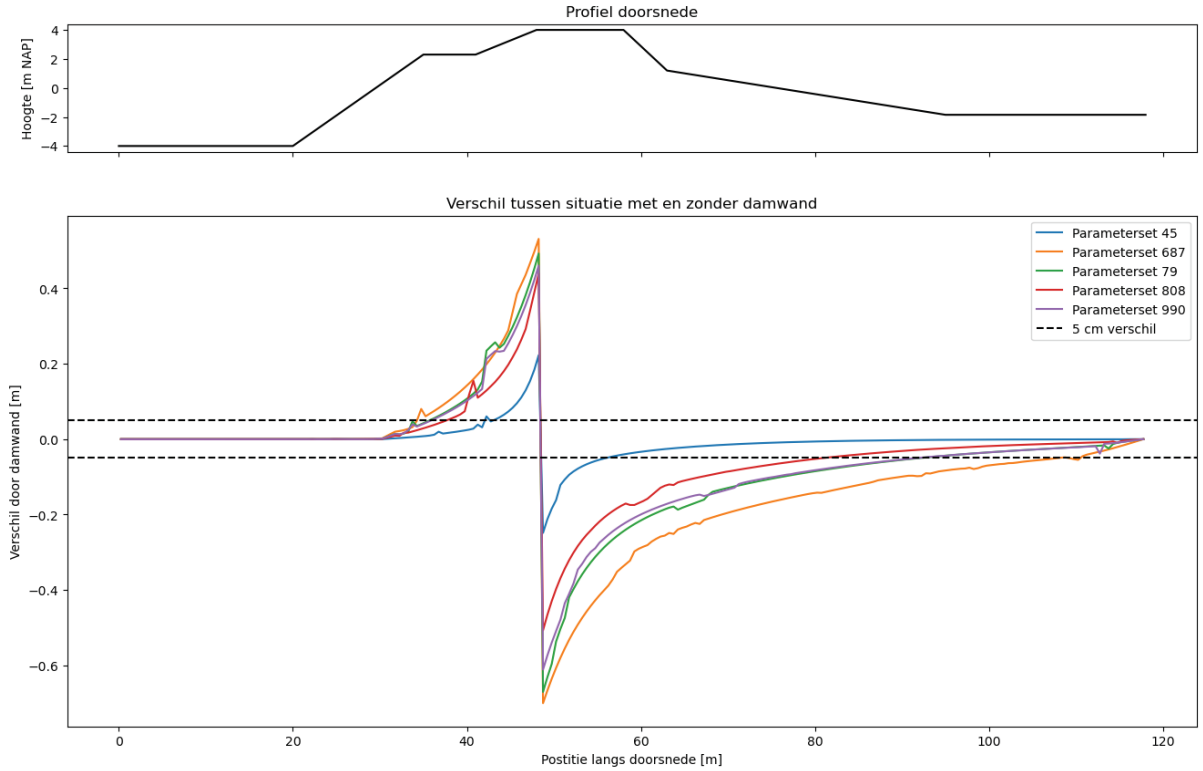


Figuur 9-10 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1

Droge situatie



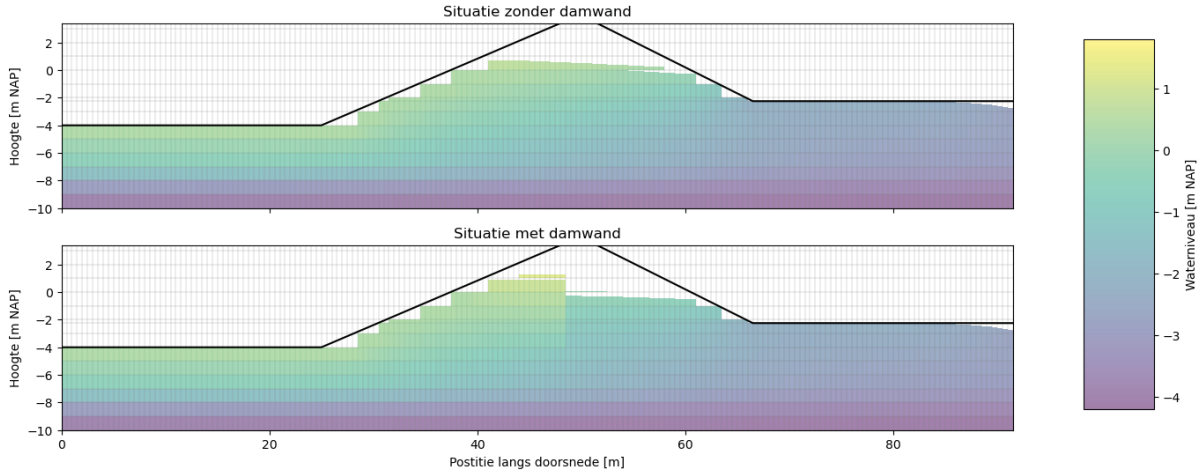
Figuur 9-11 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808 in het geval van een lage grondwateraanvulling



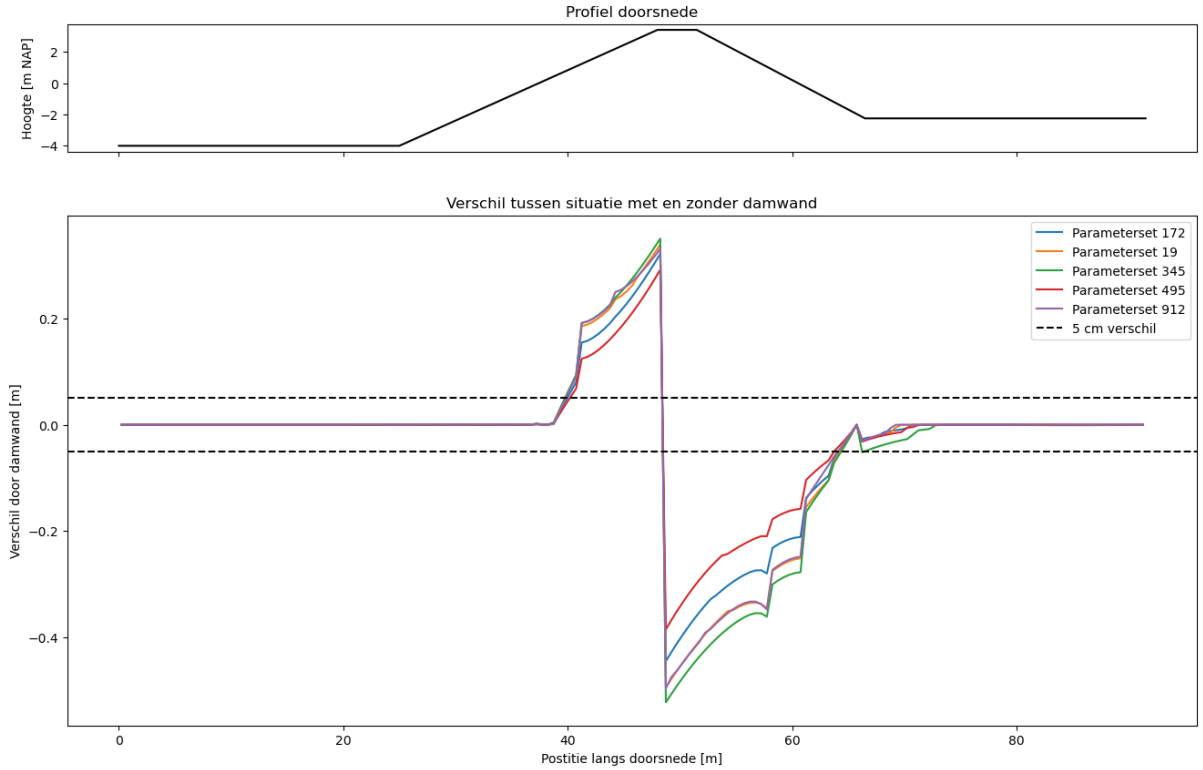
Figuur 9-12 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede M2

Natte periode

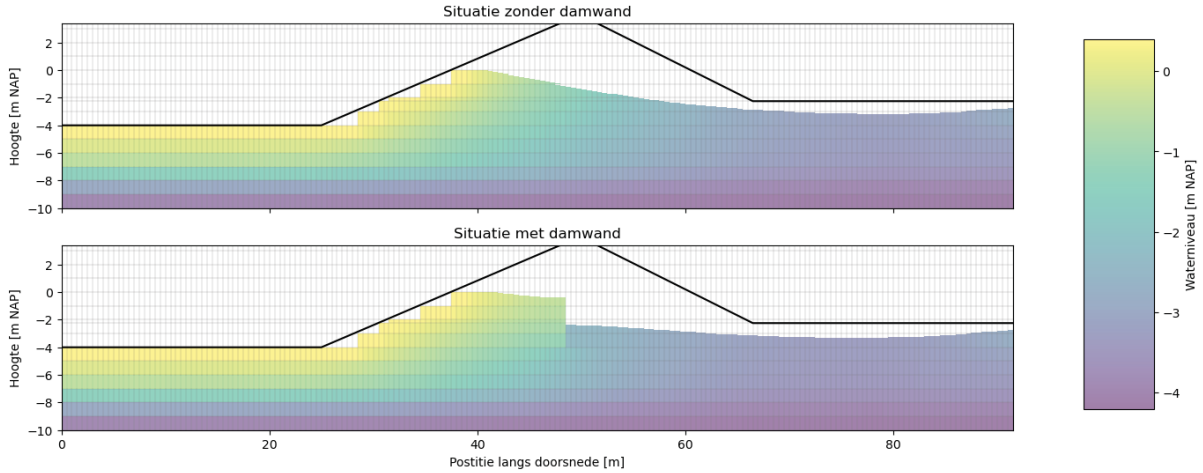


Figuur 9-13 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 19

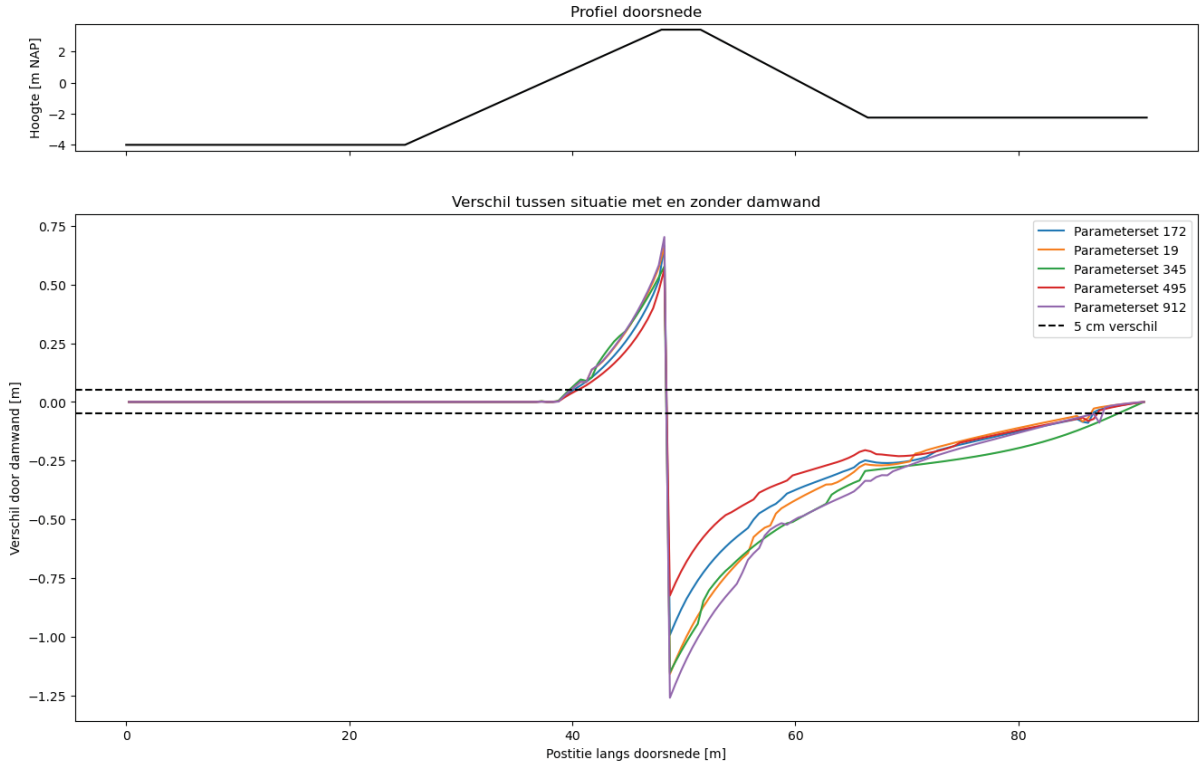


Figuur 9-14 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2

Droge situatie



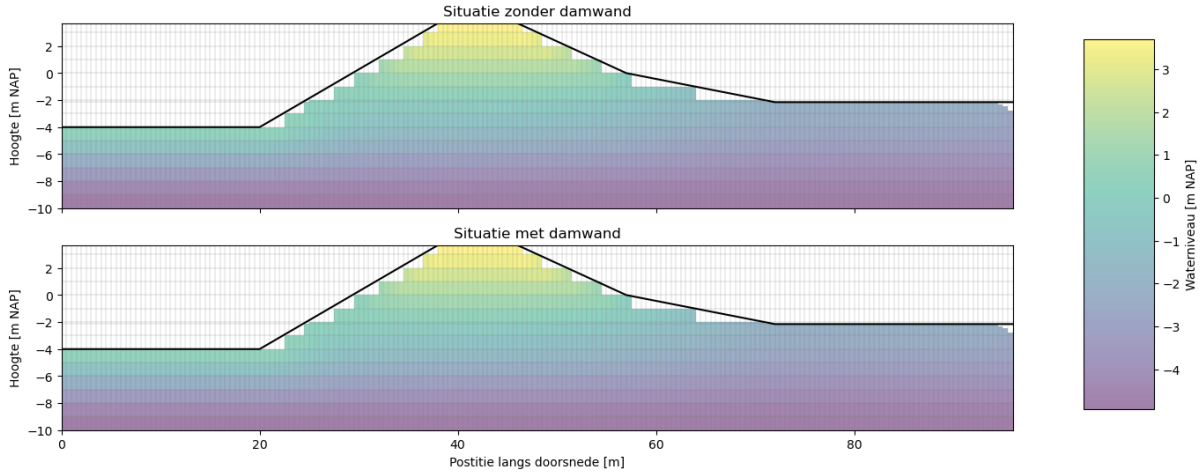
Figuur 9-15 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 19 in het geval van een lage grondwateraanvulling



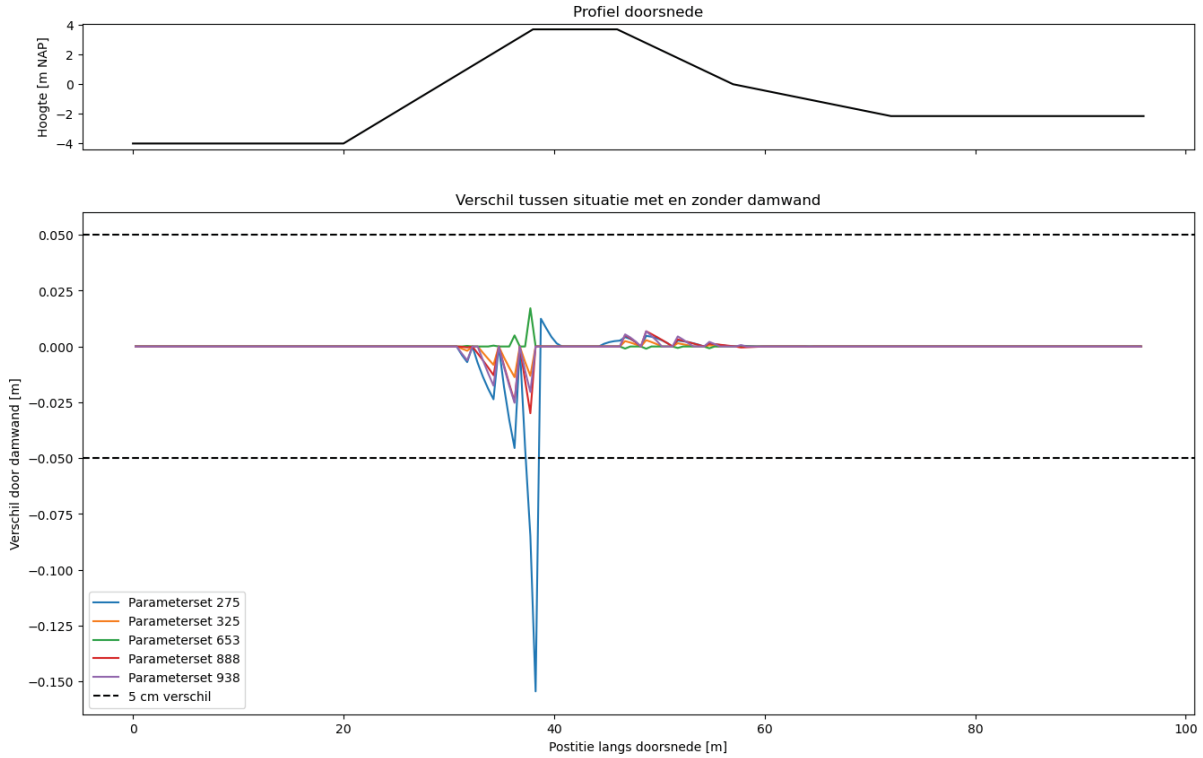
Figuur 9-16 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede O2

Natte situatie

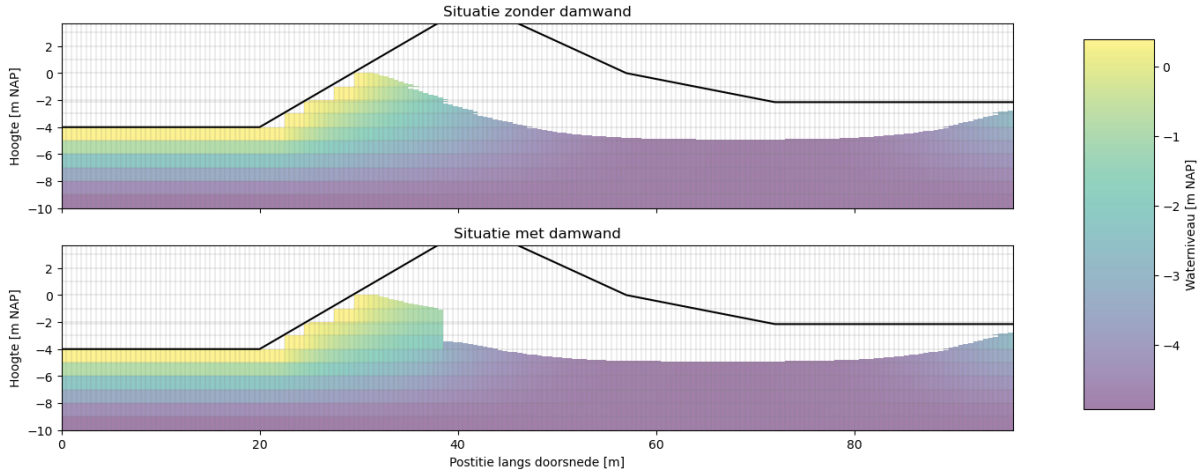


Figuur 9-17 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653

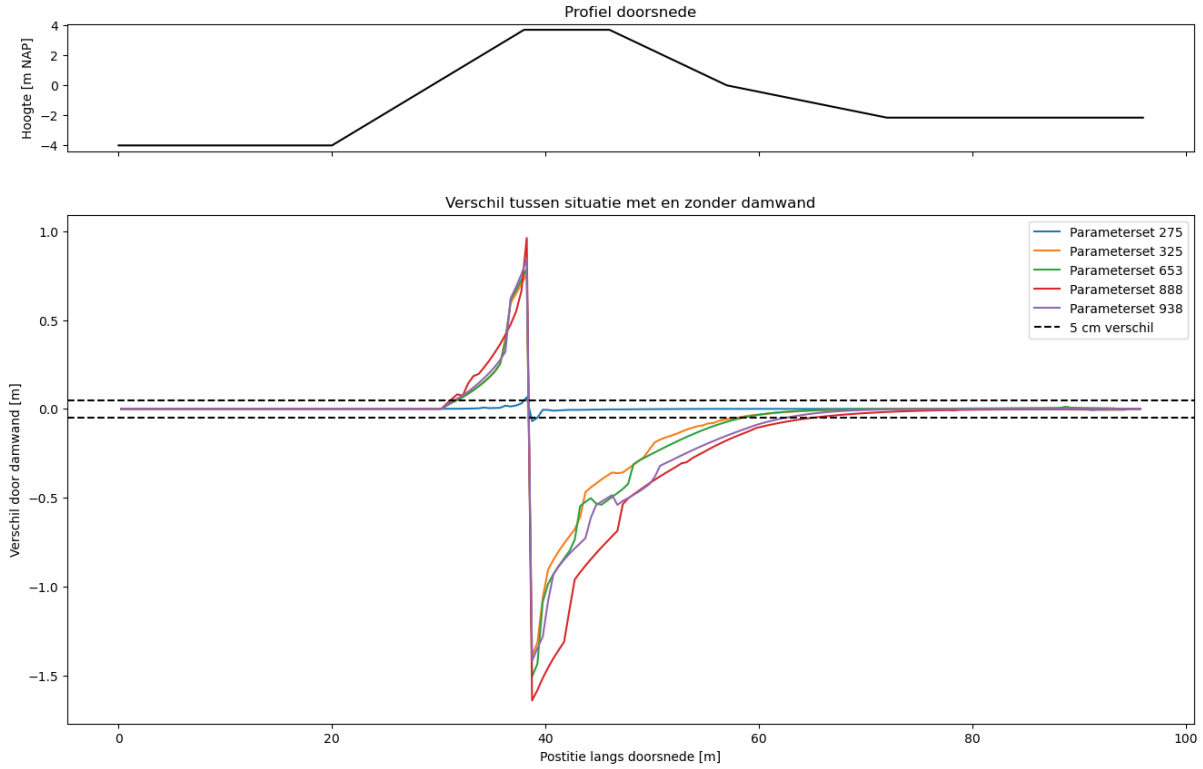


Figuur 9-18 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2

Droge situatie



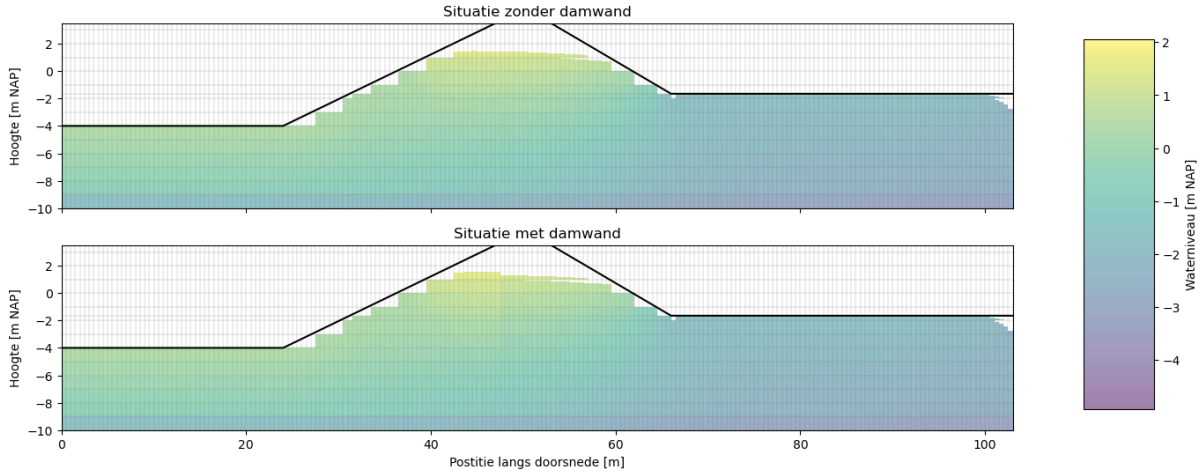
Figuur 9-19 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653 in het geval van een lage grondwateraanvulling



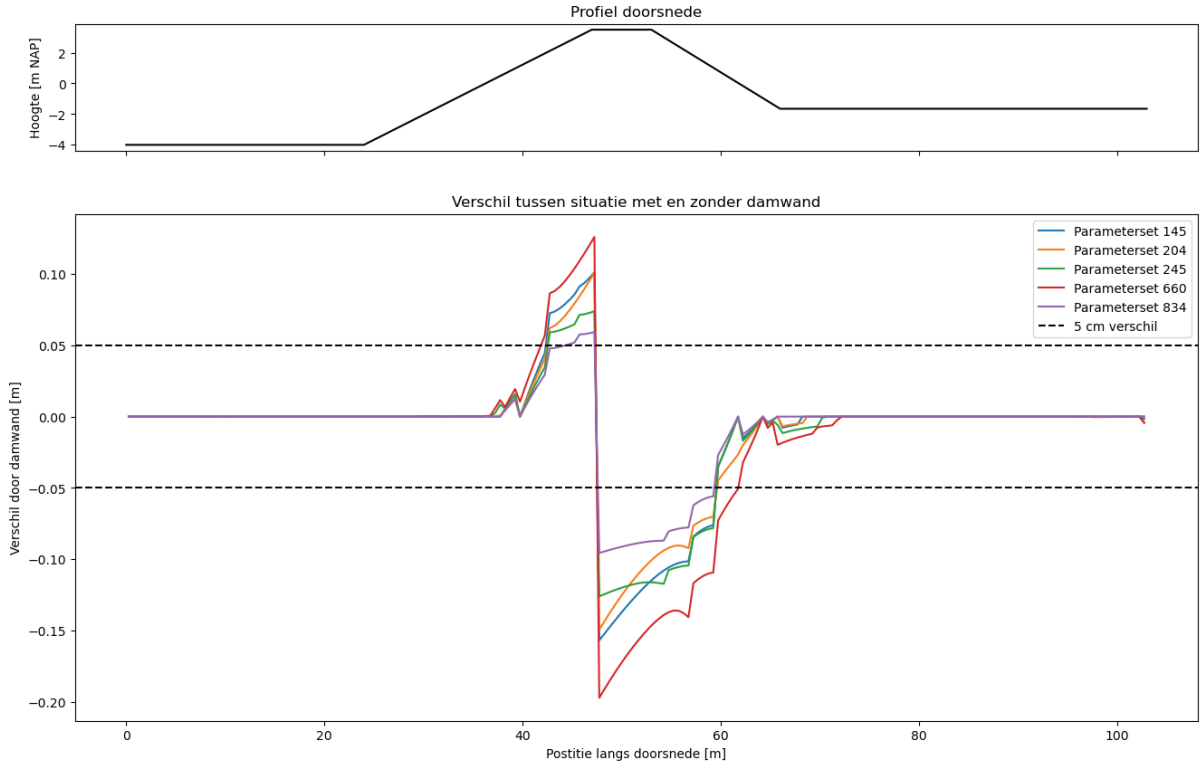
Figuur 9-20 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede U1

Natte periode

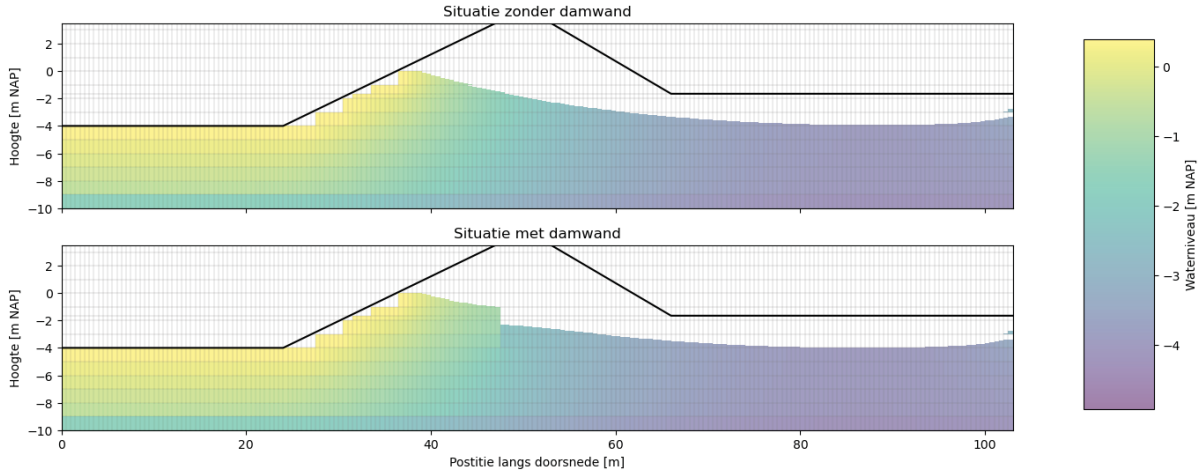


Figuur 9-21 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 204

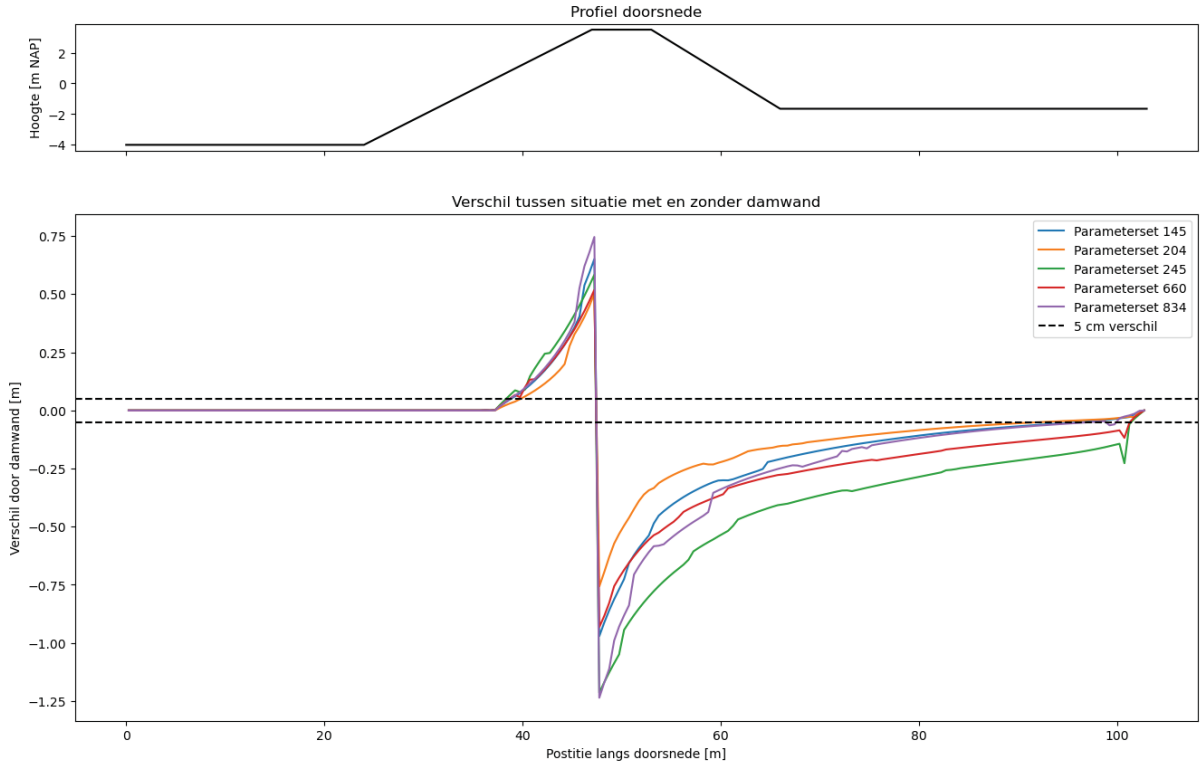


Figuur 9-22 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1

Droge situatie



Figuur 9-23 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 204 in het geval van een lage grondwateraanvulling

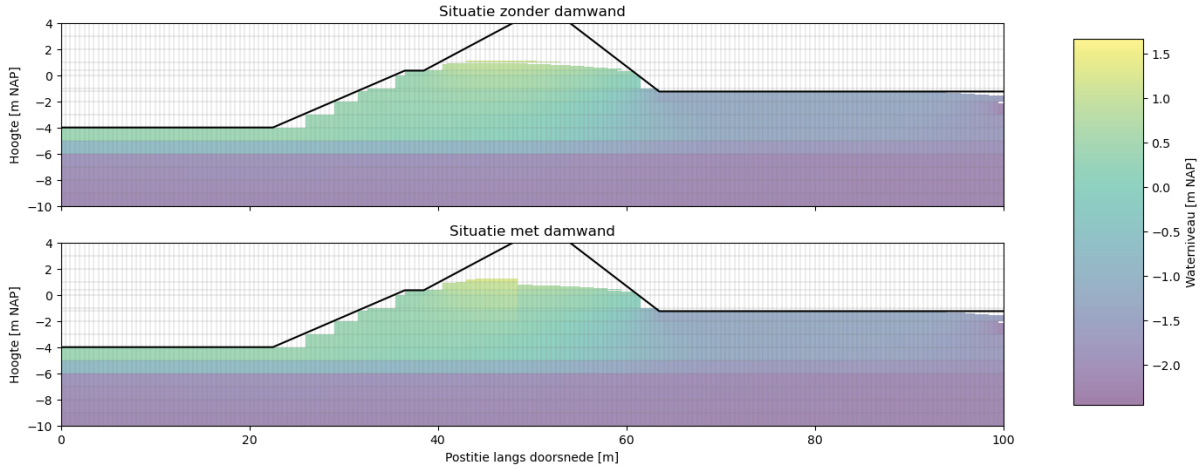


Figuur 9-24 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1

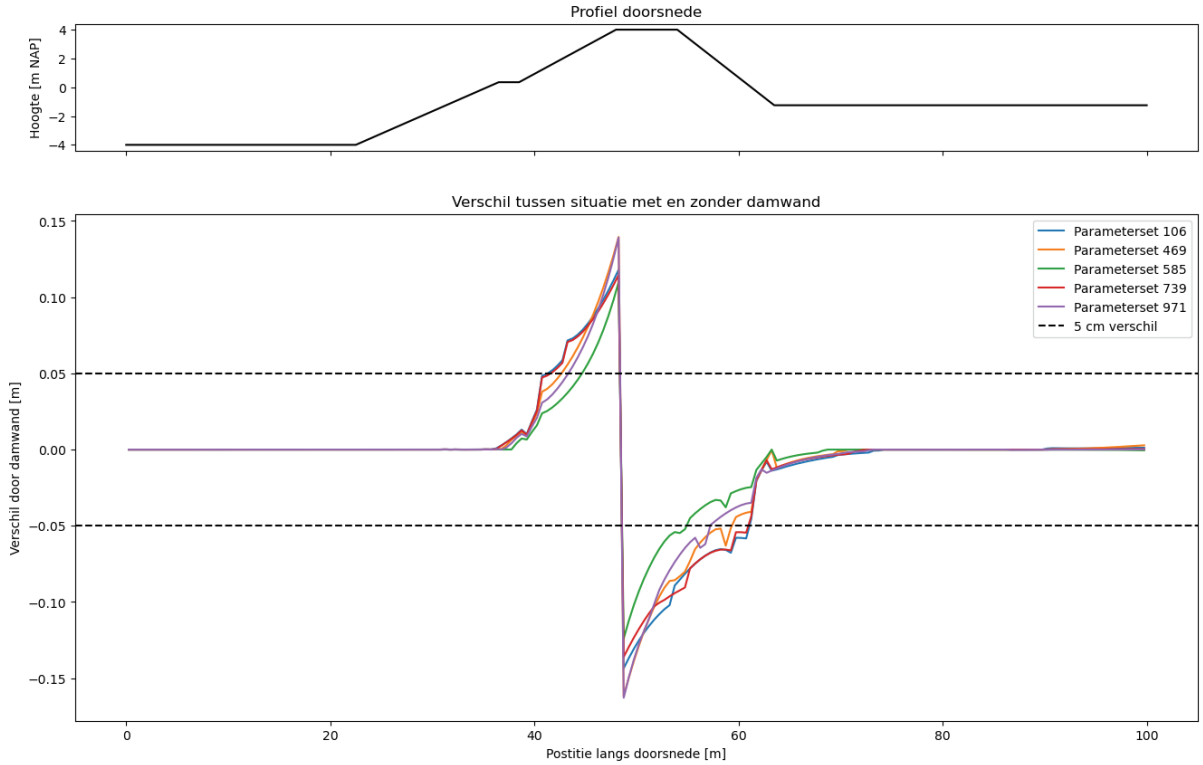
Damwand tot NAP -2 meter

Doorsnede E

Natte situatie

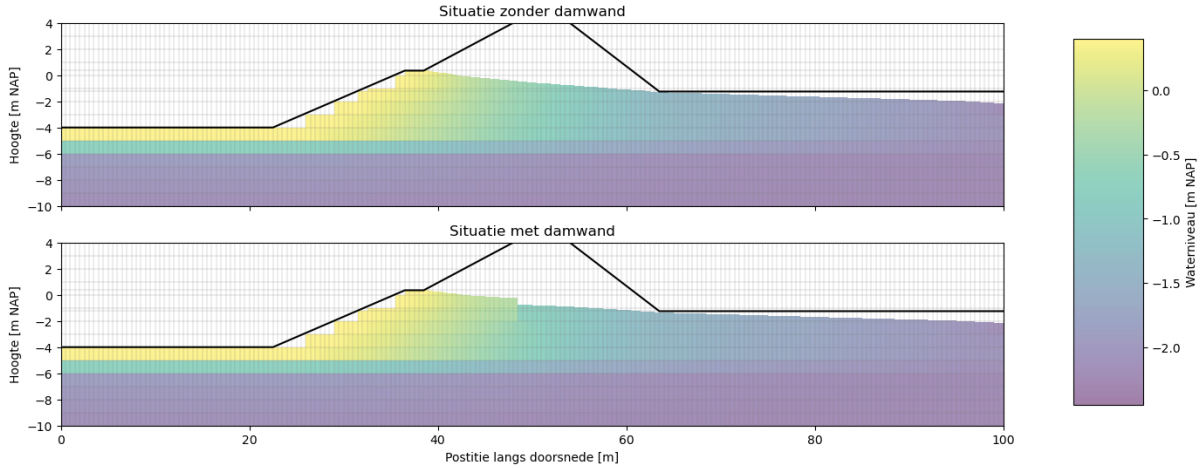


Figuur 10-1 Verschil tussen situatie zonder en met damwand tot NAP -2 meter voor parameterset 106

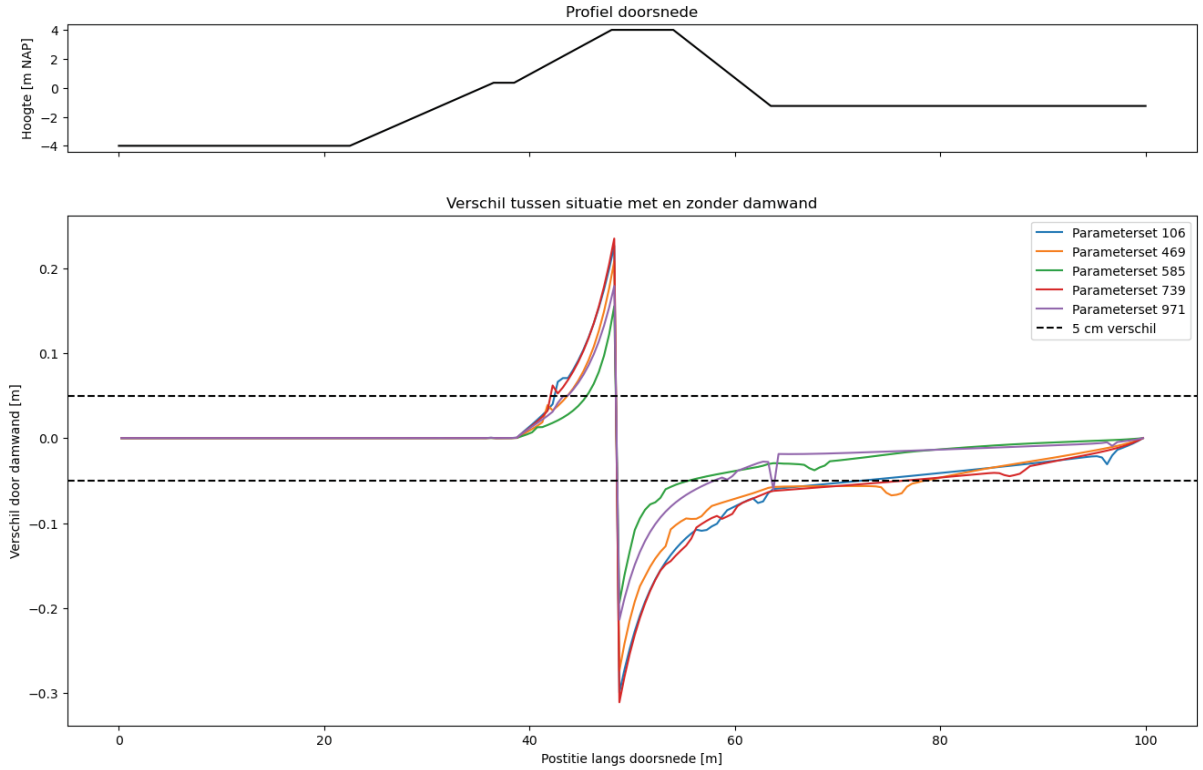


Figuur 10-2 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand tot NAP -2 meter in de buitenkruin voor doorsnede E

Droge situatie



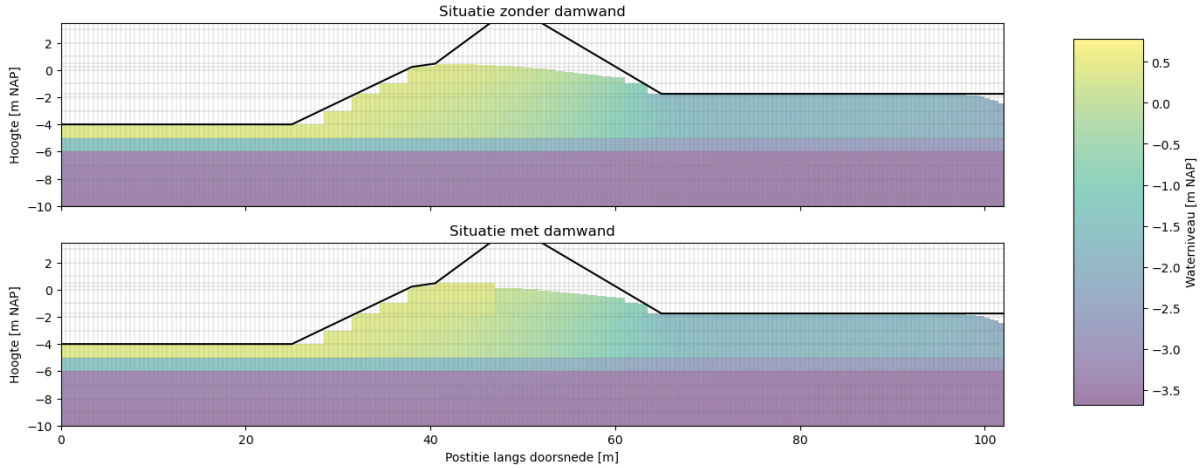
Figuur 10-3 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 106 in het geval van een lage grondwateraanvulling



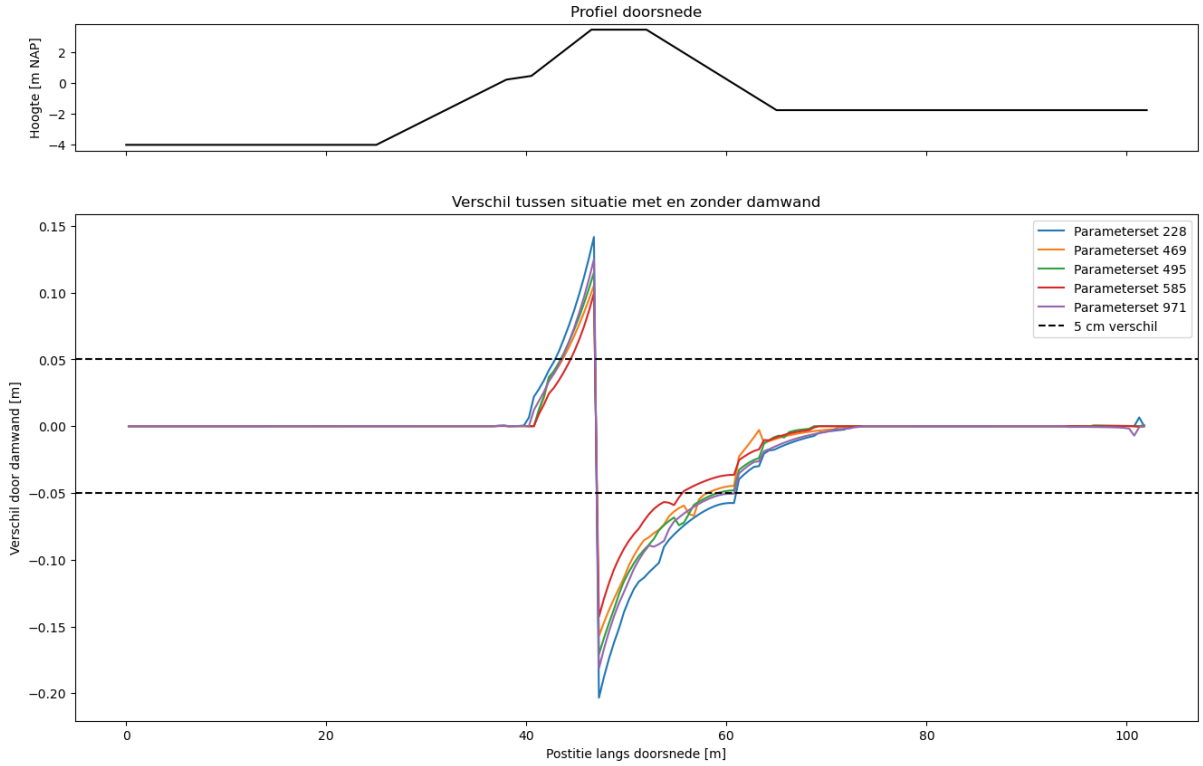
Figuur 10-4 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede E in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede F

Natte periode

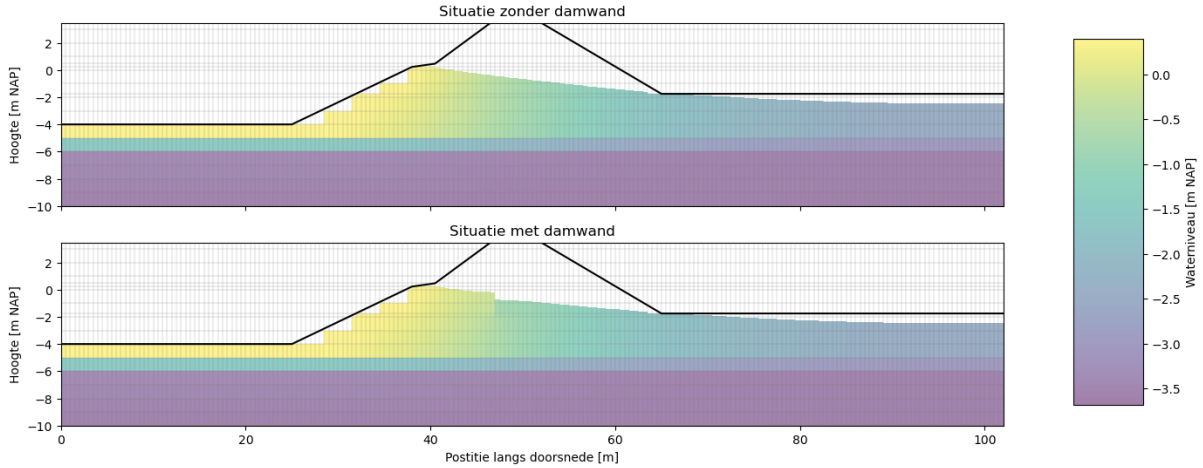


Figuur 10-5 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 971

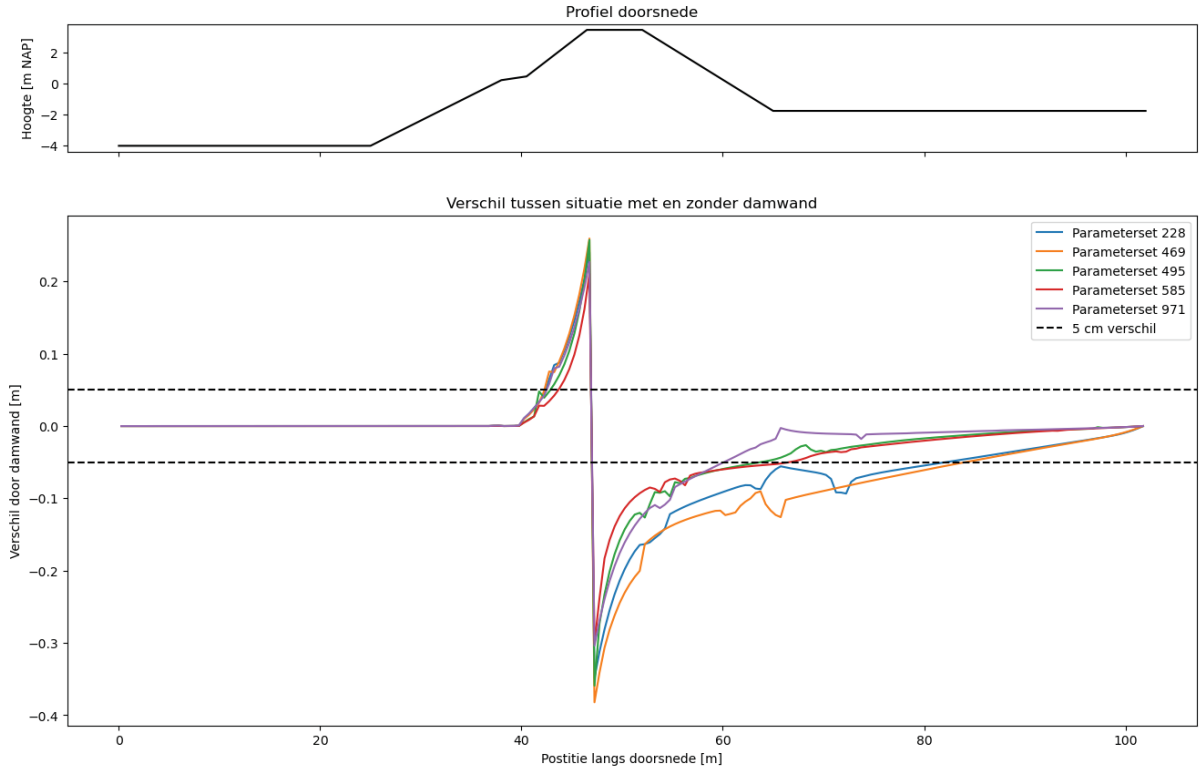


Figuur 10-6 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F

Droge situatie



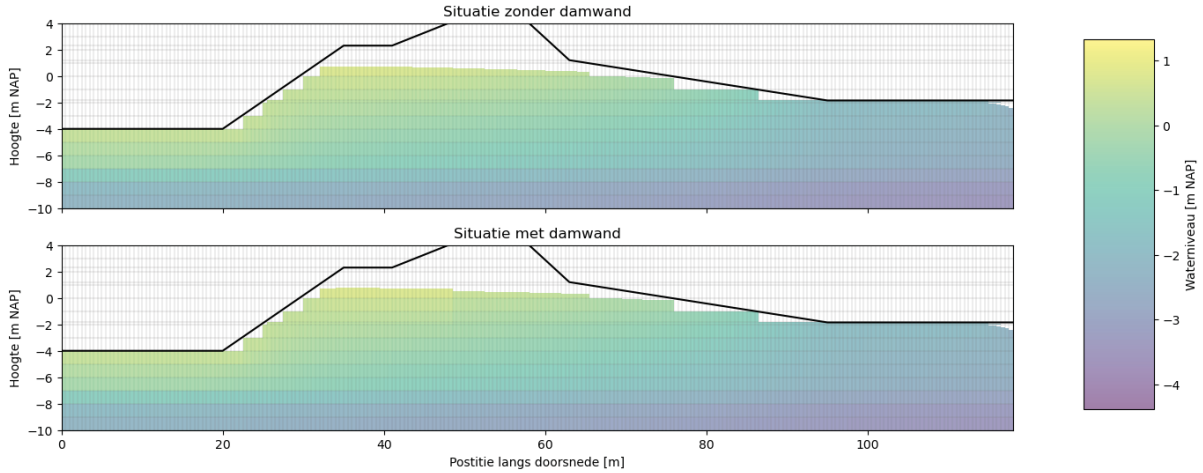
Figuur 10-7 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 971 in het geval van een lage grondwateraanvulling



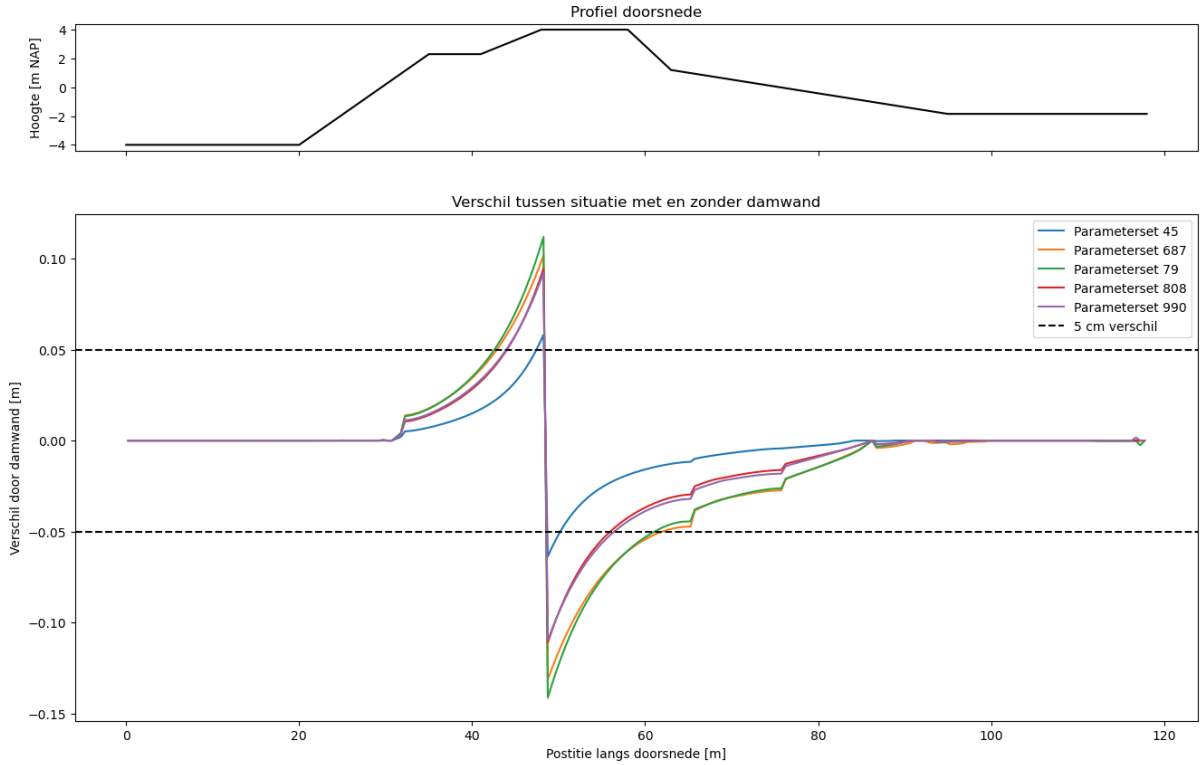
Figuur 10-8 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede F in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede I1

Natte situatie

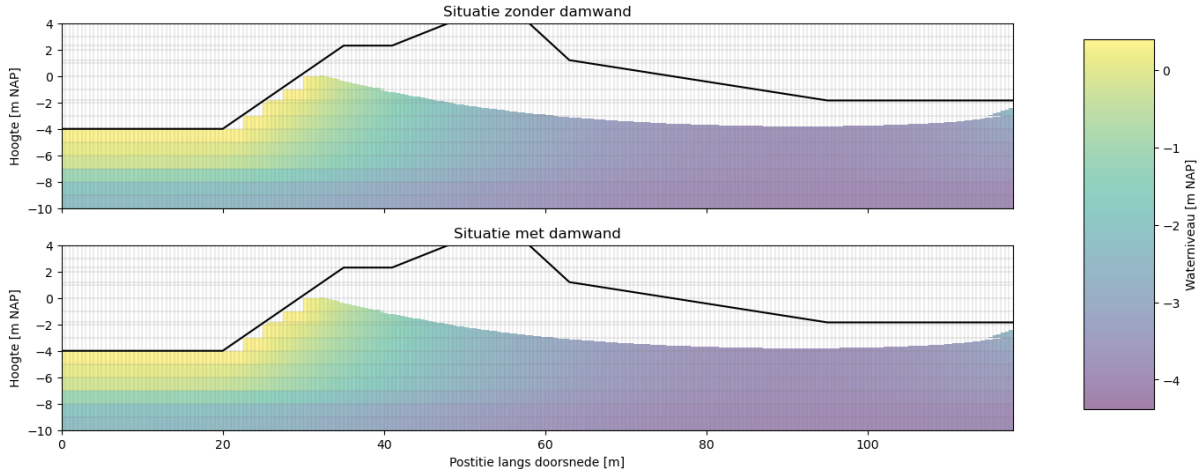


Figuur 10-9 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808

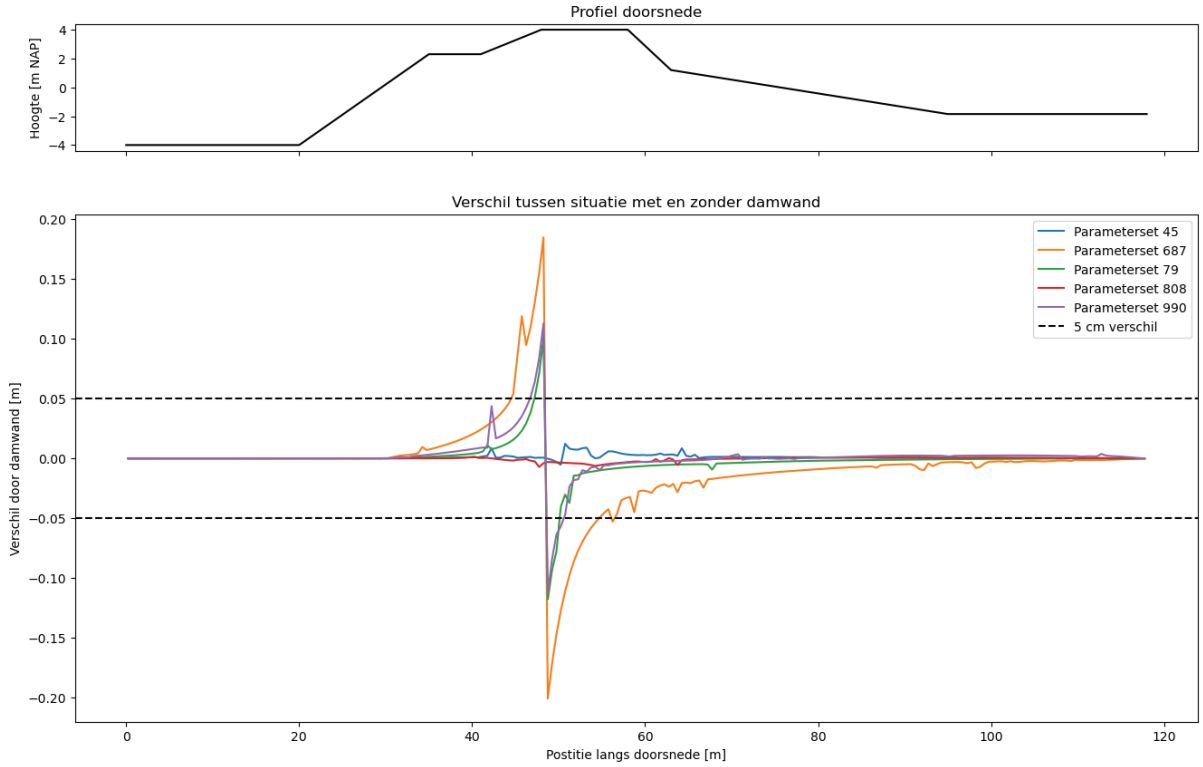


Figuur 10-10 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1

Droge situatie



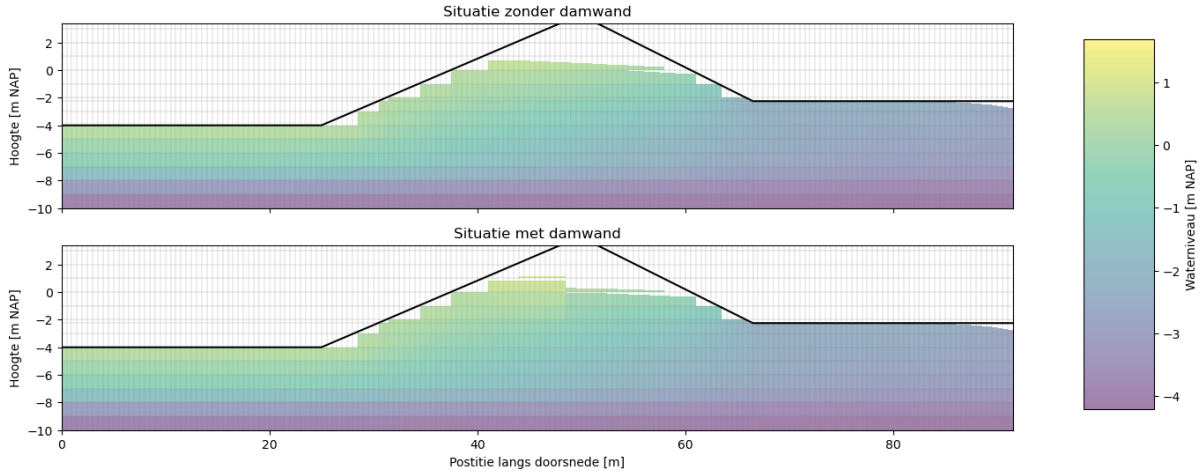
Figuur 10-11 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 808 in het geval van een lage grondwateraanvulling



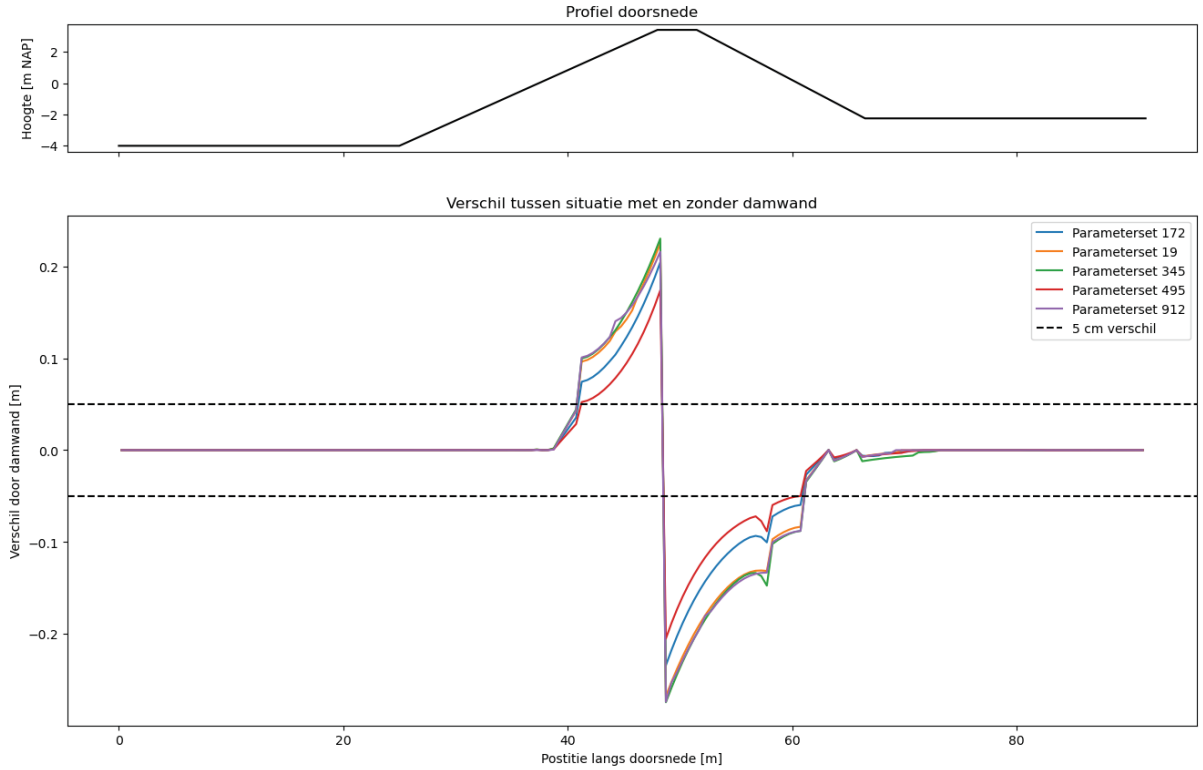
Figuur 10-12 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede I1 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede M2

Natte periode

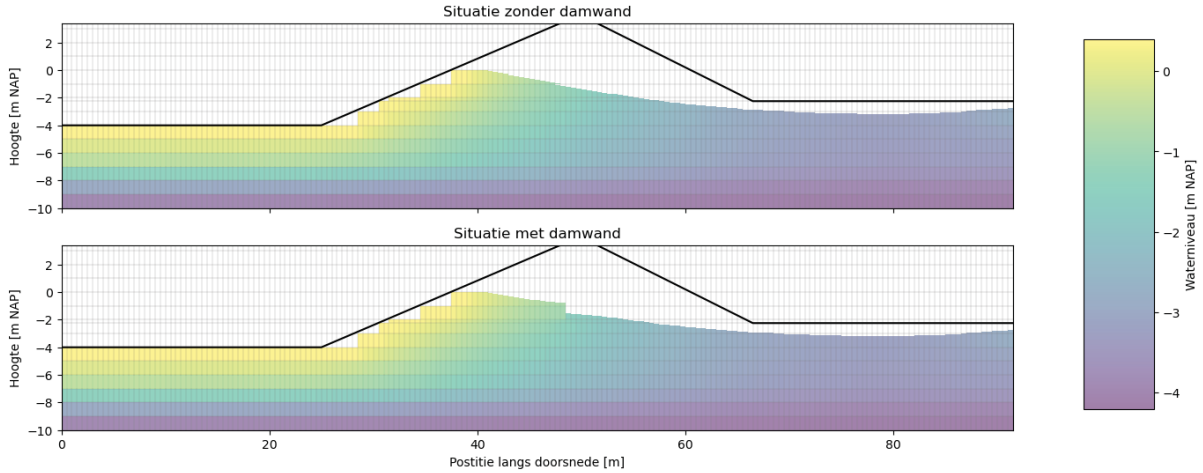


Figuur 10-13 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 19

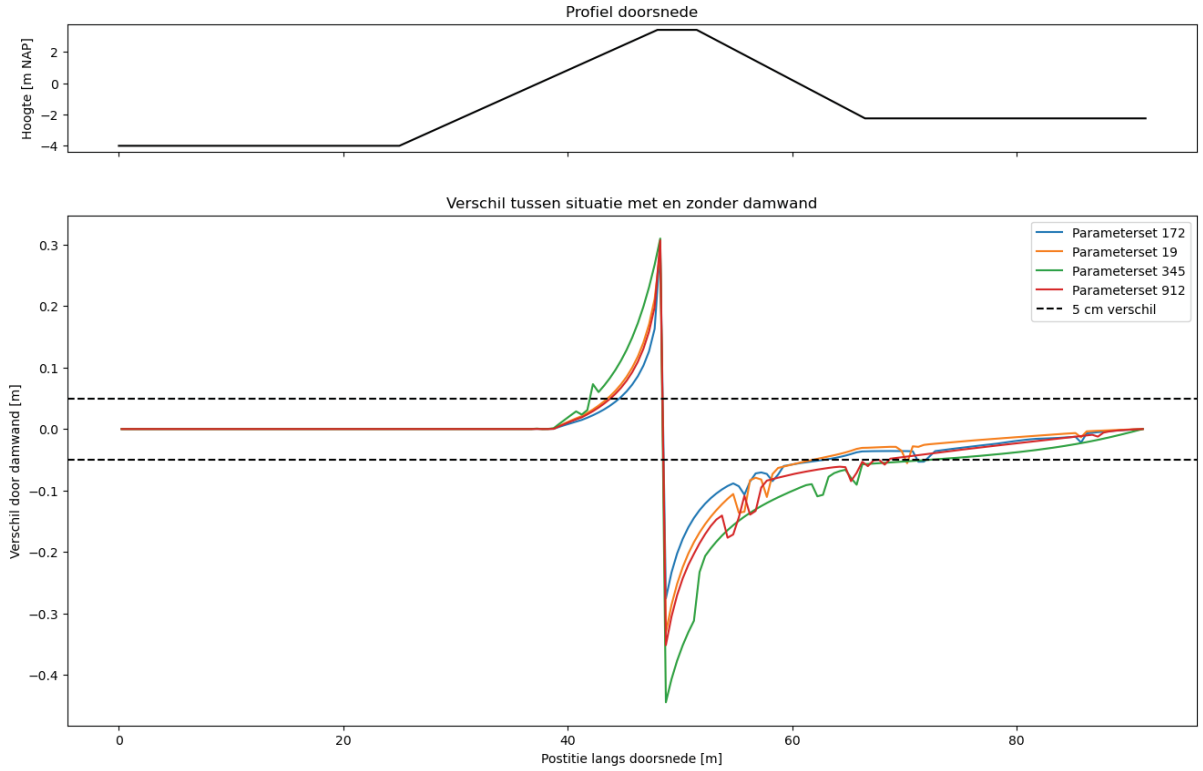


Figuur 10-14 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2

Droge situatie



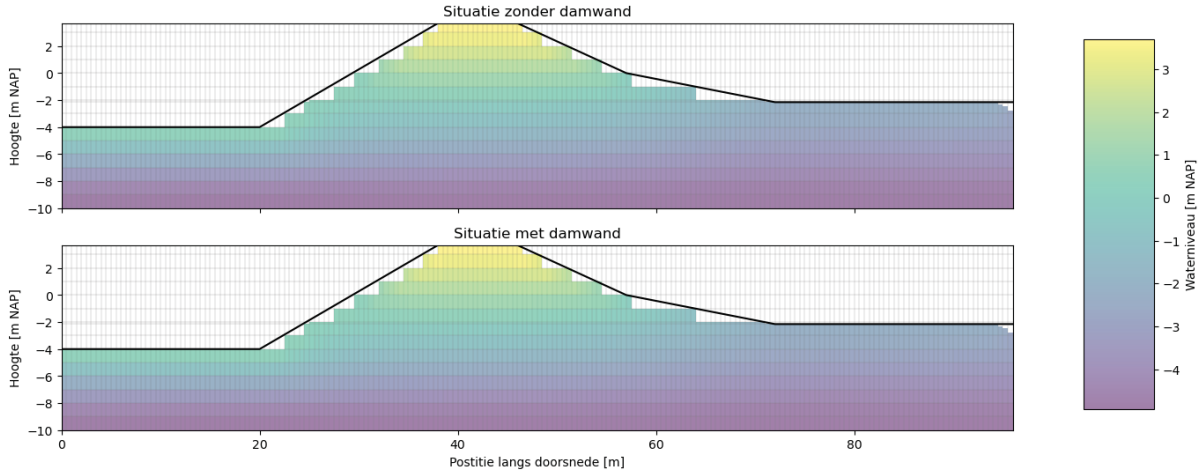
Figuur 10-15 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 19 in het geval van een lage grondwateraanvulling



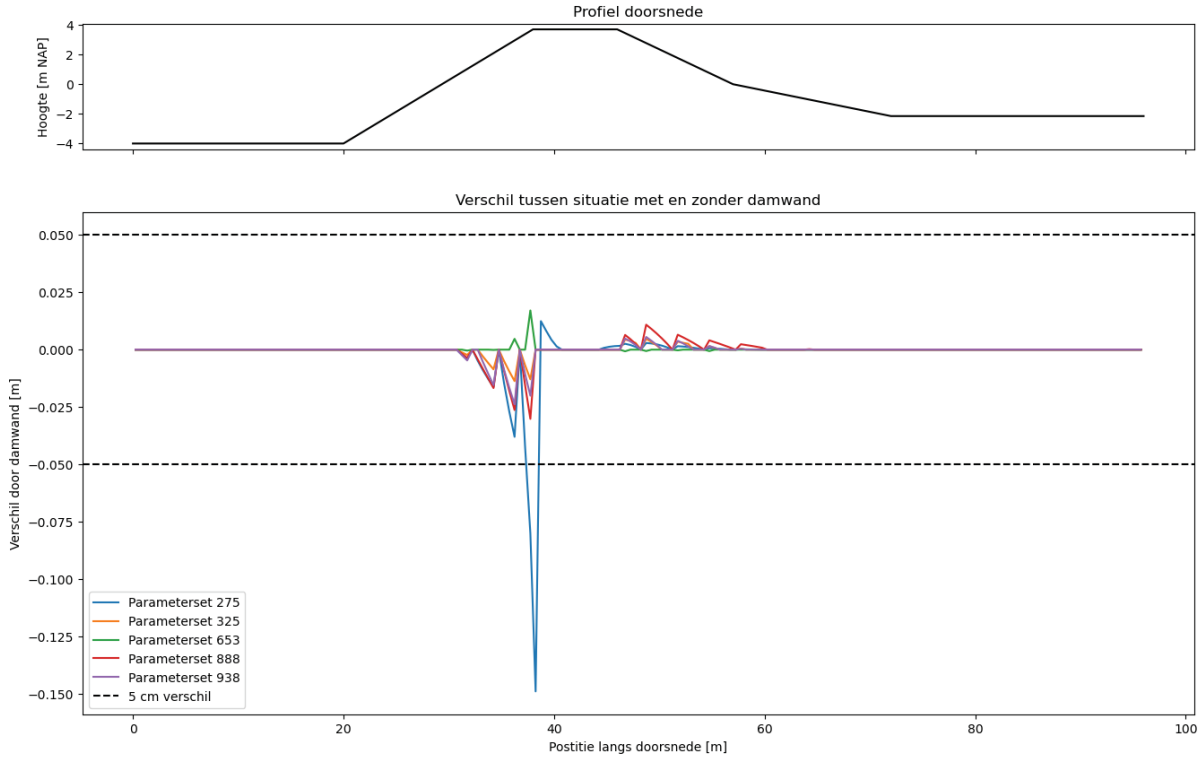
Figuur 10-16 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede M2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede O2

Natte situatie

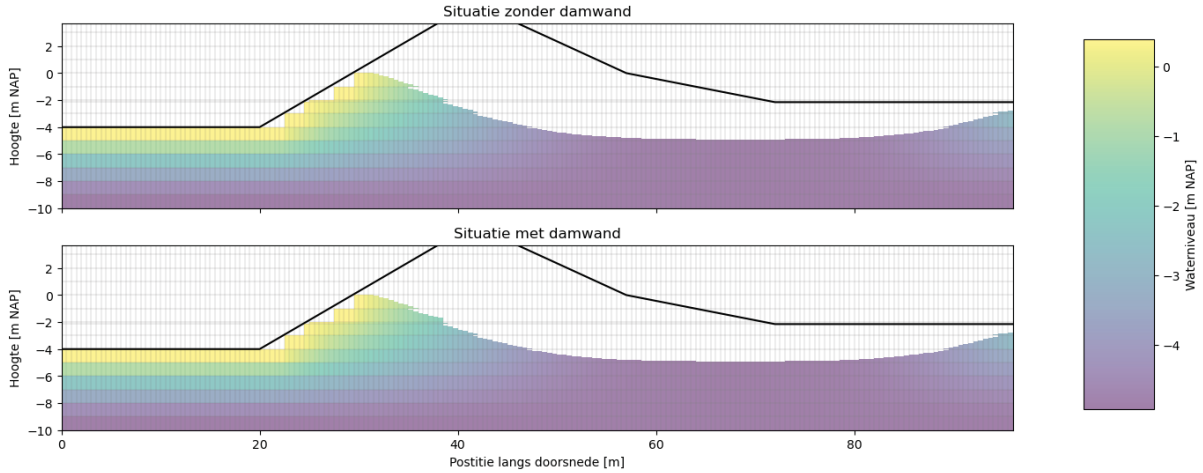


Figuur 10-17 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653

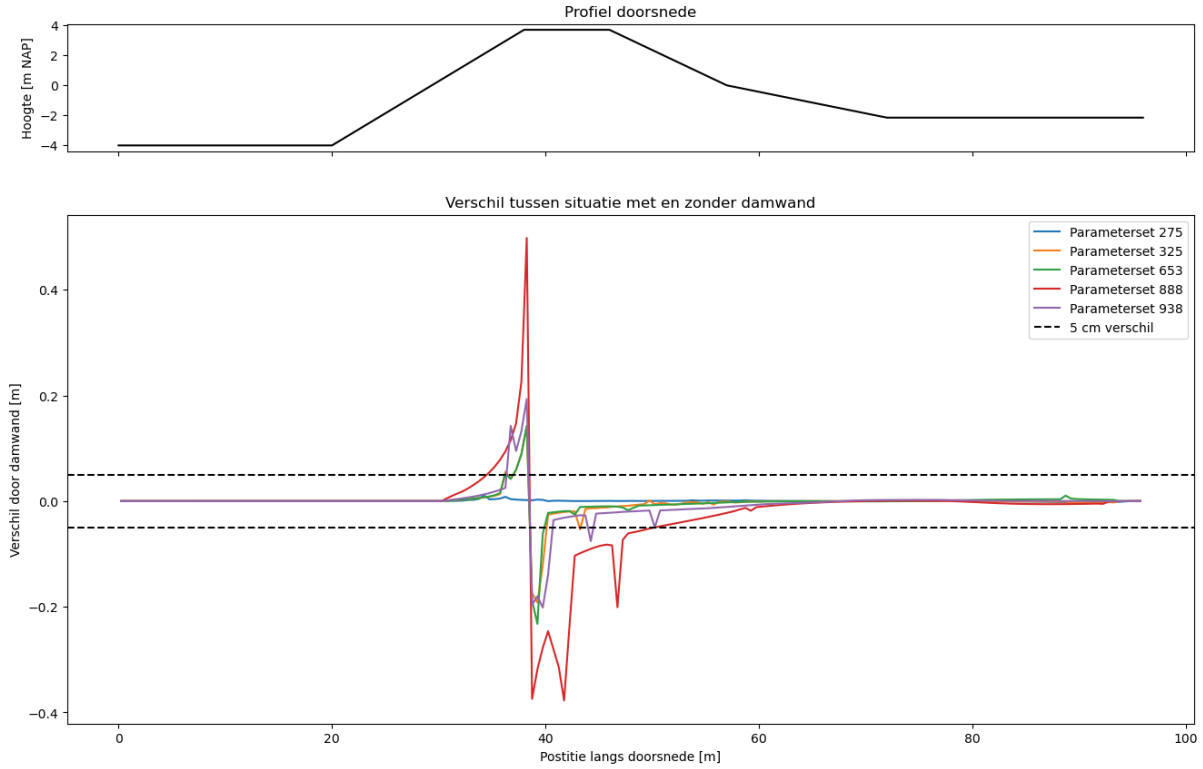


Figuur 10-18 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2

Droge situatie



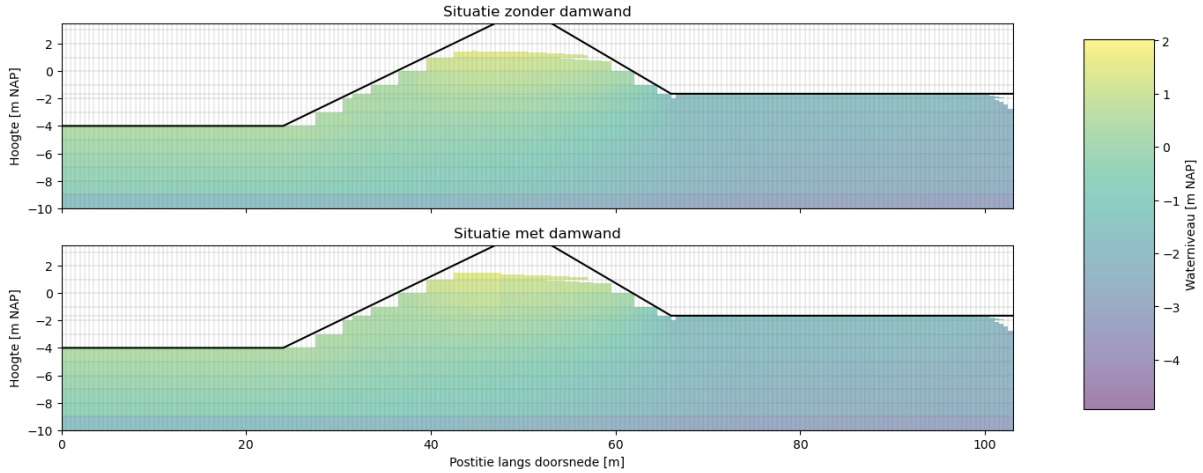
Figuur 10-19 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 653 in het geval van een lage grondwateraanvulling



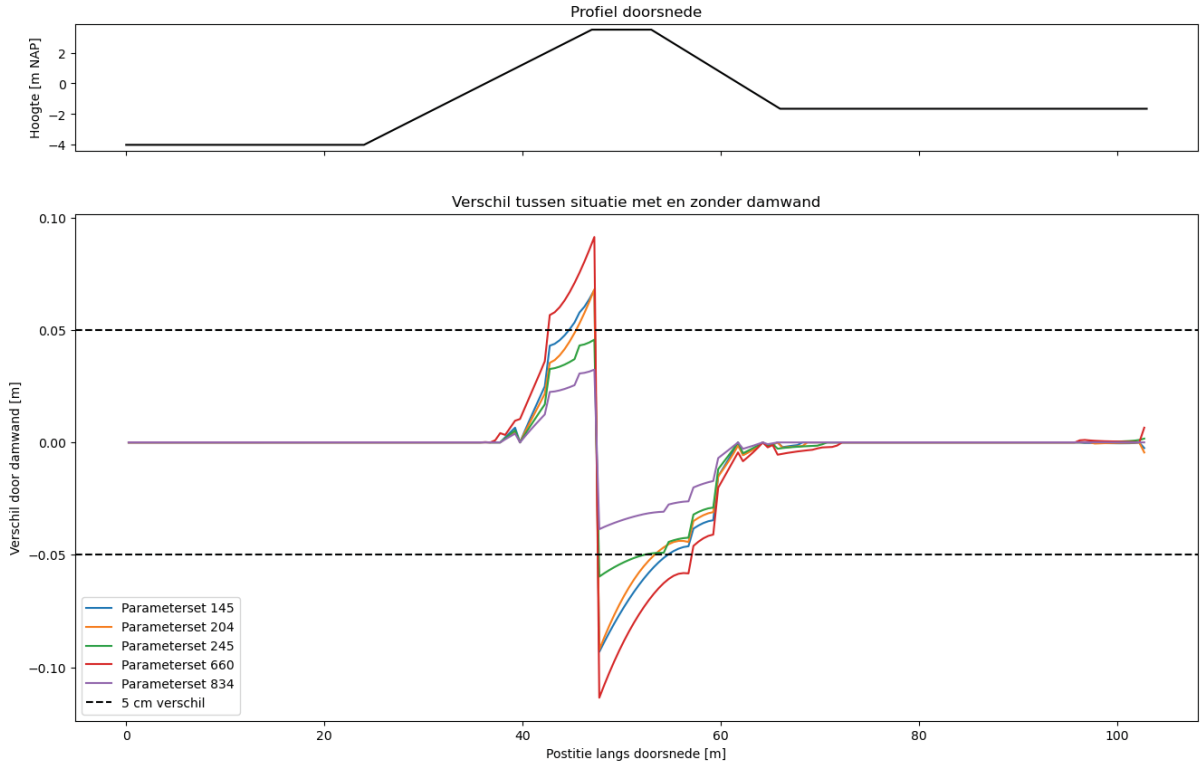
Figuur 10-20 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede O2 in het geval van een lage grondwateraanvulling

Doorsnede U1

Natte periode

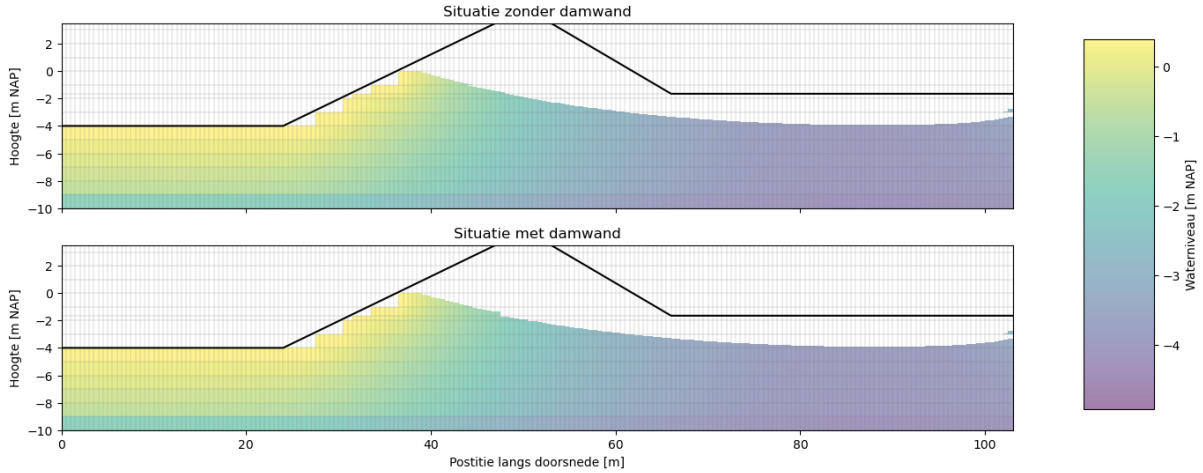


Figuur 10-21 Verschil tussen situatie zonder en met damwand voor parameterset 204

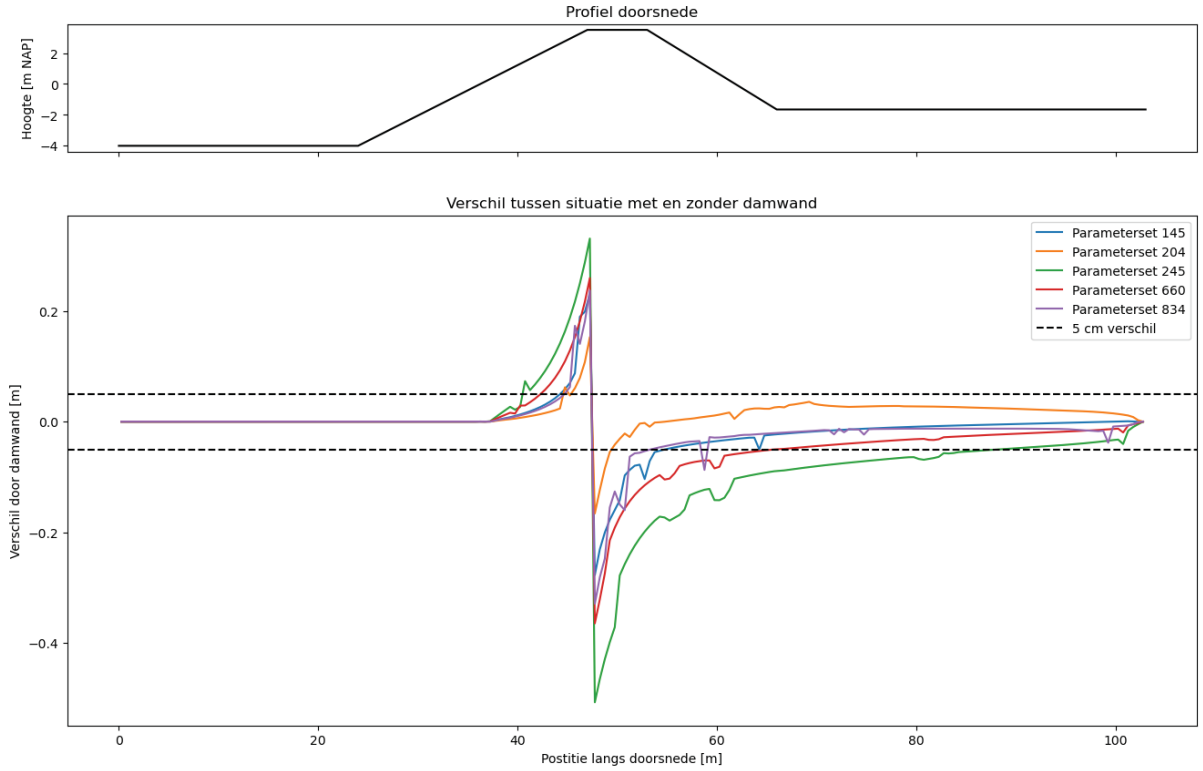


Figuur 10-22 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1

Droge situatie



Figuur 10-23 Verschil tussen situatie met en zonder damwand voor parameterset 204 in het geval van een lage grondwateraanvulling



Figuur 10-24 Verschil in freatische grondwaterstand door toepassing van damwand in de buitenkruin voor doorsnede U1 in het geval van geen grondwateraanvulling