

Impactanalyse 3D geohydrologisch model  
SAS - Planuitwerkingsfase - ontwerploop 0

**STERKE  
LEKDIJK**

Salmsteke - Schoonhoven



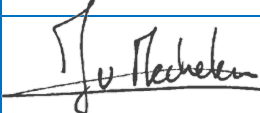



HOOGHEEMRAADSCHAP  
DE STICHTSE  
RIJNLANDEN

## Colofon

Rapportgegevens	
Rapporttitel	Impactanalyse 3D geohydrologisch model
Ondertitel	SAS - Planuitwerkingsfase - ontwerploop 0
DMS nummer:	
Versie:	1.0
Datum:	30 augustus 2023

### Vrijgave:

Verantwoordelijkheid	Functie	Naam	Paraaf
Opsteller	Adviseur waterveiligheid	Arian Kamphuis	
Verificateur	Senior adviseur waterkeringen	Yoeri Jongerius	
Autorisatoren	Ontwerpleiders	Jeroen van Mechelen	
Vrijgever	Technisch manager	Reinoud van Oosten	

### Documenthistorie:

Versie	Datum	Toelichting
0.1	30-06-2023	
1.0	30-08-2023	

Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden  
Poldermolen 2  
030 634 57 00 **T**  
sterkelekdijk@hdsr.nl **E**  
hdsr.nl/sterkelekdijk **W**

# STERKE LEKDIJK

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
1.1	Doel van dit document	4
1.2	Innovatieproces	4
1.3	Leeswijzer	4
1.4	Plaats in het proces	4
<b>2</b>	<b>Impactanalyse</b>	<b>5</b>
2.1	3D Geohydrologisch model	5
2.2	Stijghoogteberekening in de VIKTOR tool	5
2.3	Verschilanalyse	6
2.4	Kansrijkheid optimalisatie	8
<b>3</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>11</b>
3.1	Conclusies	11
3.2	Aanbevelingen	11
<b>4</b>	<b>Referenties</b>	<b>12</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Doel van dit document

Voor het Programma Sterke Lekdijk is innovatie een belangrijk middel om de programmadoelstellingen te realiseren. Binnen het programma zijn verschillende innovatieve rekenmethodieken benoemd in het Strategisch Ontwikkelplan Rekenmethodieken [Ref. 1]. (hierna: SOR). Binnen het deelproject Salmsteke - Schoonhoven (hierna: SAS) worden enkele rekenmethodieken doorontwikkeld en waar mogelijk toegepast. De onderbouwing van de kansrijke rekenmethodieken voor SAS en de bijbehorende ontwikkelplannen zijn opgenomen in het ontwikkelplan van SAS [Ref. 2].

Voorliggend rapport heeft betrekking op de onderstaande innovatieve rekenmethodieken, waarbij de codering is overgenomen uit het SOR [Ref. 1]:

- STPH 2, 3 & 9: 3D Geohydrologisch model

In [Ref. 2] is het ontwikkelplan voor bovenstaande rekenmethodiek uitgewerkt. Op basis hiervan is het ontwikkelbesluit genomen om deze ontwikkelingen uit te voeren. De resultaten van deze ontwikkelingen worden indien mogelijk toegepast bij de definitieve scopebepaling van deeltraject SAS (in ontwerploop 0) en de daaropvolgende ontwerploopt (VO/DO). In voorliggend rapport is onderzocht of het toepassen van de stijghoogtes uit het 3D model voor het piping spoor kansrijk is.

## 1.2 Innovatieproces

Voor het uitvoeren van de hoog water analyses is eerst het basismodel opgezet wat ook gebruikt wordt in een latere fase van het project voor de effectomschrijving. Vervolgens zijn verschillende analyses gedaan om het effect van de onzekerheden op de stijghoogterespons inzichtelijk te maken. Op basis van de onzekerheden en het effect van de onzekerheden zijn keuzes gemaakt voor een veilige inschatting van de stijghoogterespons. Op basis van deze aanpak is een 3D model opgebouwd waarmee de stijghoogtes zijn berekend rondom het dijktraject van SAS, die mogelijk toegepast kunnen worden bij de STBI en STPH berekeningen.

## 1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een impactanalyse gepresenteerd met de daar bijbehorende gevolgen voor implementatie. Tenslotte zijn in hoofdstuk 3 de conclusies en aanbevelingen gepresenteerd.

## 1.4 Plaats in het proces

Dit document betreft een impactanalyse omtrent het gebruik van het 3D Geohydrologisch model zodat er een afweging gemaakt kan worden om deze innovatieve rekenmethodiek te implementeren in het reguliere ontwerptraject.

## 2 Impactanalyse

In voorliggend rapport is de impact van toepassing van stijghoogtes uit het 3D model voor het piping mechanisme onderzocht. De optimalisatie van stijghoogtes voor het spoor STBI is enkel kwalitatief behandeld, omdat de opgave is komen te vervallen.

### 2.1 3D Geohydrologisch model

Voor de innovatieve rekenmethodiek STPH-2,3 & 9 is een 3D-grondwatermodel opgesteld. Dit grondwatermodel is beschreven in de rapportage [Ref. 3]. Met behulp van dit 3D model zijn ook de stijghoogtes berekend bij een WBN-hoogwatergolf voor zichtjaar 2080. Deze stijghoogtes kunnen mogelijk toegepast worden bij piping, als optimalisatie van de deelmechanismen opbarsten en heave. De modellering van stijghoogtes bij normwaterstandomstandigheden is beschreven in [Ref. 4].

Het model bevat verschillende scenario's die zijn afgeleid vanuit het referentiemodel. Het model en al haar varianten maken gebruik van GeoTOP v1.4. Van het model zijn zeven varianten uitgevoerd waarbij steeds de maximale stijghoogte is berekend in de deklaag, de holocene tussenzandlaag en in het pleistocene zandpakket.:

- **HOOGWGLF:**  
Dit is een variant van het referentie model waarin in januari 2011 een  $T=10.000$  hoogwatergolf is toegepast. Dit gedaan met een verwachtingswaarde van de spreidingslengte.
- **HOOGWGLF\_MIN**  
Dit is een variant van HOOGWGLF met een minimale spreidingslengte.
- **HOOGWGLF\_MAX**  
Dit is een variant van HOOGWGLF met een maximale spreidingslengte.
- **HOOGWGLF\_ALT**  
Dit is een variant van HOOGWGLF met een minimale deklaagweerstand en een maximale horizontale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket.
- **HOOGWGLF\_ONTR1**  
Dit is een variant van HOOGWGLF waarbij grondwaterwinningen Rodenhuis, Dijklaan, Schoonhoven en De Steeg inactief zijn gezet.
- **HOOGWGLF\_ONTR2**  
Dit is een variant van HOOGWGLF waarbij het ontlaststelsel bij gemaal 'de Koekoek' en grondwaterwinningen Rodenhuis, Dijklaan, Schoonhoven en De Steeg inactief zijn gezet.
- **HOOGWGLF\_ONTR3**  
Dit is een variant van HOOGWGLF waarbij het ontlaststelsel bij gemaal 'de Koekoek' inactief is gezet en de grondwaterwinningen Rodenhuis, Dijklaan, Schoonhoven en De Steeg actief zijn.

### 2.2 Stijghoogteberekening in de VIKTOR tool

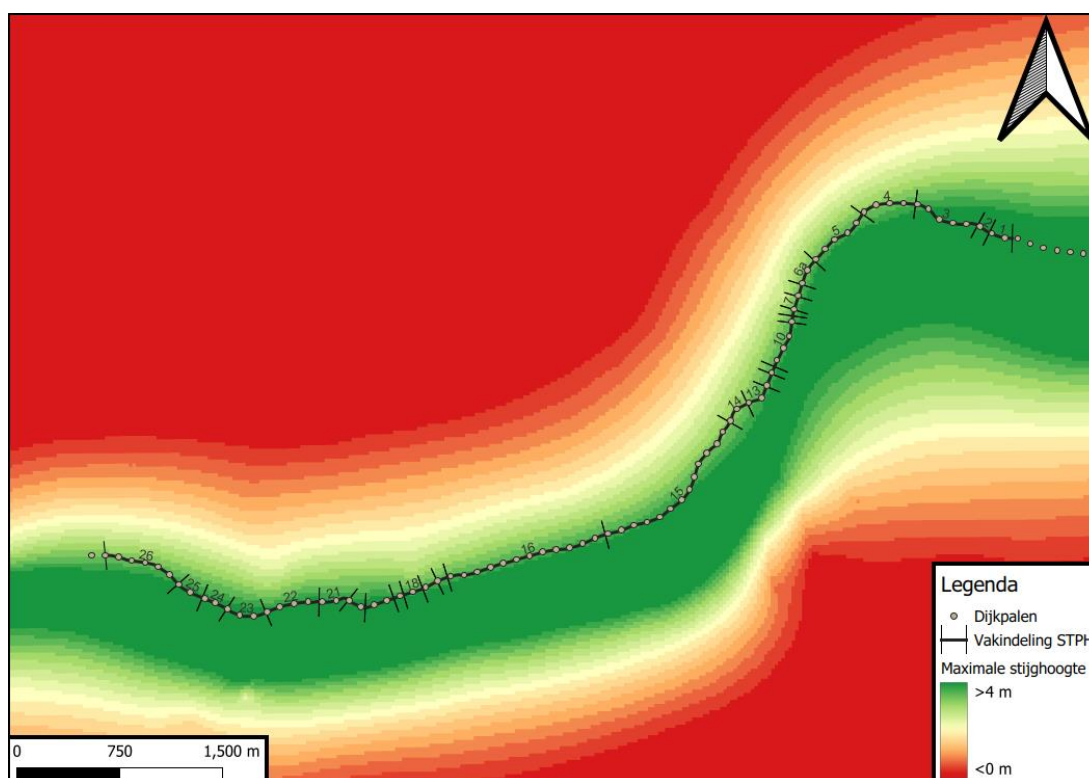
In de VIKTOR piping tool is de stijghoogte berekend volgens de methodiek zoals beschreven in het Technisch Rapport Waterspanning bij Dijken. Deze methodiek gaat uit van een 2D situatie waarin de stijghoogte analytisch wordt berekend in een isotroop homogeen watervoerend pakket. De input ten aanzien van de bodemopbouw is ontleent aan het voor de hele Sterke



Lekdijk opgestelde TNO ondergrondmodel. Een uitgebreide beschrijving is gegeven in de handleiding van de VIKTOR pipingtool [Ref. 5].

## 2.3 Verschilanalyse

Aan de hand van een verschilanalyse is bepaald dat de variant HOOGWGLF\_MAX maatgevend is in het maximum van de bandbreedte. Er wordt dus gebruik gemaakt van de modelvariant waarin de grondwaterwinningen en het ontlaststelsel actief zijn. De modelvariant met grondwaterwinningen is gehanteerd omdat de invloed hiervan op de stijghoogte direct achter de dijk verwaarloosbaar is. De stijghoogte in het watervoerend pakket is hoog onder de rivier en neemt af richting het achterland, zoals te zien is in Figuur 2-1.



*Figuur 2-1: Maatgevende stijghoogte scenario in deeltraject SAS voor het pleistocene watervoerende pakket.*

De stijghoogte van het Pleistoceen is in het 3D-model (nagenoeg) gelijk aan de stijghoogte in de holocene tussenzandlagen. De verklaring hiervoor is dat het Holoceen en het Pleistoceen op enkele plekken met elkaar in contact staan in het 3D-model. Dit zorgt voor 'communicerende vaten' waardoor de stijghoogte nauwelijks verschilt. Op basis hiervan zijn alleen de stijghoogtes uit het Pleistoceen gebruikt voor de verschilanalyse met de VIKTOR piping tool die gebruikt is in OL0.

Binnen de rapportage [Ref. 3] is beschreven dat de berekende stijghoogtes in het pleistocene zand overeen komen met de gemeten stijghoogtes uit de peilbuisgegevens. Voor de holocene zandtussenlaag is echter de conclusie dat er significante afwijkingen zijn geconstateerd tussen de berekende stijghoogtes en gemeten stijghoogtes uit de peilbuisgegevens. Hetgeen te wijten is aan de grillige samenstelling van de deklaag en holocene tussenzandlagen in relatie tot het detailniveau van het regionale geohydrologische model. De berekende stijghoogtes in de holocene zandtussenlaag overschatten hierdoor de werkelijke stijghoogte en zijn hiermee onvoldoende betrouwbaar.

Per dijkvak is de stijghoogte uit VIKTOR, in het maatgevende uittredepunt voor deelmechanisme opbarsten, opgenomen in onderstaande tabel. Aan de binnenteen is de berekende stijghoogte van het 3D model geraadpleegd en is de maatgevende stijghoogte opgenomen in Tabel 2-1.

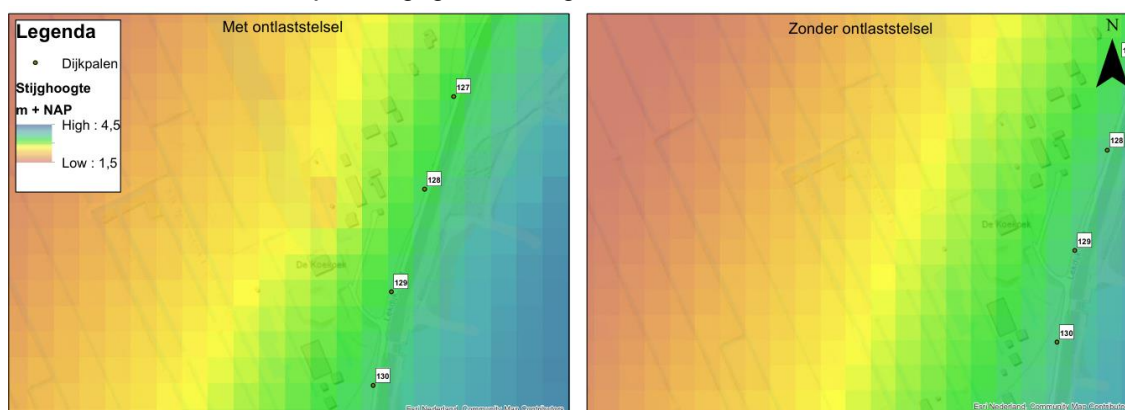
*Tabel 2-1: Stijghoogte overzicht vanuit VIKTOR en het 3D model. Een negatieve delta betekent dat de stijghoogte uit het 3D model hoger is dan uit de VIKTOR piping tool.*

Dijkvak	Stijghoogte VIKTOR Holoceen [m + NAP]	Stijghoogte VIKTOR Pleistoceen [m + NAP]	Stijghoogte 3D-model Pleistoceen [m + NAP]	$\Delta$ VIKTOR & 3D model Holoceen [m]	$\Delta$ VIKTOR & 3D model Pleistoceen [m]
1	n.v.t.	5,77	4,37	n.v.t.	1,40
2	n.v.t.	5,43	4,35	n.v.t.	1,08
3	n.v.t.	5,52	4,24	n.v.t.	1,28
4	2,06	4,52	3,60	-1,54	0,92
5-I	n.v.t.	5,48	3,40	n.v.t.	2,08
5-II	n.v.t.	5,48	3,31	n.v.t.	2,17
6a	1,33	5,21	3,27	-1,94	1,94
6b	2,42	4,53	3,21	-0,79	1,32
7	1,72	5,00	3,30	-1,58	1,70
8	n.v.t.	2,85	3,30	n.v.t.	-0,45
9	n.v.t.	5,28	3,40	n.v.t.	1,88
10	3,72	5,54	3,50	0,22	2,04
11	1,96	5,12	3,40	-1,44	1,72
12	3,24	5,15	3,50	-0,26	1,65
13	3,49	5,19	3,40	0,09	1,79
14	n.v.t.	5,11	3,16	-3,16	1,95
15	2,38	4,42	3,60	-1,22	0,82
16-I	2,54	4,77	3,60	-1,06	1,17
16-II	2,54	4,77	3,60	-1,06	1,17
17	1,46	4,78	3,30	-1,84	1,48
18	2,46	4,90	3,40	-0,94	1,50
19	1,93	5,09	3,50	-1,57	1,59
20 normaal	2,05	5,55	3,90	-1,85	1,65
20 wiel	3,21	5,00	3,85	-0,64	1,15
21	2,05	4,59	3,60	-1,55	0,99
22	1,14	4,57	3,77	-2,63	0,80
23	4,93	4,93	3,96	0,97	0,97
24	4,77	n.v.t.	3,85	0,92	n.v.t.
25	1,92	4,59	3,90	-1,98	0,69

### 2.3.1 Ontlaststelsel

In de watergang achter de gemaal Koekoek is een ontlaststelsel aanwezig. Het ontlaststelsel zorgt voor een verlaging van de stijghoogte rondom het gemaal. De berekende stijghoogtes met

en zonder ontlaststelsel zijn weergegeven in Figuur 2-2.



Figuur 2-2: Berekende stijghoogtes 3D model met ontlaststelsel (links) en zonder ontlaststelsel (rechts).

De stijghoogtes ter plaatse van het ontlaststelsel zijn:

- Met ontlaststelsel: NAP + 2,50 m
- Zonder ontlaststelsel: NAP + 3,00 m

De watergang achter het gemaal heeft een diepte van NAP – 5,10 m en een waterstand van NAP -1,50 m terwijl het pleistocene zandpakket is gelegen op NAP -9,50 m.

Voor beide situaties geldt daarom dat het goedkeuren van piping niet mogelijk is door het uitsluiten van opbarsten.

## 2.4 Kansrijkheid optimalisatie

### 2.4.1 Piping

De stijghoogte uit het 3D geohydrologisch model kan eventueel gebruikt worden voor de optimalisatie van de deelmechanisme opbarsten en heave. Uit de VIKTOR resultaten is gebleken dat opdrijven kansrijker is voor optimalisatie dan heave. Daarom is voor alle vakken, welke nog niet goedgekeurd zijn met VIKTOR of D-Geo flow, gekeken of optimalisatie in de stijghoogte tot goedkeuring in het deelmechanisme opbarsten kan leiden.

De stijghoogte uit het 3D geohydrologisch model ter plekke van de uittredepunten is bekeken per vak. Binnen elk vak is uit conservatisme de maximale stijghoogte gekozen en vergeleken met de stijghoogte in de uittredepunten. Er is zowel gekeken naar de holocene tussenzandlagen als het pleistocene pakket. Indien de stijghoogte uit VIKTOR in de uittredepunten hoger is dan verkregen uit het 3D model dan is er een kans tot optimalisatie. In de praktijk betekent dit dat het pleistocene zandpakket een stuk vaker tot kansrijk wordt gerekend dan de holocene tussenzandlagen, omdat die vanuit de analytische modellen al een lagere stijghoogte hebben.

Voor de zandpakketten en dijkvakken waarvoor de stijghoogte uit het 3D model lager is dan uit het analytisch model is de unity check opbarsten uitgerekend met de stijghoogte uit het 3D model. De gebruikte gegevens voor de herberekening zijn gepresenteerd in Tabel 2-2 en Tabel 2-3.

In de tabellen hieronder zijn de volgende parameterwaardes gepresenteerd:

- Kritiek stijghoogte verschil opbarsten  
Stijghoogte waarbij unity check voor opbarsten exact 1,0 is.
- Freatisch niveau uittredepunt



- Lokaal waterniveau ter plaatse van het uittredepunt
- Optredend stijghoogte verschil  
Het verschil tussen het freatisch niveau en de stijghoogte uit het 3D model
  - U.C. opbarsten  
De unity check bij toepassing van de stijghoogte uit het 3D model

*Tabel 2-2: Kansrijkheid optimalisatie voor het holocene zandpakket.*

Dijkvak	Kritiek Stijghoogte Verschil Opbarsten [m]	Freatisch Niveau Uittredepunt [m NAP]	Optredend stijghoogte verschil [m]	U.C. Opbarsten
10	1,01	-0,29	3,79	0,16
13	1,99	-0,50	3,90	0,30
17	1,99	-1,04	4,34	0,27
23	1,22	-1,14	5,10	0,14
25	1,08	-0,70	4,60	0,14

*Tabel 2-3: Kansrijkheid optimalisatie voor het pleistocene zandpakket.*

Dijkvak	Kritiek Stijghoogte Verschil Opbarsten [m]	Freatisch Niveau Uittredepunt [m NAP]	Optredend stijghoogte verschil [m]	U.C. opbarsten
4	6,79	-0,30	3,90	1,03
5	0,51	-0,82	4,22	0,07
5	0,51	-0,82	4,13	0,07
6a	3,92	-1,12	4,39	0,53
6b	9,06	-1,46	4,67	1,15
7	8,02	-1,46	4,76	0,99
8	3,02	-1,50	4,80	0,37
9	5,57	-0,86	4,26	0,77
10	6,69	-0,61	4,11	0,96
11	6,55	0,09	3,31	1,17
12	5,94	-0,50	4,00	0,88
13	10,77	-0,50	3,90	1,63
15	4,42	-0,80	4,40	0,59
17	5,57	-1,04	4,34	0,76
18	5,95	-0,90	4,30	0,82
19	5,09	-0,90	4,40	0,68
20 normaal	5,55	-1,15	5,05	0,65
20 wiel	5,77	-0,94	4,79	0,71
23	4,75	-1,14	5,10	0,55
24	0,99	-0,80	4,65	0,13
25	3,71	-0,70	4,60	0,48

Uit bovenstaande tabellen blijkt dat voor drie vakken toepassing kansrijk is waardoor het vak ook goedgekeurd zou kunnen worden. Het betreft vak 4, vak 6b en vak 11. Hieronder volgt een analyse per vak of optimalisatie kansrijk en doelmatig is.

#### **Vak 4**

Dit vak is reeds goedgekeurd op basis van D-Geo flow berekeningen. Daarmee is optimalisatie niet langer nodig.

#### **Vak 6b**

Voor dit vak is toepassing kansrijk voor de pleistocene zandlaag. In de achtergrondrapportage [Ref. 6] is echter bevonden dat de holocene tussenzandlaag (ook) niet voldoet. Daarmee is de optimalisatie voor het Pleistoceen nog steeds kansrijk, maar zal dit niet leiden tot het vervallen van de pipingopgave bij dit dijkvak, enkel tot aanscherping van de maatregelen.

#### **Vak 11**

Voor dit vak is toepassing kansrijk voor de pleistocene zandlaag. In de achtergrondrapportage [Ref. 6] is echter bevonden dat de holocene tussenzandlaag (ook) niet voldoet. Daarmee is de optimalisatie voor het Pleistoceen nog steeds kansrijk, maar zal dit niet leiden tot het vervallen van de pipingopgave bij dit dijkvak enkel tot aanscherping van de maatregelen.

### **2.4.2 Macrostabieliteit**

De gehanteerde stijghoogtes in het pleistoceen voor de analyses macrostabieliteit [Ref. 7] komen overeen met de output van de VIKTOR tool waarbij de stijghoogte is berekend op basis van een 2D steady state berekening in een homogeen isotroop zandpakket.

Voor dijkvakken waar geen holocene zandtussenlaag aanwezig is zal het gebruik van het 3D geohydrologisch model leiden tot hogere stabiliteitsfactoren vanwege de lagere stijghoogtes die worden berekend in het pleistocene zandpakket. Omdat de opgave voor macrostabieliteit al is komen te vervallen met de conservatief berekende stijghoogte is het niet noodzakelijk deze optimalisatie toe te passen.

Voor dijkvakken waar wel een holocene zandtussenlaag aanwezig is zal het gebruik van het 3D geohydrologisch model leiden tot lagere stabiliteitsfactoren. Omdat de modelnauwkeurigheid echter te kort schiet om de stijghoogtes in de holocene zandtussenlaag met een hoge betrouwbaarheid correct te berekenen is het 3D geohydrologisch model ongeschikt om hiervoor te gebruiken.

## 3 Conclusies en aanbevelingen

### 3.1 Conclusies

Aan de hand van de nieuwe inzichten van het 3D geohydrologisch model is een impactanalyse gemaakt voor het spoor piping en een doorkijk gegeven voor het spoor macrostabiliteit. Uit de analyse blijkt dat de stijghoogte in het pleistocene pakket voor bijna alle vakken lager ligt dan is aangehouden in de VIKTOR piping tool. Echter leidt de eventuele optimalisatie met deze lagere stijghoogte niet tot een kleinere pipingopgave. Voor drie vakken: vak 4, vak 6b en vak 11 leidt het geohydrologisch model wel tot een unity check groter dan 1,0. Het betreft echter enkel optimalisatie voor het tweede watervoerende pakket (Pleistoceen) en daarmee kan het vak niet goedgekeurd worden doordat de tussenzandlagen niet voldoen. Het implementeren van de innovatie levert daarom geen optimalisatie op van de pipingopgave in ontwerploop 0. De optimalisatie van stijghoogtes is ook niet toegepast voor het spoor macrostabiliteit, omdat de stabiliteitsopgave is komen te vervallen.

De innovatie kan wel toegepast worden voor de ontwerpfase om piping tot aanscherping van de maatregelen te komen en om bijvoorbeeld aan te tonen dat de diepere zandlaag aan de norm voldoet en dat enkel een maatregel in de tussenzandlaag nodig is. Voor het implementeren van de resultaten in het ontwerp dient er nog aandacht besteed te worden aan de aanbevelingen uit de volgende paragraaf.

### 3.2 Aanbevelingen

Voor de toepassing van het 3D geohydrologisch model worden hieronder nog een onderstaande aandachtspunten toegelicht.

- Schematiseringsfactor opbarsten en heave.  
De keuze voor een schematiseringsfactor van 1,0 dient opnieuw beschouwd te worden bij toepassing van de geoptimaliseerde stijghoogtes. Het dient onderzocht te worden welke schematiseringsfactor gehanteerd dient te worden bij het gebruik van het geohydrologisch model.
- Verschilanalyse GeoTop & TNO 3D model.  
Het geohydrologisch model is gemaakt aan de hand van het GeoTop v1.4 model. Het TNO 3D model is echter nauwkeuriger en met recentere informatie gemaakt. Het dient onderzocht te worden of de extra informatie leidt tot andere inzichten en of de berekende stijghoogtes, op basis van GeoTop model, voldoende conservatief zijn.
- Intredeweerstand van het 3D geohydrologisch model.  
In het 3D model is geen rekening gehouden met eventuele erosie van intredeweerstand tijdens een hoogwatergolf. Beschouwd dient te worden of de berekende stijghoogtes voldoende veilig zijn, of voor het effect van erosie gecorrigeerd moeten worden.
- Betrouwbaarheid ontlaststelsel gemaal de Koekoek.  
De berekende stijghoogtes die in voorliggende rapportage zijn gebruikt gaan uit van een werkend ontlaststelsel. Bij het gebruik van de stijghoogtes rondom gemaal de Koekoek dient ook de betrouwbaarheid van het ontlaststelsel beschouwd te worden.

## 4 Referenties

- [Ref. 1] Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Strategisch Ontwikkelplan Rekenmethodieken, 1820650, versie 2.0, 21-12-2021
- [Ref. 2] Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Ontwikkelplan Rekenmethodieken SAS, versie 2.1, 30-06-2023
- [Ref. 3] Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Achtergrondrapport 3D grondwatermodellering SAS, versie 1.0, 29-06-2023.
- [Ref. 4] Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden, Hoogwaterrespons SAS grondwatermodel, versie 1.0, 29-06-2023.
- [Ref. 5] Handleiding Pipingtool Draft 0.2, Wouter Karreman, oktober 2022
- [Ref. 6] Achtergrondrapportage Piping, SAS, versie 2.0, 30-08-2023
- [Ref. 7] Achtergrondrapportage Macrostabieliteit SAS, versie 2.0, 30-08-2023
- [Ref. 8] Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken, TAW, 01-09-2004