

# Hoogwaterrespons 3D-grondwatermodel Salmsteke – Schoonhoven

**STERKE  
LEKDIJK**

Salmsteke - Schoonhoven



HOOGHEEMRAADSCHAP  
**DE STICHTSE  
RIJNLANDEN**

## Colofon

Rapportgegevens	
Rapporttitel	Hoogwaterrespons 3D-grondwatermodel
Ondertitel	Salmsteke – Schoonhoven
DMS nummer:	##
Versie:	V1.0 (definitief)
Datum:	30 juni 2023

### Vrijgave:

Verantwoordelijkheid	Functie	Naam	Paraaf
Opsteller	Geohydroloog	Hugo van Hintum	
Verificateur	Geohydroloog	Kees van Immerzeel	
	Ontwerpleider Innovaties	Yoeri Jongerius	
Autorisator	Coordinator conditionerende onderzoeken	Talitha Huizenga	TH
	Integraal ontwerpleider	Jeroen van Mechelen	
Vrijgever	Technisch manager	Reinoud van Oosten	

### Documenthistorie:

Versie	Datum	Toelichting
V0.1	21-4-2023	Concept
V0.2	11-5-2023	Concept
V1.0	30-6-2023	Definitief

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>5</b>
1.1	Achtergrond	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>	
1.2	Projectgebied	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>	
1.3	Aanleiding en context		5
1.4	Doelstelling		7
1.5	Leeswijzer		7
<b>2</b>	<b>3D-grondwatermodel</b>		<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Werkwijze</b>		<b>9</b>
3.1	De T=10.000 hoogwater gebeurtenis		9
3.2	Bandbreedteanalyse		9
3.3	Invloed grondwateronttrekkingen en ontlaststelsel		10
3.4	Modelvarianten		12
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>		<b>13</b>
4.1	Met grondwaterwinningen		13
4.2	Zonder grondwaterwinningen (HOOGWGLF_ONTR1)		19
4.3	Zonder grondwaterwinningen en zonder ontlaststelsel (HOOGWGLF_ONTR2)		19
4.4	Zonder ontlaststelsel (HOOGWGLF_ONTR3)		20
<b>5</b>	<b>Conclusie</b>		<b>21</b>
<b>Bijlage 1</b>	<b>T=10.000 hoogwater waterstandsverloop</b>		



# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Het programma Sterke Lekdijk is onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) en betreft het versterken van de Lekdijk tussen Amerongen en Schoonhoven. Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) moet vanuit haar veiligheidsopgave zorgen dat de dijk weer voldoende veilig is en voldoet aan de veiligheidsnormen die sinds 2017 gelden. Daarom wordt de dijk tussen Amerongen en Schoonhoven versterkt over een totale lengte van 55 kilometer. Het programma Sterke Lekdijk is verdeeld in zes deelprojecten, waarvan Salmsteke-Schoonhoven (SAS) er één is.

In oktober 2021 is het voorkeursalternatief voor dijkversterking Salmsteke-Schoonhoven vastgesteld. Dit voorkeursalternatief wordt in de planuitwerkingsfase uitgewerkt naar een vergunningenontwerp. Daarnaast zijn op 4 oktober 2021 Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR), Rijkswaterstaat (RWS), provincie Utrecht (PU), gemeente Lopik en Staatsbosbeheer (SBB) een samenwerkingsovereenkomst (SOK) aangegaan om de natuur in het traject SAS te verbeteren. In de SOK hebben de partijen aangegeven grote voordelen te zien in het samen uitwerken en realiseren van de natuuropgave.

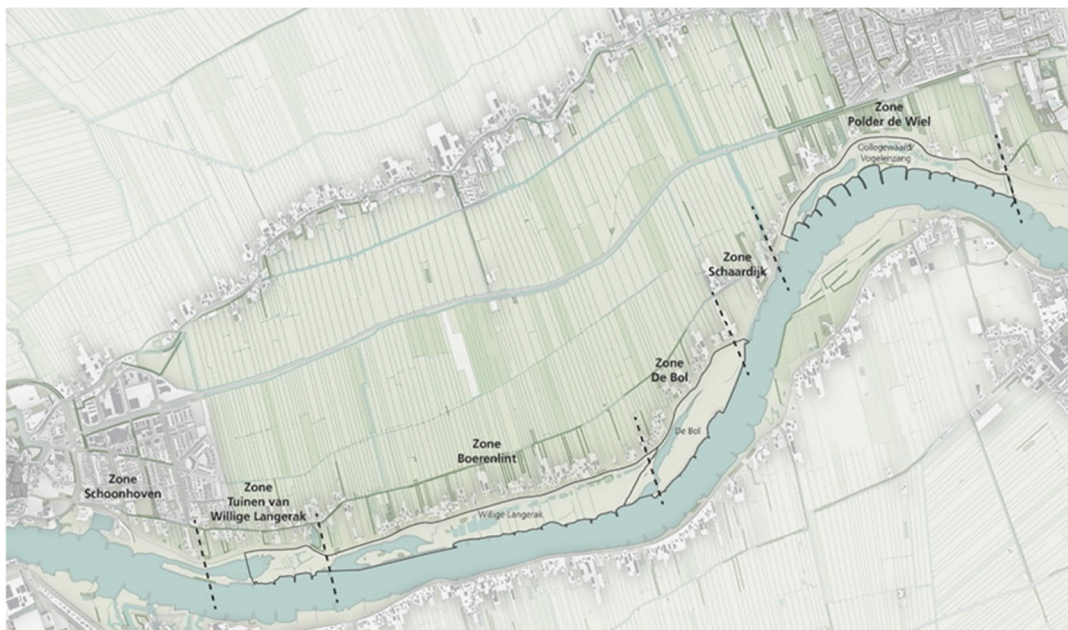
In de planuitwerkingsfase wordt toegewerkt naar een vergunningenontwerp voor de dijk en uiterwaarden. Dit vergunningenontwerp heeft het detailniveau van een Definitief Ontwerp en vormt de basis voor de planprocedure. Indien dit synergie oplevert, worden deze planprocedures voor de dijk en de uiterwaarden gecoördineerd doorlopen.

Conditionerende onderzoeken worden uitgevoerd ten behoeve van het nader uitwerken van het ontwerp. De rapportages dienen ter onderbouwing van de vergunningsaanvraag en als input voor het MER. Daarnaast worden op basis van input van de conditionerende onderzoeken ontwerpafwegingen gemaakt die kosten en tijd besparen in de verdere uitwerking en uitvoering van de dijkversterking.

## 1.2 Projectgebied

### Dijk

Het deelproject SAS ligt in het zuidwesten van het beheergebied van HDSR aan de noordzijde van de rivier de Lek. De grenzen van het deelproject lopen van dijkpaal 108+40 (ter hoogte van de Rolafweg Zuid, grenzend aan deelproject Salmsteke) tot dijkpaal 191+01 (ten westen van de N216 in Schoonhoven). Het deeltraject is circa 8,3 km lang en is onderdeel van normtraject 15-1. Het plangebied is weergegeven in figuur 1-1.



*Figuur 1-1 Plangebied Dijkversterking Schoonhoven – Salmsteke (SAS)*

Er is voor de dijk een veiligheidsopgave voor de faalmechanismen overloop en overslag (GEKB), stabiliteit binnenwaarts (STBI) en piping.

### **Uiterwaarden**

Gelijktijdig ligt er in de uiterwaarden Collegewaard, De Bol en Willige Langerak een KRW-opgave voor het verbeteren van de (vnl. aquatische) natuurwaarden en waterkwaliteit en een NNN-/Natura 2000-opgave voor het verbeteren van de terrestrische natuurwaarden (figuur 1-1).

Rijkswaterstaat (RWS) heeft een omvangrijke opgave voor de realisatie van de Kaderrichtlijn Water (KRW). De opgave houdt in dat de ecologische waterkwaliteit in de grote rivieren zowel chemisch als ecologisch wordt verbeterd. In de uiterwaarden langs traject SAS betreft het de volgende KRW-maatregelen:

- geul Collegewaard (2,1 ha);
- natuurvriendelijke oever De Bol (0,5 km);
- geul Willige Langerak (3,5 ha);
- rivierhout (11 stuks);
- natuurvriendelijke oever bij Collegewaard / Vogelenzang.

Voor provincie Utrecht speelt de realisatie van het Natuurvisie Provincie Utrecht (12 dec 2016) en heeft als doel om in alle uiterwaarden de natuurdoelstellingen voor het Nationaal Natuur Netwerk en Natura 2000 te realiseren via kwaliteitsverbeteringen in bestaande natuur, de functieverandering naar nieuwe natuur en het ontwikkelen van nieuwe natuur via inrichting in beheer. Tevens wil de provincie invulling geven aan doelstellingen op het gebied van landschappelijke kwaliteit, cultuurhistorie, mobiliteit, erfgoed en recreatie.

### 1.3 Aanleiding en context

In het kader van het dijkversterkingsproject in het traject Salmsteke – Schoonhoven (SAS) is het gewenst om op regionale schaal de effecten van de voorgestelde maatregelen op het grondwatersysteem te kunnen bepalen. Dit is met name van belang voor het onderdeel 'Watersysteem' van het Milieueffectrapport.

Om de effecten te kunnen bepalen, is op basis van recente inzichten een 3D-grondwatermodel opgesteld. Dit grondwatermodel is beschreven in de rapportage 'Achtergrondrapport 3D grondwatermodellering SAS'. Daarin wordt naast de kenmerken van het plangebied tevens de manier behandeld waarop dit grondwatermodel tot stand is gekomen.

### 1.4 Doelstelling

De vaststelling van de dijkveiligheidsopgave vormt een belangrijk onderdeel van het dijkversterkingsproject. Maatgevend voor de dijkveiligheidsopgave zijn de maximale stijghoogten bij een  $T=10.000$  hoogwater gebeurtenis.

Om deze stijghoogten te bepalen, zijn 2D-grondwaterberekeningen nodig. Het 3D-grondwatermodel levert de randvoorwaarden (stijghoogten) voor deze 2D-berekeningen.

Verder is het gewenst inzicht te hebben in de bandbreedte van de berekende maximale stijghoogte die ontstaat door de onzekerheid in de bodemparameters. Het gaat met name om de onzekerheid van de deklaagweerstand en het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket.

In de omgeving van het studiegebied zijn een aantal grondwaterwinningen aanwezig. Tevens is in het studiegebied een zogenaamd 'ontlaststelsel' aanwezig. Zowel de grondwaterwinningen als het ontlaststelsel verlagen de stijghoogte in het watervoerend pakket en verminderen daarmee potentieel de dijkveiligheidsopgave. Daarom dient de invloed van deze grondwateronttrekkingen en het ontlaststelsel op de stijghoogten tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis ter plaatse van het SAS-dijktraject inzichtelijk te worden gemaakt.

### 1.5 Leeswijzer

Dit rapport beschrijft de grondwaterrespons tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis. Allereerst is in hoofdstuk 2 een beknopt overzicht gegeven van de modellagen van het 3D-grondwatermodel. In paragraaf 3.1 is beschreven hoe de  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis in het model is verwerkt. De aanpak voor het bepalen van de bandbreedte van de berekende maximale stijghoogte (die ontstaat door de onzekerheid in de bodemparameters) is beschreven in paragraaf 3.2. Paragraaf 3.3 beschrijft de grondwateronttrekkingen en het ontlaststelsel in de omgeving van het SAS-dijktraject. Ten slotte is in paragraaf 3.4 een overzicht gegeven van de verschillende modelvarianten die geanalyseerd zijn in deze studie.

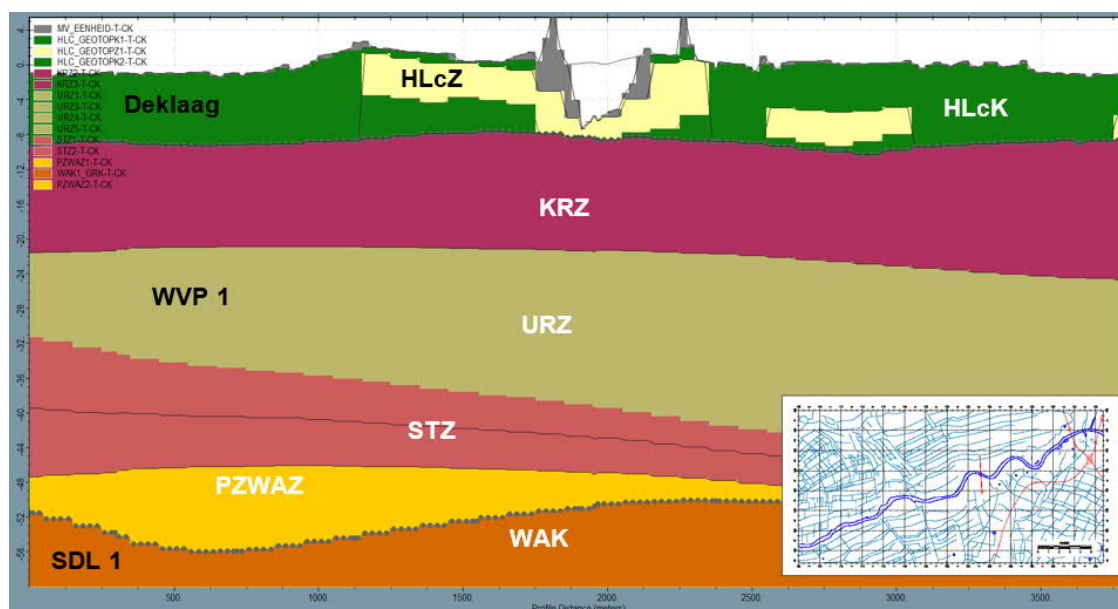
Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van de hoogwater berekeningen met het 3D-grondwatermodel. De conclusies die hieruit kunnen worden getrokken, zijn opgenomen in het vijfde hoofdstuk.

## 2 3D-grondwatermodel

Voor het studiegebied is een 3D-grondwatermodel gebouwd. Meer informatie hierover is opgenomen in de rapportage 'Achtergrondrapport 3D grondwatermodellering SAS'. Voor een goed begrip van de doorwerking van een hoogwatergolf op de omgeving is het van belang om inzicht te hebben in de opbouw van de ondergrond.

Met het oog daarop toont figuur 2-1 een dwarsdoorsnede van de ondergrond ter hoogte van Salmsteke. De modellagen in het grondwatermodel bestaan uit de volgende formaties:

- deklaag (waterscheidende laag):
  - formatie van Echteld, komafzettingen, bestaande uit leem, klei en zand (HLcK);
  - formatie van Nieuwkoop, bestaande uit veen (HLcK);
  - formatie van Kreftenheye, laag van Wijchen, bestaande uit klei (HLcK);
- geulafzettingen in de deklaag:
  - formatie van Echteld, geulafzettingen bestaande uit (grof) zand (HLcZ);
- eerste watervoerend pakket:
  - formatie van Kreftenheye, bestaande uit (grof) zand (KRZ);
  - formatie van Urk, bestaande uit (grof) zand (URZ);
  - formatie van Sterksel, bestaande uit (grof) zand (STZ);
  - formaties van Peize en Waalre, bestaande uit (grof) zand (PZWAZ);
- eerste scheidende laag:
  - formatie van Waalre, bestaande uit klei (WAK).



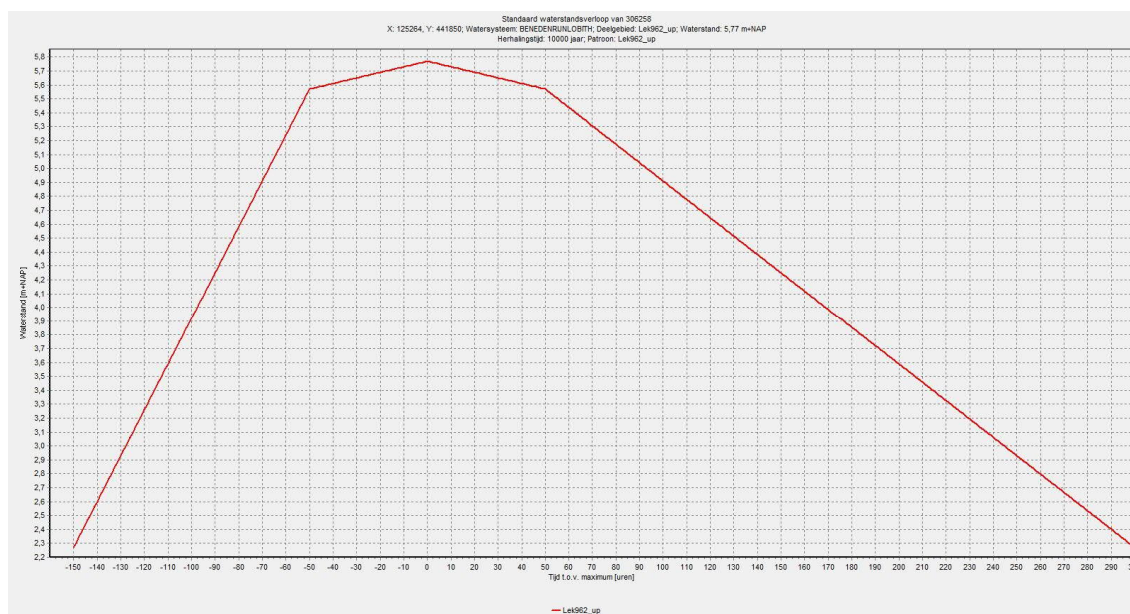
Figuur 2-1 Geologische formaties en geohydrologische pakketten in een Z-N dwarsprofiel ter hoogte van Salmsteke. De grenzen tussen de geohydrologische pakketten is weergegeven d.m.v. stippenlijnen  
Bronnen: GeoTOP v1.4 en REGIS v2.2.



## 3 Werkwijze

### 3.1 De T=10.000 hoogwater gebeurtenis

Het waterstandsverloop tijdens de T=10.000 gebeurtenis is gebaseerd op de waterstandsgrafieken in bijlage 1. Voor het afleiden van dit waterstandsverloop is de applicatie 'Waterstandsverloop' gebruikt. Dit is een door Rijkswaterstaat WVL uitgeleverde applicatie voor het bepalen van het verloop van de hoogwatergolf voor het beschouwen van de waterveiligheid. De hoogte van T=10.000 hoogwaterpiek bij Schoonhoven die uit deze applicatie volgt is circa NAP +4,9 m. Bij Salmsteke is de T=10.000 hoogwaterpiek circa NAP +5,8 m (zie figuur 3-1 en bijlage 1).



Figuur 3-1 Het waterstandsverloop (m+NAP) ter hoogte van Salmsteke (zie ook bijlage 1)

De waterstanden, behorend bij een T=10.000 hoogwatergebeurtenis, zijn toegepast door in het grondwatermodel de originele (gemeten) Lek waterstanden te verhogen in de maand januari 2011. Er is gekozen voor januari 2011, omdat de waterstanden op dat moment al hoog zijn en de initiële grondwaterstanden in het grondwatermodel geschikt zijn voor het simuleren van een hoogwater gebeurtenis.

### 3.2 Bandbreedteanalyse

De stijghoogten die met het grondwatermodel worden berekend, zijn verwachtingswaarden met een bepaalde onzekerheid. Deze onzekerheid is vooral afhankelijk van de bodem (ondergrond)-parameters. Er zijn verschillende berekeningen uitgevoerd om inzicht te krijgen in deze onzekerheid. Die berekeningen leveren een bandbreedte op van de verwachtingswaarden van de stijghoogte tijdens een hoogwater gebeurtenis.

De bodem (ondergrond)parameters zijn samen te vatten in de zogenaamde 'spreidings-lengte'. De spreidingslengte is bepalend voor de doorwerking van de Lek waterstand op de stijghoogte in het watervoerend pakket.

De spreidingslengte is gebruikt als parameter om de bandbreedte in de berekende stijghoogten vast te stellen. Er zijn een tweetal modelvarianten gemaakt:

- Het model met de maximale spreidingslengte is opgebouwd door de maximale deklaagweerstand en maximale horizontale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket toe te passen.
- Het model met de minimale spreidingslengte is opgebouwd door de minimale deklaagweerstand en minimale horizontale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket toe te passen.

De minimale en maximale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket zijn bepaald met de standaardafwijkingen van de doorlatendheden van de geologische eenheden uit REGIS die in het eerste watervoerend pakket aanwezig zijn. De minimale en maximale deklaagweerstand zijn toegepast door de doorlatendheid van de verschillende lithoklassen per geologische formatie in GeoTOP te vermenigvuldigen met een factor. Deze factor is in orde grootte hetzelfde als de standaardafwijking die aanwezig is in REGIS.

Aan de hand van beide modelvarianten (minimale en maximale spreidingslengte) is de bandbreedte van de berekende stijghoogten bepaald.

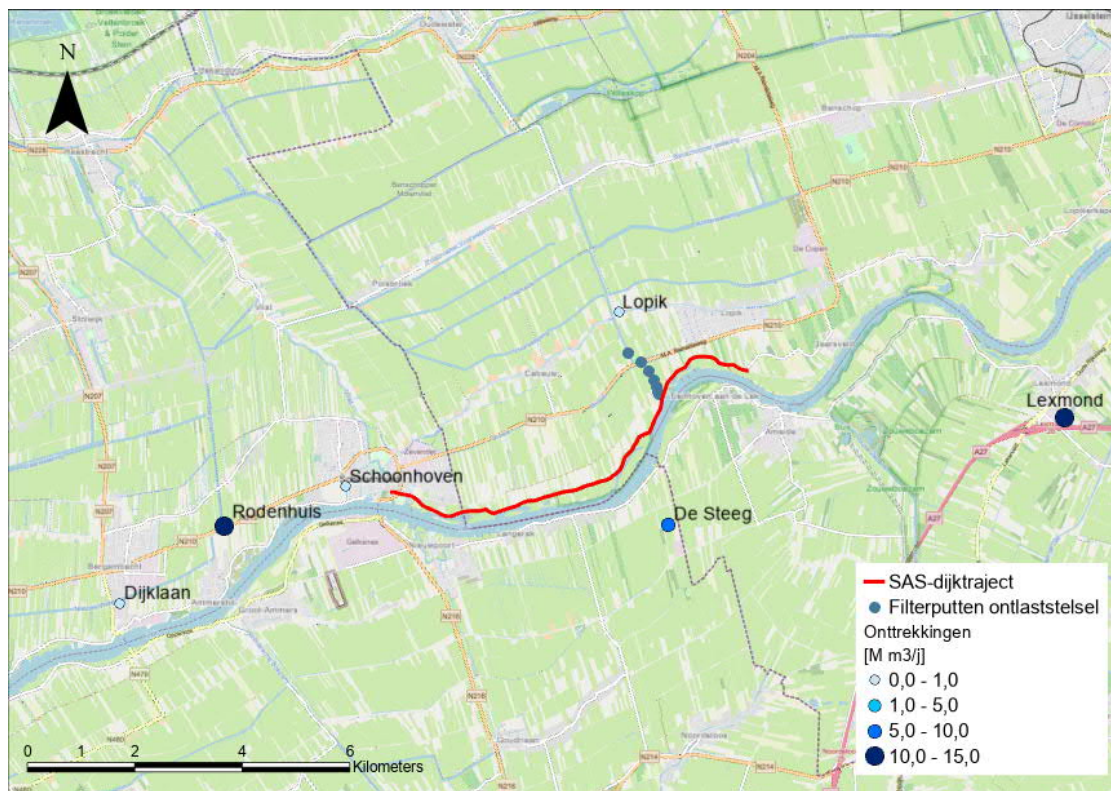
Ten slotte is er nog een modelvariant doorgerekend, waarbij de minimale deklaagweerstand en de maximale horizontale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket zijn toegepast. De resultaten van de verschillende modelvarianten komen aan bod in hoofdstuk 4.

### 3.3 Invloed grondwateronttrekkingen en ontlaststelsel

In de omgeving van het SAS-dijktraject liggen meerdere grondwateronttrekkingen en er is een ontlaststelsel aanwezig (zie tabel 3.1). De ligging van deze onttrekkingen en het ontlast-stelsel is weergegeven in figuur 3-2.

*Tabel 3.1 Grondwaterwinningen nabij het SAS-dijktraject*

Winning	Gemiddeld jaardebiet [M m <sup>3</sup> ]	Onttrekking uit
Dijklaan	0,8	eerste watervoerend pakket
Rondenhuis	11,8	eerste watervoerend pakket
Schoonhoven	0,5	eerste watervoerend pakket
De Steeg	8,9	eerste en tweede watervoerend pakket
Lopik	0,5	tweede watervoerend pakket
Lexmond	11,0	tweede watervoerend pakket



Figuur 3-2 Ligging van de grondwateronttrekkingen en het ontlaststelsel in de omgeving van het SAS-dijktraject

Grondwateronttrekkingen hebben een verlagend effect op de stijghoogte in het watervoerend pakket, ook tijdens een hoogwatergebeurtenis. Om hier meer inzicht in te krijgen, zijn meerdere gevoeligheidsberekeningen gedaan:

- een modelberekening van de hoogwatersituatie waarin *alle* grondwateronttrekkingen actief zijn;
- een modelberekening van de hoogwatersituatie waarin de grondwateronttrekkingen *Dijklaan Rodenhuis, Schoonhoven en De Steeg* inactief zijn;
- een modelberekening van de hoogwatersituatie waarin *het ontlaststelsel én de grondwateronttrekkingen Dijklaan Rodenhuis, Schoonhoven en De Steeg* inactief zijn;
- een modelberekening van de hoogwatersituatie waarin het *ontlaststelsel* inactief is en de grondwateronttrekkingen *Dijklaan Rodenhuis, Schoonhoven en De Steeg* actief zijn.

De resultaten hiervan zijn beschreven in hoofdstuk 3.

### 3.4 Modelvarianten

Tabel 3.2 toont alle modelvarianten voor de doorrekening van een T=10.000 hoogwatergolf.

*Tabel 3.2 Overzicht van de modelvarianten die gebruikt zijn voor het analyseren van de T=10.000 hoogwatergolf.*

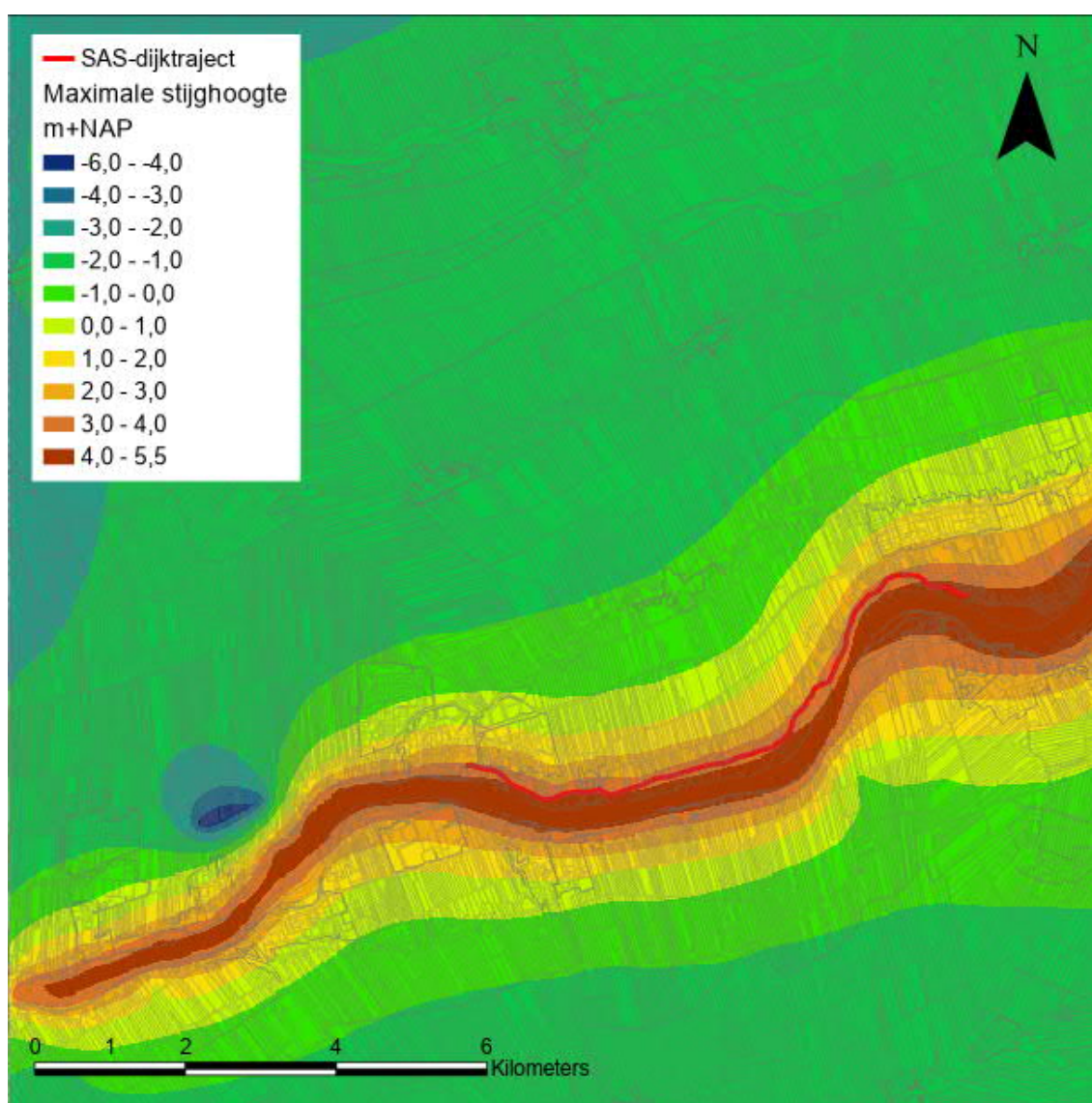
Modelvariant	Omschrijving
HOOGWGLF	Dit is een variant van het referentie model waarin in januari 2011 een <b>T=10.000 hoogwatergolf</b> is toegepast (zie paragraaf 3.1).
HOOGWGLF_MIN	Dit is een variant van HOOGWGLF met een <b>minimale</b> spreidingslengte (zie paragraaf 3.2)
HOOGWGLF_MAX	Dit is een variant van HOOGWGLF met een <b>maximale</b> spreidingslengte (zie paragraaf 3.2)
HOOGWGLF_ALT	Dit is een variant van HOOGWGLF met een <b>minimale deklaagweerstand</b> en een <b>maximale horizontale doorlatendheid</b> van het eerste watervoerend pakket (zie paragraaf 3.2)
HOOGWGLF_ONTR1	Dit is een variant van HOOGWGLF waarbij <b>grondwaterwinningen Rodenhuis, Dijklaan, Schoonhoven en De Steeg</b> inactief zijn gezet.
HOOGWGLF_ONTR2	Dit is een variant van HOOGWGLF waarbij het <b>ontlaststelsel bij gemaal "de Koekoek"</b> en grondwaterwinningen Rodenhuis, Dijklaan, Schoonhoven en De Steeg inactief zijn gezet.
HOOGWGLF_ONTR3	Dit is een variant van HOOGWGLF waarbij het <b>ontlaststelsel bij gemaal "de Koekoek"</b> inactief is gezet en de grondwaterwinningen Rodenhuis, Dijklaan, Schoonhoven en De Steeg actief zijn.

## 4 Resultaten

### 4.1 Met grondwaterwinningen

#### 4.1.1 Maximale stijghoogten en verticale flux (modelvariant HOOGWGLF)

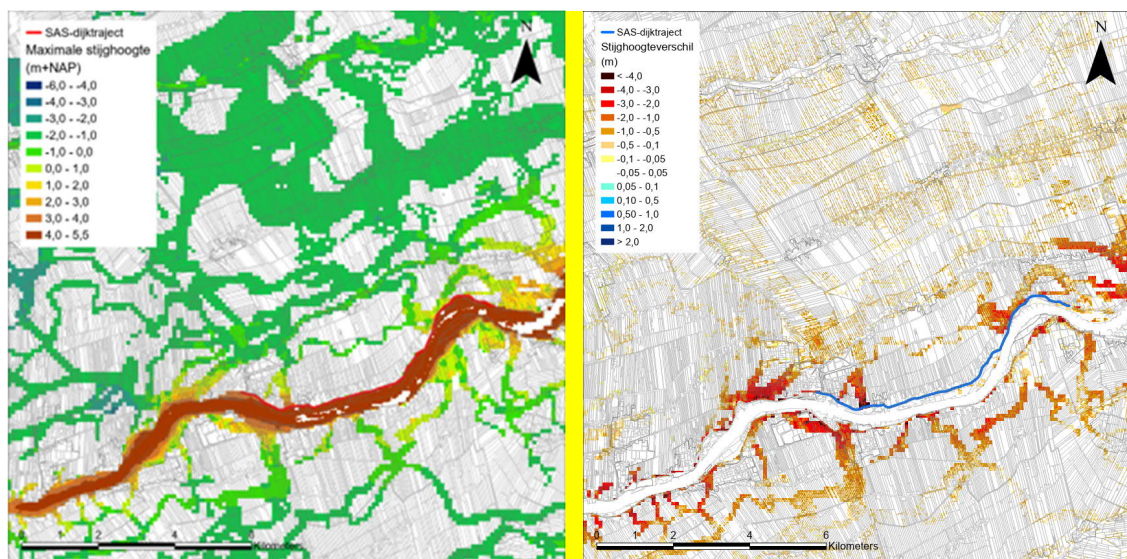
In figuur 4-1 zijn de berekende maximale stijghoogten in het eerste watervoerend pakket tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis weergegeven. In de figuur is te zien dat de stijghoogten direct langs de Lek het hoogst zijn en afnemen richting het achterland. Ter plaatse van het SAS-dijktraject is de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket circa NAP +3,2 m tot NAP +4,5 m. Verder is te zien dat de grondwaterwinning Rodenhuis, ten westen van Schoonhoven, een verlaging in de stijghoogte creëert.



Figuur 4-1 Maximale stijghoogten in het eerste watervoerend pakket tijdens een  $T=10.000$  hoogwater gebeurtenis

In figuur 4-2 toont:

- de berekende maximale stijghoogten in de Holocene zandbanen tijdens een T=10.000 hoogwatergebeurtenis en
- het verschil tussen de stijghoogten in de deklaag en de stijghoogte in de Holocene zandbanen.

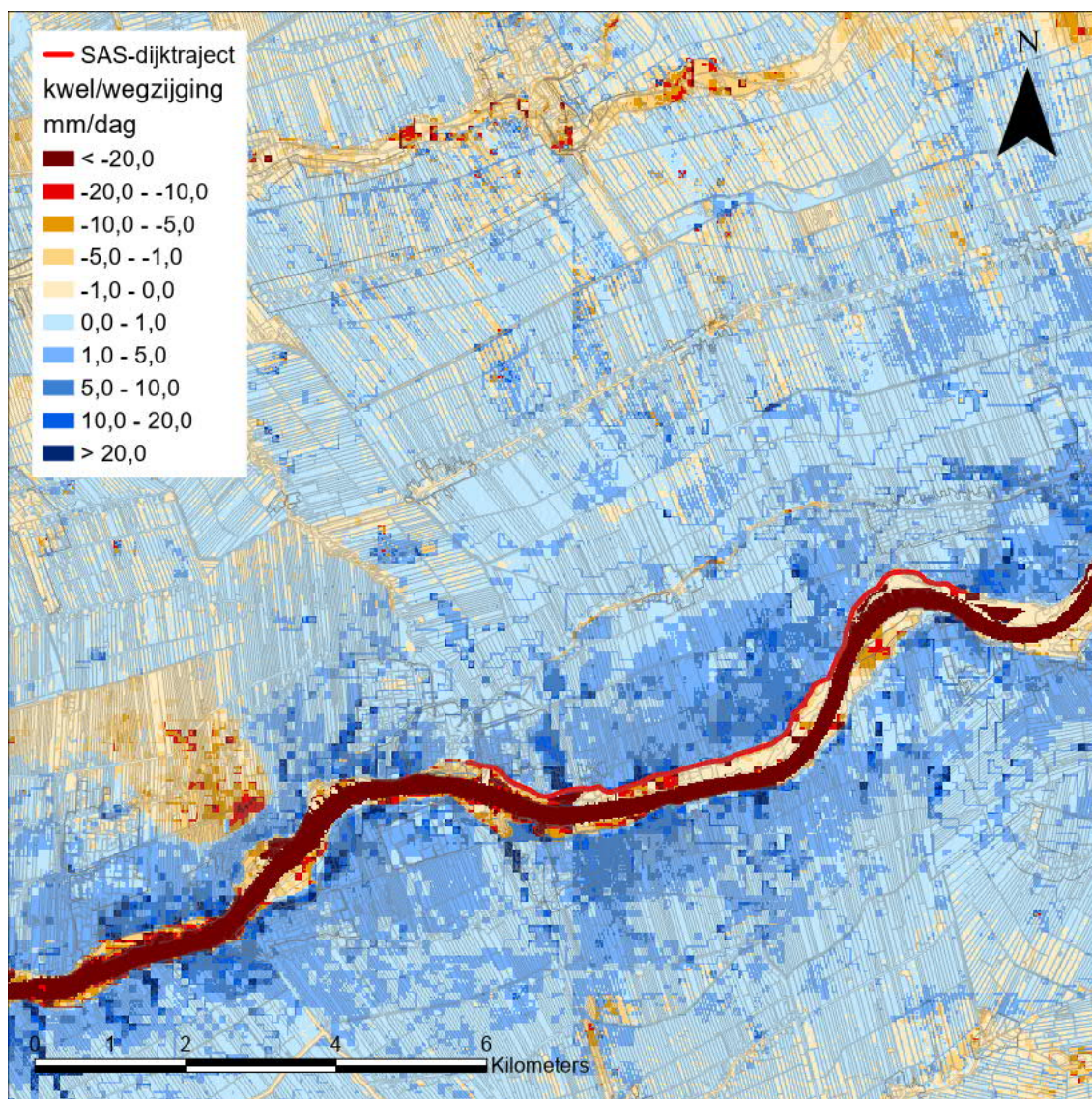


*Figuur 4-2 Links: de berekende maximale stijghoogten in de Holocene zandbanen tijdens een T=10.000 hoogwater gebeurtenis. Rechts: het verschil tussen de stijghoogten in de deklaag en de stijghoogte in de holocene zandbanen.*

In de zandbanen langs de Lek is de stijghoogte lager dan de stijghoogte in het onderliggende watervoerend pakket (rode kleur in het rechter plaatje van figuur 2-1). Dit stijghoogteverschil ontstaat, doordat er nog enige hydraulische weerstand aanwezig kan zijn tussen de onderkant van de zandbanen en het watervoerend pakket.

In verband met de waterveiligheidsopgave is het interessant te weten wat de berekende kwel is tijdens een hoogwatergebeurtenis vanuit de modellaag waarin de zandbanen zijn opgenomen. Die kwel (opwaartse flux) is weergegeven in figuur 4-3.

Uit figuur 4-3 blijkt dat plaatse van de Holocene zandbanen de kwel vanuit het eerste watervoerende pakket naar de deklaag veelal hoger is in vergelijking met locaties waar geen zandbanen liggen. De maximale berekende kwel tijdens een T=10.000 hoogwatergebeurtenis in de zandbaan ten oosten van Schoonhoven bedraagt circa 25 mm/dag.

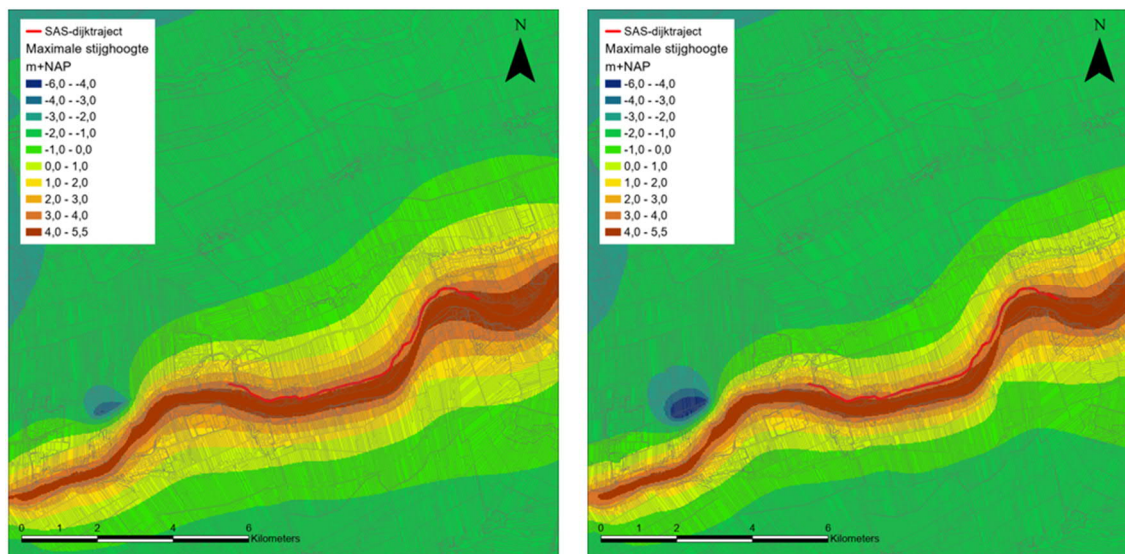


Figuur 4-3 Maximale kwel en wegzijing (mm/dag) vanuit de modellaag waarin de zandbanen zijn opgenomen tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis; negatieve waarden (rood) betekenen wegzijing; positieve waarden (blauw) betekenen kwel.

#### 4.1.2 Bandbreedte maximale stijghoogten (HOOGWGLF\_MIN en HOOGWGLF\_MAX)

In figuur 4-4 zijn de maximale berekende stijghoogten tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis in het eerste watervoerend pakket weergegeven. Allereerst is te zien dat de  $T=10.000$  hoogwater-stand een uitstralingseffect heeft richting het achterland. De uitstraling en stijghoogte in het achterland zijn groter bij een hogere spreidingslengte.

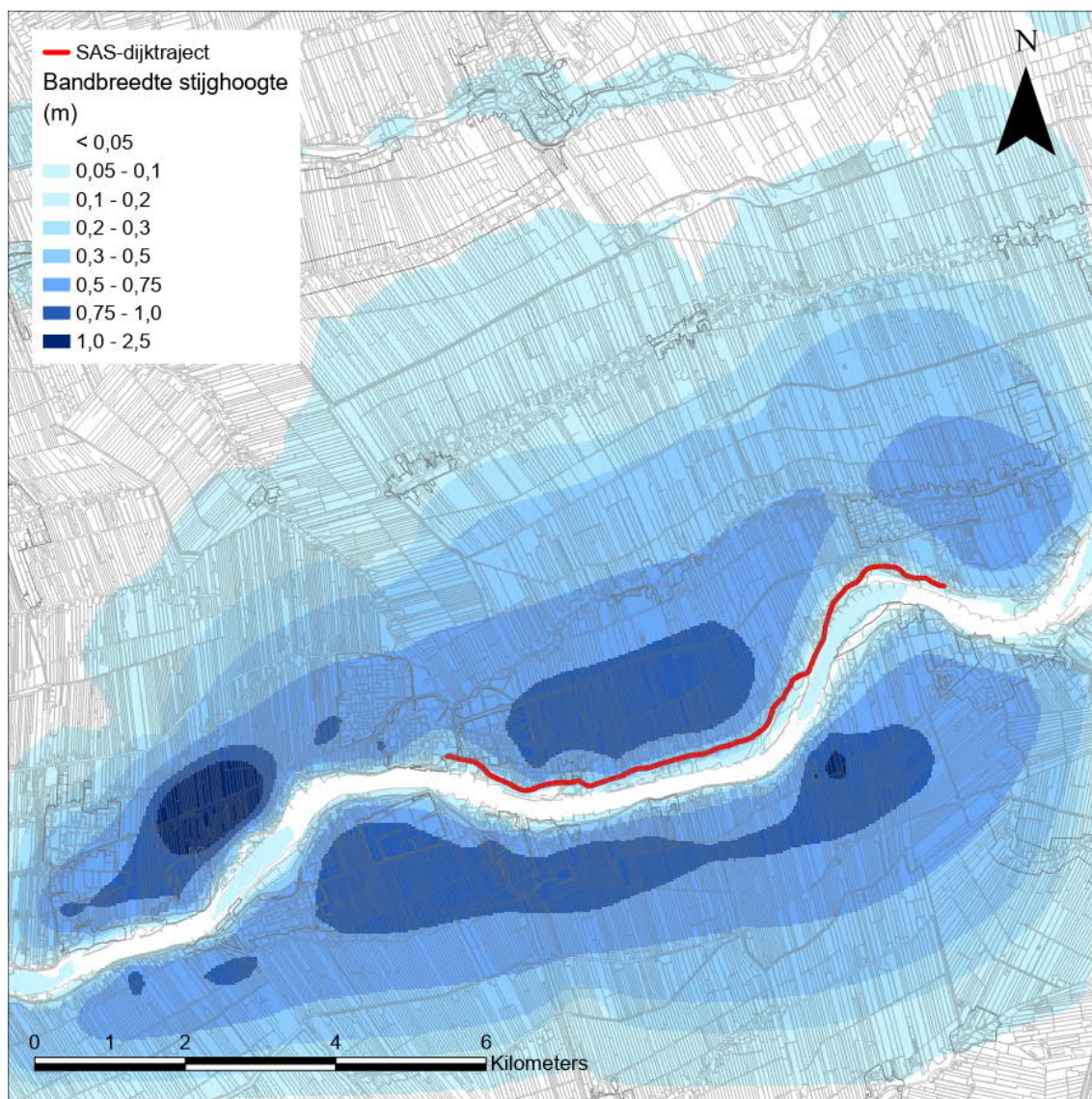
Verder is terug te zien dat de invloed van de grondwaterwinning Rodenhuis kleiner is bij een hogere spreidingslengte. Dit komt deels, omdat de invloed van de  $T=10.000$  hoogwaterstand richting de winning groter is bij een grotere spreidingslengte. Daarnaast is de verlagingkegel bij de onttrekking kleiner bij een grotere spreidingslengte.



Figuur 4-4 Maximale stijghoogte in het eerste watervoerend pakket tijdens een  $T=10.000$  hoogwater gebeurtenis; links: bij een maximale spreidingslengte; rechts: bij een minimale spreidingslengte

In figuur 4-5 is de bandbreedte in de berekende maximale stijghoogte in het eerste watervoerend pakket weergegeven. Allereerst is te zien dat de bandbreedte afneemt richting het achterland. Dit komt, omdat met toenemende afstand van de Lek de invloed van de  $T=10.000$  hoogwaterstand afneemt en de stijghoogte minder afhankelijk van de spreidingslengte wordt. Vanaf circa 5 km van de Lek verschilt de berekende maximale stijghoogte zelfs helemaal niet meer bij verschillende spreidingslengtes.



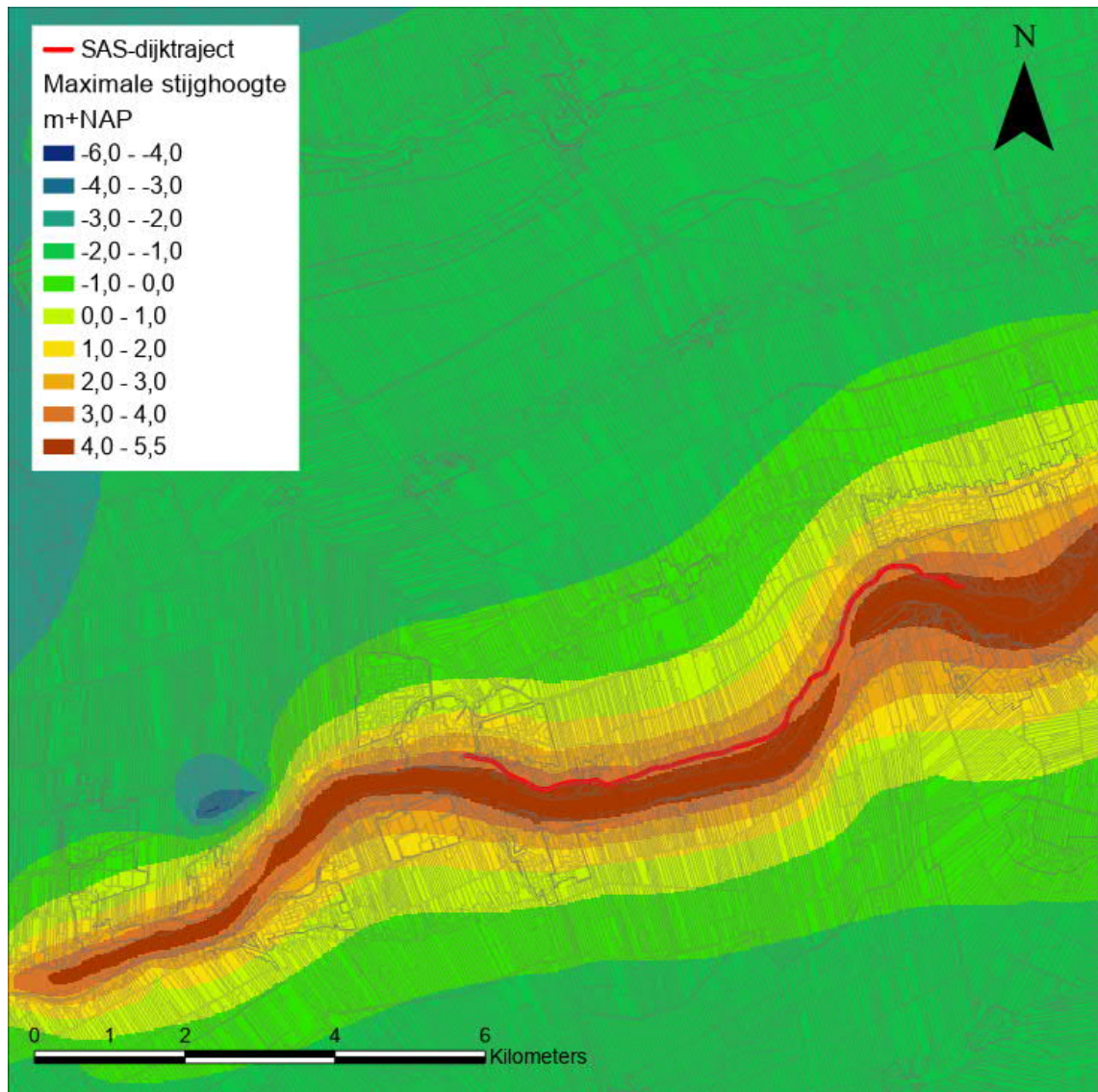


*Figuur 4-5 Bandbreedte (m) in de berekende maximale stijghoogten in het eerste watervoerend pakket tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis; Deze bandbreedte ontstaat als gevolg van de onzekerheid in de bodemparameters (van de deklaag en het eerste watervoerende pakket, zie ook paragraaf 3.2)*

#### 4.1.3 Maximale stijghoogten (modelvariant HOOGWGLF\_MAATGV)

Naast de modelvarianten voor het bepalen van de bandbreedte van de berekende stijghoogten, is er ook een modelvariant doorgerekend met een minimale deklaagweerstand en een maximale horizontale doorlatendheid van het eerste watervoerend pakket (HOOGWGLF\_ALT, zie paragraaf 3.2).

In figuur 4-6 is de berekende stijghoogten in het eerste watervoerend pakket tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis weergegeven. De berekende maximale stijghoogten vallen binnen de bandbreedte die is weergegeven in paragraaf 4.1.2.



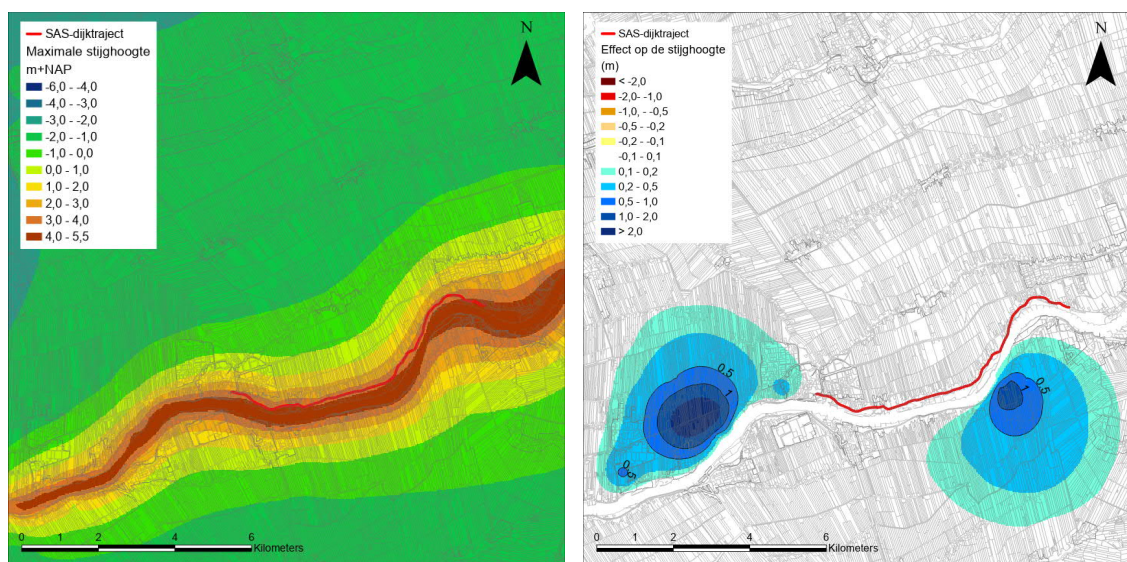
*Figuur 4-6 Met modelvariant (HOOGWGLF\_MAAATGV par. 2.4) berekende maximale stijghoogte in het eerste watervoerend pakket tijdens een T=10.000 hoogwatergebeurtenis*

## 4.2 Zonder grondwaterwinningen (HOOGWGLF\_ONTR1)

Allereerst is onderzocht wat de invloed is van de grondwateronttrekkingen Dijklaan, Rodenhuis, Schoonhoven en de Steeg op de stijghoogten in het eerste watervoerend pakket. In figuur 4-7 zijn de berekende maximale stijghoogten tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis in het eerste watervoerend pakket weergegeven, wanneer de grondwateronttrekkingen Dijklaan, Rodenhuis, Schoonhoven en de Steeg inactief zijn.

De verlagingsskegel ter plaatse van winning Rodenhuis, zoals te zien is in figuur 4-4, is niet meer aanwezig. Het effect van de inactiviteit van winningen Dijklaan, Rodenhuis, Schoonhoven en de Steeg is terug te zien als een verhoging van de stijghoogte in figuur 4-7.

De invloed van grondwaterwinningen Dijklaan, Rodenhuis en Schoonhoven op het SAS-dijktraject, is beperkt ( $< 0,10$  cm). Winning de Steeg heeft wel invloed op de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket ter plaatse van het SAS-dijktraject. De verhoging ter plaatse van het SAS-dijktraject die ontstaat bij inactiviteit van winning de Steeg tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis is maximaal 0,07 meter.

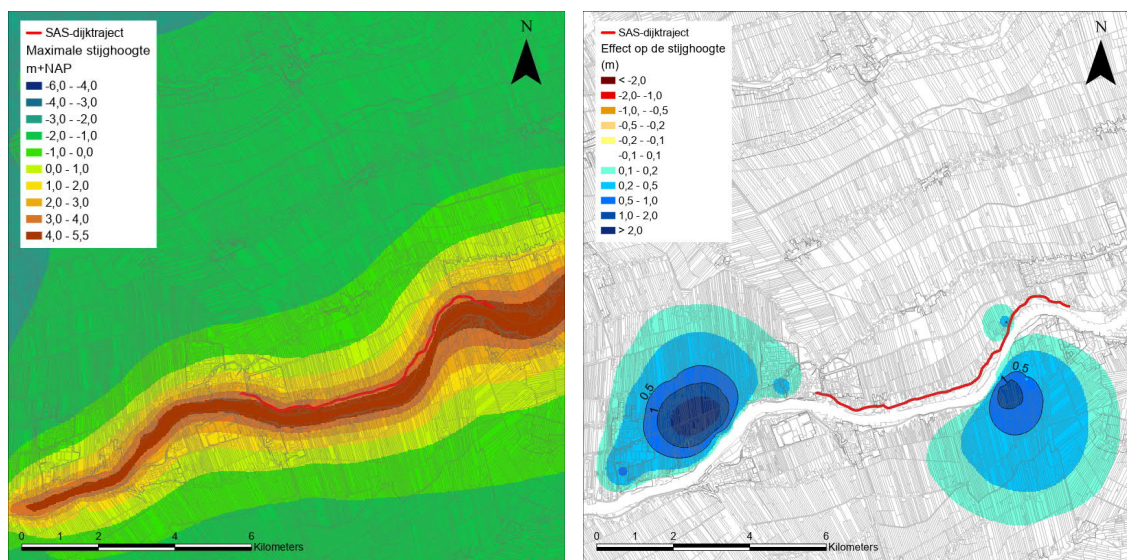


Figuur 4-7 Links: De berekende maximale stijghoogte in het eerste watervoerend pakket tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis wanneer de grondwaterwinningen Dijklaan, Rodenhuis, Schoonhoven en De Steeg inactief zijn; Rechts: het effect (m) van bovengenoemde situatie op de stijghoogte t.o.v. de situatie waarin alle onttrekkingen actief zijn

## 4.3 Zonder grondwaterwinningen en zonder ontlaststelsel (HOOGWGLF\_ONTR2)

Verder is onderzocht wat de invloed is van het ontlaststelsel ter hoogte van gemaal 'de Koekoek' door een situatie door te rekenen, waarbij het ontlaststelsel en de grondwaterwinningen Dijklaan, Rodenhuis, Schoonhoven en de Steeg inactief zijn. De resultaten hiervan zijn weergegeven in figuur 4-8.

Het ontlaststelsel beïnvloedt de stijghoogten in het eerste watervoerend pakket onder het SAS-dijktraject. De berekende invloed op de stijghoogten is maximaal 0,23 meter.

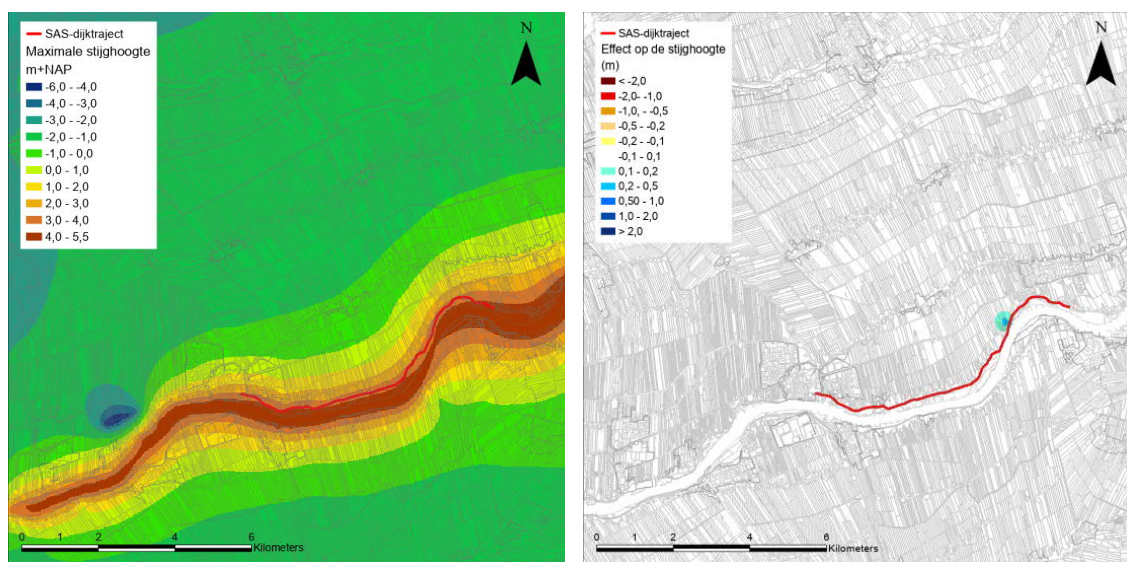


Figuur 4-8 Links: De berekende maximale stijghoogte in het eerste watervoerend pakket tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis wanneer het ontlaststelsel en de grondwaterwinningen Dijklaan, Rodenhuis, Schoonhoven en De Steeg inactief zijn; Rechts: het effect (m) van bovengenoemde situatie op de stijghoogte t.o.v. de situatie waarin alle onttrekkingen actief zijn

#### 4.4 Zonder ontlaststelsel (HOOGWGLF\_ONTR3)

Ten slotte is onderzocht wat het effect van het ontlaststelsel op de berekende stijghoogten is tijdens een hoogwatergebeurtenis.

Het ontlaststelsel verlaagt lokaal de stijghoogten in het eerste watervoerend pakket tijdens een hoogwatergebeurtenis met maximaal 0,19 m (figuur 4-9).



Figuur 4-9 Links: De berekende maximale stijghoogte in het eerste watervoerend pakket tijdens een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenis wanneer het ontlaststelsel inactief is; Rechts: het effect (m) van bovengenoemde situatie op de stijghoogte t.o.v. de situatie waarin alle onttrekkingen actief zijn

## 5 Conclusie

Voor het SAS-dijktraject is een 3D-grondwatermodel opgebouwd waarmee de grondwaterrespons bij een T=10.000 hoogwatergebeurtenis is doorgerekend.

Met dit model zijn de maximale stijghoogten tijdens een T=10.000 hoogwatergebeurtenis berekend. De berekende maximale stijghoogte tijdens een T=10.000 hoogwatergebeurtenis in het eerste watervoerend pakket onder het SAS-dijktraject ligt tussen de NAP +3,2 m en NAP +4,5. Richting het achterland neemt de invloed van de hoge waterstand in de Lek op de stijghoogte in het watervoerend pakket af.

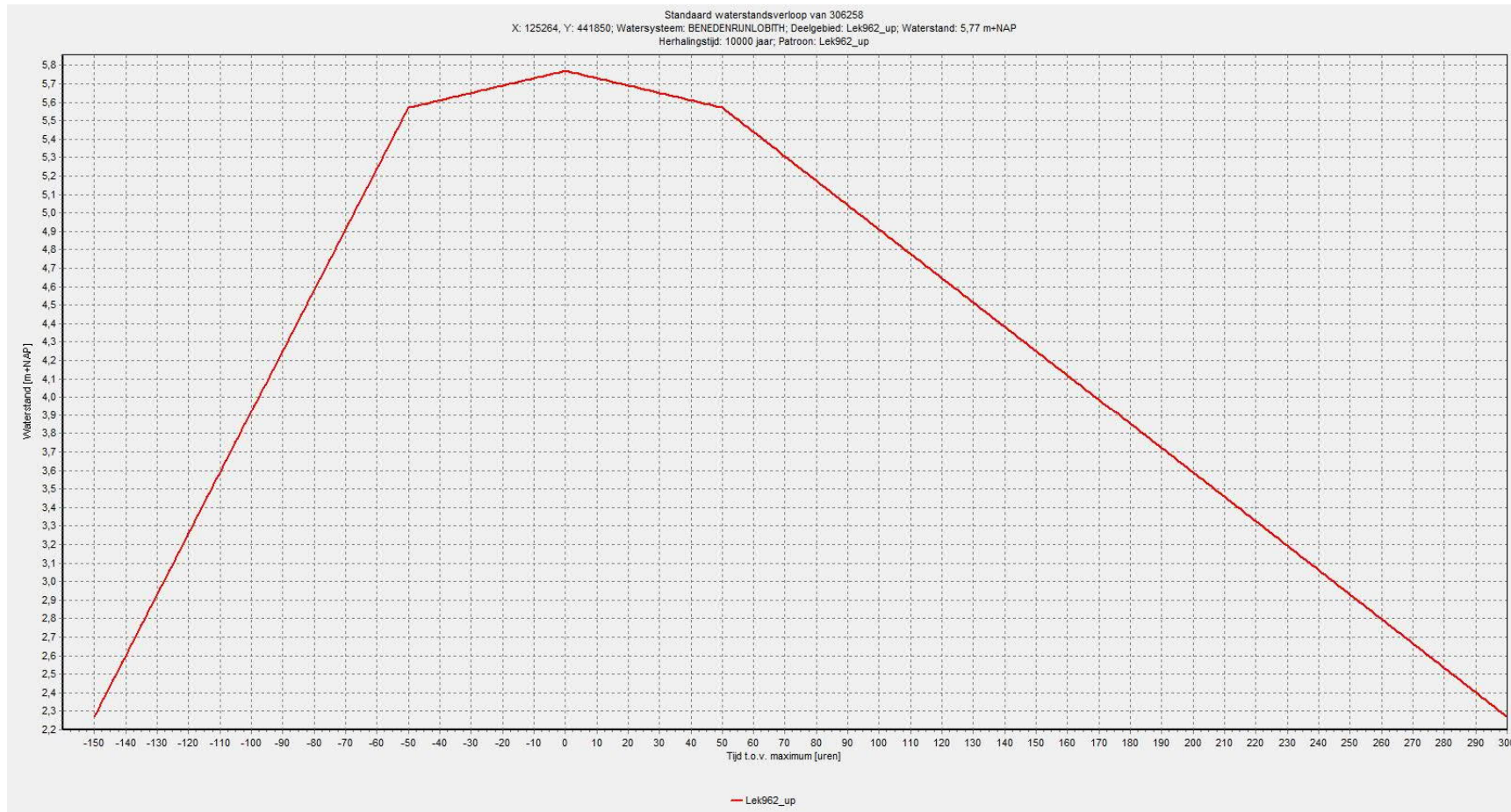
De maximale stijghoogten in de Holocene zandbanen langs de Lek tijdens een T=10.000 hoogwatergebeurtenis zijn lager dan de stijghoogten in het onderliggende watervoerende pakket, doordat er nog enige hydraulische weerstand aanwezig kan zijn tussen de onderkant van de zandbanen en het watervoerend pakket.

De onzekerheid in de bodemparameters (meer specifiek de deklaagweerstand en het doorlaatvermogen van het eerste watervoerend pakket) leidt ook tot onzekerheid in de berekende maximale stijghoogten tijdens een hoogwatergolf. Deze onzekerheid (bandbreedte) is met het grondwatermodel berekend en blijkt af te nemen richting het achterland. Dit kan worden verklaard doordat de invloed van de Lek afneemt op grotere afstand.

Ten slotte is de invloed van de grondwateronttrekkingen Dijklaan, Rodenhuis, Schoonhoven en de Steeg en het ontlaststelsel bij gemaal de Koekoek inzichtelijk gemaakt. De invloed van de grondwaterwinningen op het SAS-dijktraject is beperkt (< 0,10 cm). Uit de berekeningen blijkt dat de invloed van het ontlaststelsel op de stijghoogten tijdens een hoogwatergolf maximaal 0,23 m is.

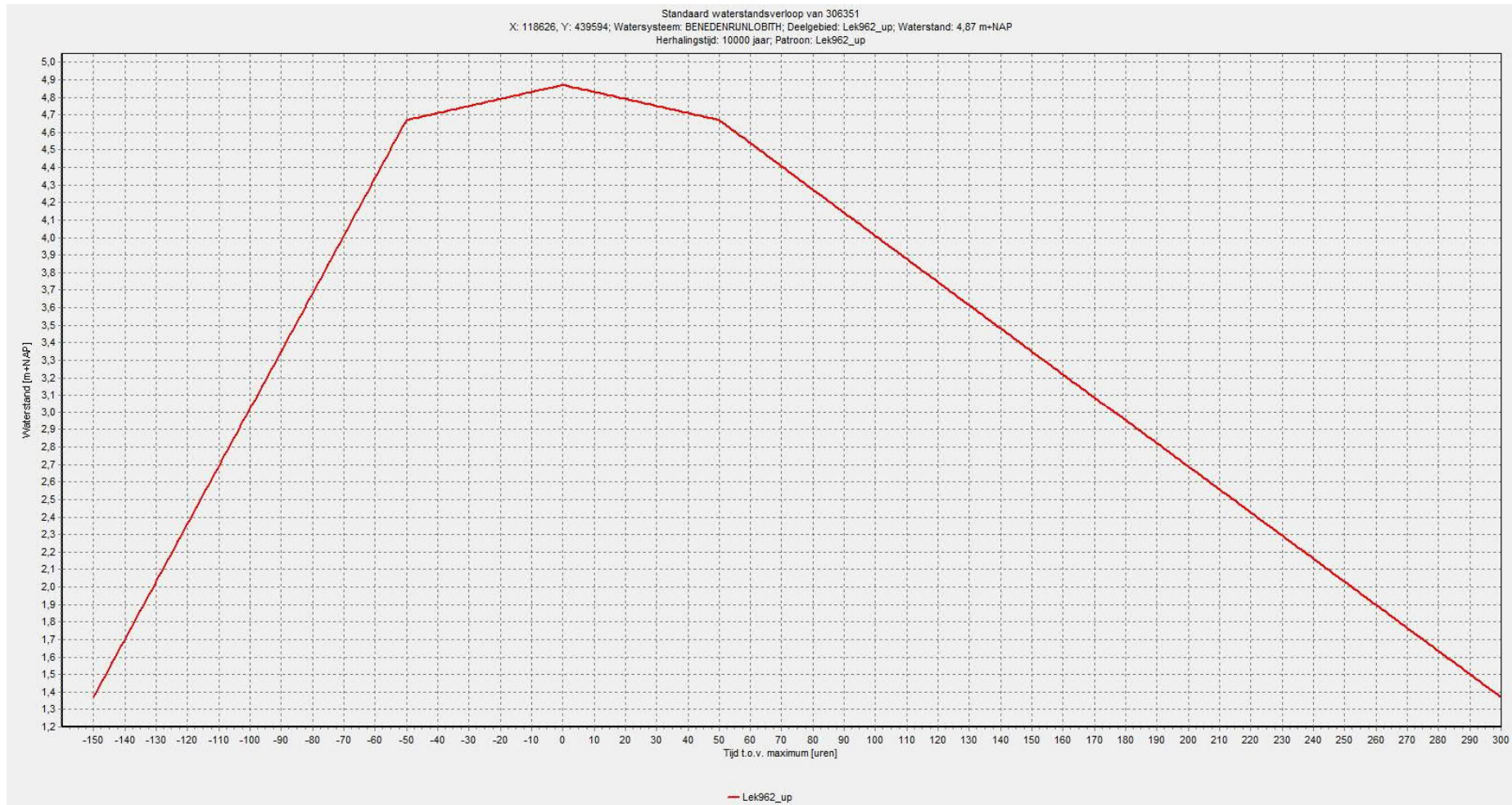


## Bijlage 1 T=10.000 hoogwater waterstandsverloop



B 1.1 Waterstandsverloop bij een T=10.000 hoogwatergebeurtenister hoogte van Salmsteke





B 1.2 Waterstandsverloop bij een  $T=10.000$  hoogwatergebeurtenister hoogte van Schoonhoven

