
Grondwatermodellering De Mars, Zutphen

7 september 2010

Verantwoording

Titel	Grondwatermodellering De Mars, Zutphen
Opdrachtgever	Gemeente Zutphen
Projectleider	Wilbert Peters
Auteur(s)	Gerhard Winters
Projectnummer	4502035
Aantal pagina's	41 (exclusief bijlagen)
Datum	7 september 2010
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale versie. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

Tauw bv
afdeling Water
Handelskade 11
Postbus 133
7400 AC Deventer
Telefoon (0570) 69 99 11
Fax (0570) 69 96 66

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001.

Inhoud

Verantwoording en colofon	3
1 Inleiding.....	7
2 Model	9
3 Berekeningen varianten.....	17
3.1 Rekenvragen	17
3.2 Rekenvarianten	17
3.3 Resultaten	17
3.4 Effecten bij spooronderdoorgangen en bouwputten.....	28
4 Advies aanleghoogtes spooronderdoorgangen.....	35
5 Conclusies	41

1 Inleiding

In opdracht van Programmabureau De Mars heeft Tauw een modelstudie uitgevoerd naar de hydrologische effecten van de heropening van de Noorderhaven. Deze rekenstudie staat niet op zichzelf, maar vormt de kwantitatieve input voor twee andere studies, namelijk de plan-mer Noorderhaven en het saneringsplan voor Flamco.

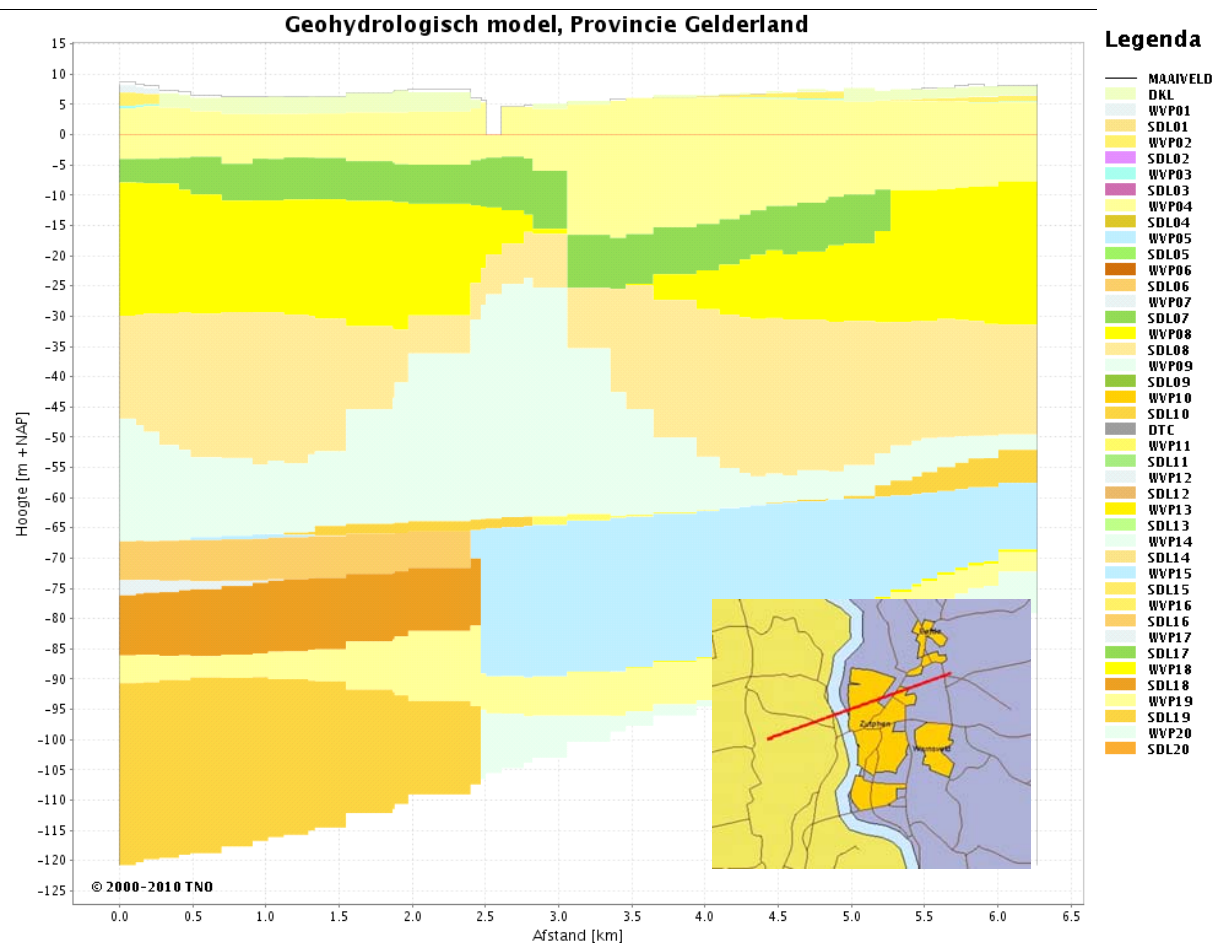
Beide genoemde studies hebben echter te maken met dezelfde hydrologische invloed van de aan te leggen haven op het grondwater. Wel kennen ze elk een geheel eigen beoordelingskader. De resultaten in deze rapportage beperken zich tot de effecten op water en de waterhuishouding. De afgeleide effecten op aspecten die specifiek zijn voor het saneringsplan en de mer worden in die rapportages behandeld.

In deze rapportage wordt het gebruikte grondwatermodel toegelicht en worden de rekenvarianten beschreven. Tot besluit worden de resultaten besproken.

2 Model

Om de effecten van de verschillende maatregelen te kwantificeren is gebruik gemaakt van een numeriek grondwatermodel. Voor de regio Achterhoek en het beheergebied van Waterschap Rijn en IJssel is het regionale model “AMIGO” opgesteld. Dit model bevat de laatste geohydrologische informatie van NITG-TNO en is gebouwd in een driedimensionale Modflow-omgeving. Omdat het een regionaal model is omvat het een zeer groot gebied en is grofmazig van opzet. Om het geschikt te maken voor De Mars en specifiek het plangebied Noorderhaven, is het rekengrid in het plangebied sterk verfijnd. Er zijn nu cellen van 5*5 meter gedefinieerd.

In figuur 2.1 is een dwarsdoorsnede van de ondergrond weergegeven. Daarin is de sterke gelaagdheid van de ondergrond goed te zien. De modelschematisatie is afgeleid van de gegevens uit REGIS.



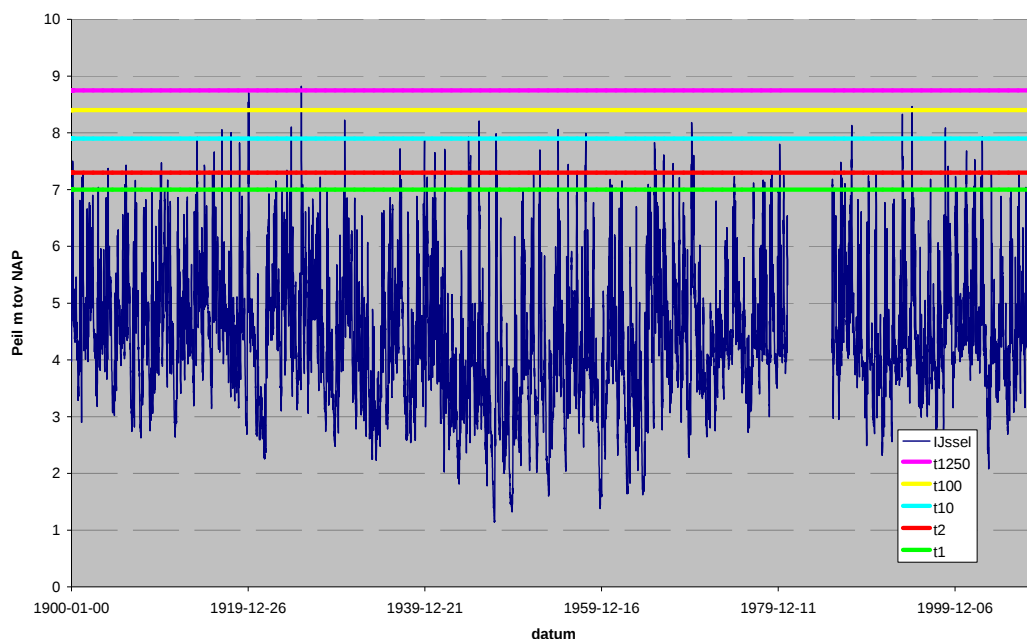
Figuur 2.1 Dwarsdoorsnede Regis

Er zijn nog verschillende andere aanpassingen gedaan om de berekeningen uit te kunnen voeren:

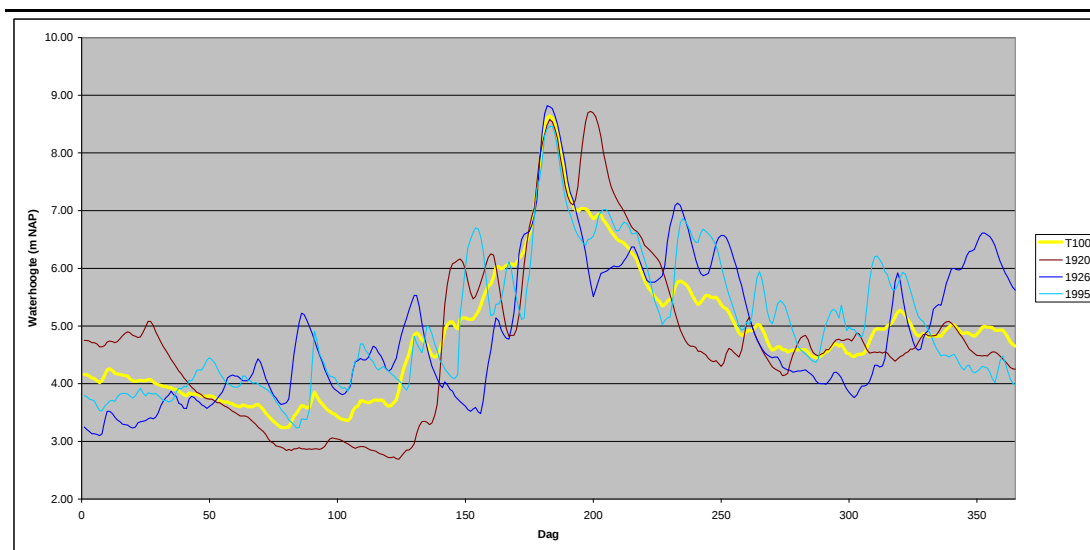
- De riviercellen zijn in-stationair gemaakt. Dat wil zeggen tijdafhankelijk. Om hoogwatergebeurtenissen door te kunnen rekenen moet het peil van de IJssel en het benedenpand van het Twentekanaal kunnen stijgen en dalen. Ook de havens die in open verbinding staan met de IJssel moeten met het hoogwater meestijgen
- Om de rekentijd te beperken is een venster van vijf bij vijf kilometer actief gemaakt, rekening houdend met de randstijghoogtes uit het gehele AMIGO model

De rivierstanden zijn in de eerste plaats afgeleid uit de meetgegevens van Rijkswaterstaat. Omdat bij hoogwatergebeurtenissen niet alleen de hoogte maar ook de duur belangrijk is, is een gemiddelde hoogwatergolf bepaald. Daarin zitten dan zowel de voorgeschiedenis als de duur van de hoogwatergolf verwerkt. De werkwijze en de resultaten zijn hierna weergegeven. In figuur 2.1 zijn de meetwaarden die beschikbaar zijn vanaf 1 januari 1900 weergegeven, met daarin met horizontale lijnen die de vastgestelde waterhoogte bij bekende herhalingsstijden weergeeft (bron: waternormalen.nl).

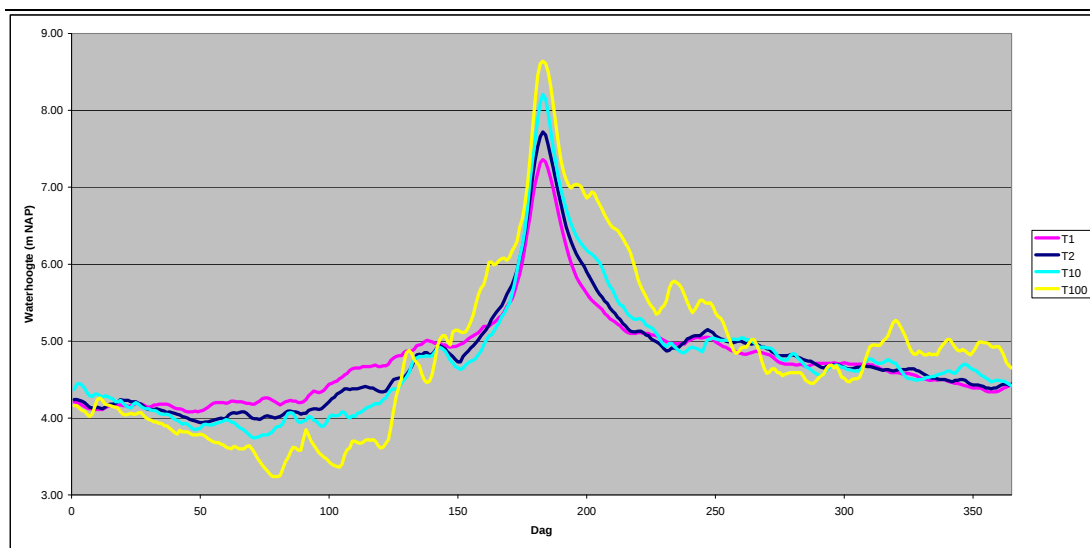
De waterhoogte behorende bij een herhalingsfrequentie is opgezocht in de reeks. Voor een eens per honderd jaar gebeurtenis (T100) is hiervan een voorbeeld gegeven in figuur 2.2. Dit voorbeeld is eenvoudig te volgen omdat in de reeks deze waarde slechts enkele malen overschreden wordt. Elk jaar dat de T100 waarde bereikt of overschreden wordt is het half jaar voor en na die waarde geselecteerd. De hoogste waarde is op een half jaar, of dag 183 geprojecteerd. Het gemiddelde van alle reeksen van 365 dagen waarin de T100 waarde voorkomt is weergegeven als dikke gele lijn. Deze werkwijze is herhaald voor verschillende frequenties van T1 tot T100 en weergegeven in figuur 2.3.



Figuur 2.2 Waterstanden IJssel, www.waterbase.nl



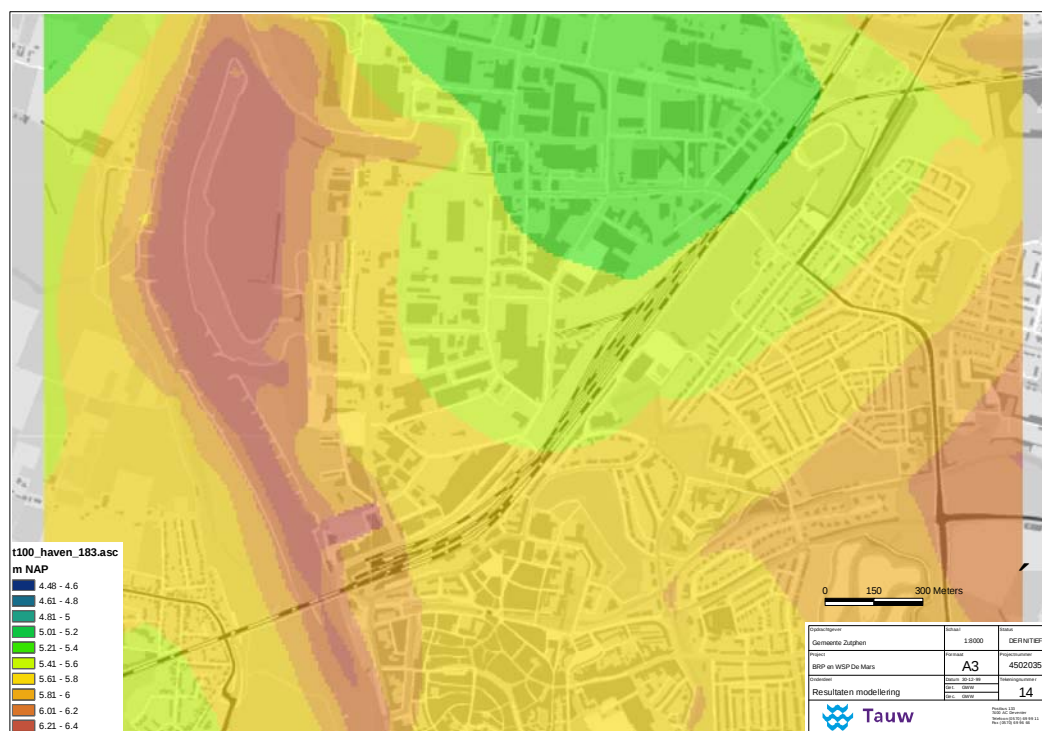
Figuur 2.3 Samenstellen gemiddelde hoogwatercurve T100 ter hoogte van de haven



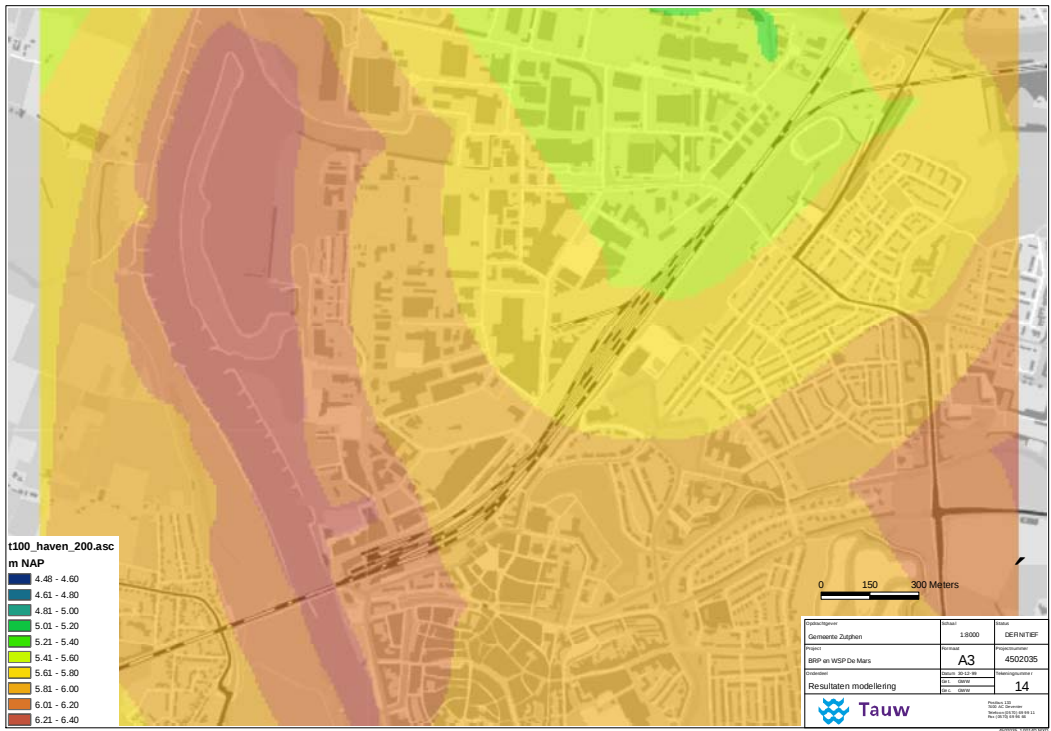
Figuur 2.4 Gemiddelde hoogwatercurves ter hoogte van de haven

De riviercellen in het modflowmodel zijn in verschillende runs gevoed met de hoogwatercurves uit figuur 2.3.

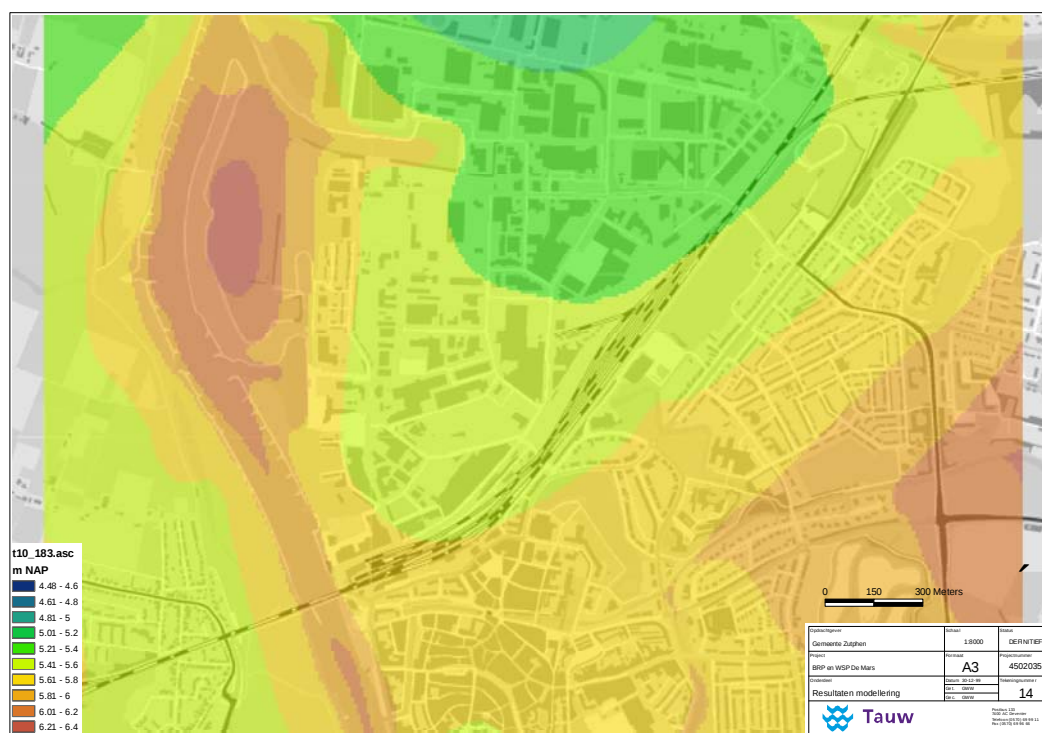
De huidige situatie levert het onderstaande beeld op aan grondwaterstanden. Er zijn van alle doorgerekende situaties twee situaties afgebeeld, een eens per 100 jaar situatie en eens per 10 jaar situatie. Opvallend is het verschil in de tijd. Het kost enige tijd voordat het hoogwater van de IJssel is doorgedrongen in het grondwater van De Mars. Dit is te zien in de figuren 2.4 tot en met 2.7. Zeventien dagen na de hoogwaterpiek in de IJssel staat het grondwater op de hoogste stand. Dit naijleffect is over het hele plangebied merkbaar.



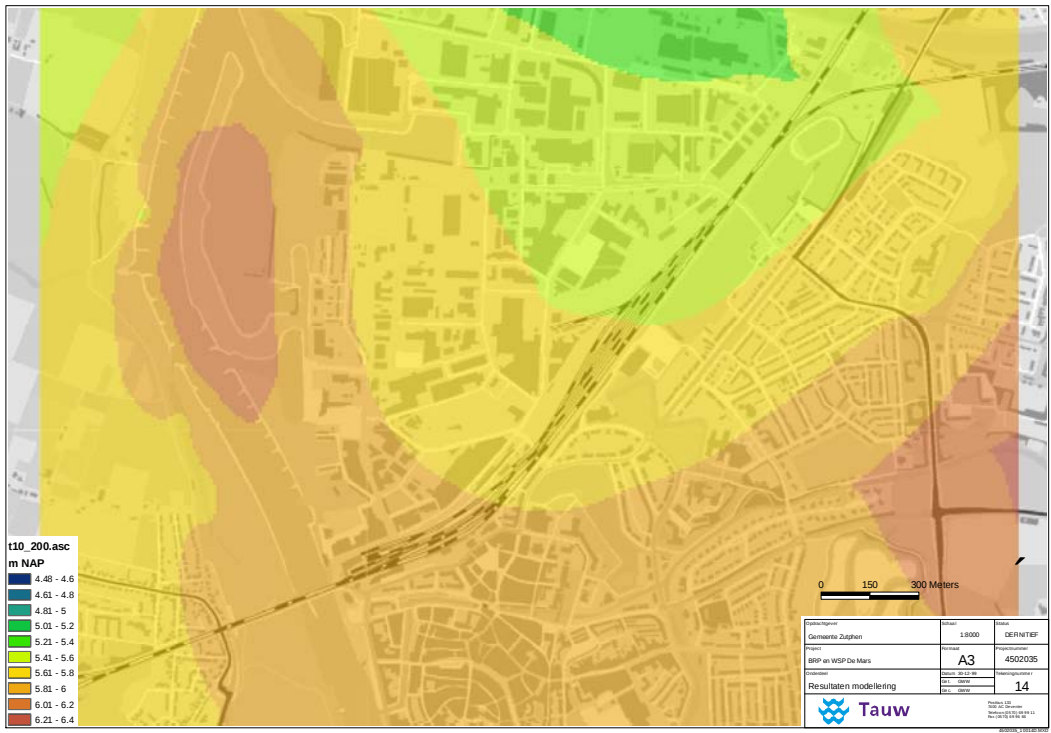
Figuur 2.5 Grondwaterstand T100, hoogste IJsselstand



Figuur 2.6 Grondwaterstand T100, naijleffect hoge IJsselstand



Figuur 2.7 Grondwaterstand T10, hoogste IJsselstand



Figuur 2.8 Grondwaterstand T10, naijleffect hoge IJsselstand

3 Berekeningen varianten

3.1 Rekenvragen

Er zijn verschillende rekenvragen die beantwoord moeten worden:

- Heeft de aanleg van de haven invloed op de grondwaterstanden?
- Heeft de aanleg van de haven invloed op de grondstromingsrichting?
- Heeft de wijze van aanleg van de haven, wel of niet afgesloten, invloed op de grondwaterhuishouding en bijbehorende effecten?
- Heeft de aanleg van de haven invloed op de bouwputbemalingen tijdens aanleg van geplande ondergrondse constructies, waaronder de spooronderdoorgangen?

3.2 Rekenvarianten

Er zijn verschillende situaties doorgerekend met het model.

De situatie met haven, maar ook de oorspronkelijke situatie zonder haven om het vergelijk mogelijk te maken. Ook is er een situatie waarin rekening gehouden is met een hoogwaterkering in de havenmonding. Als laatste optie is ook gerekend met de effecten van een damwand langs de waterkering over de gehele lengte van het plangebied. Alle varianten die zijn doorgerekend en de naam van de rekenvariant zijn in onderstaande tabel weergegeven:

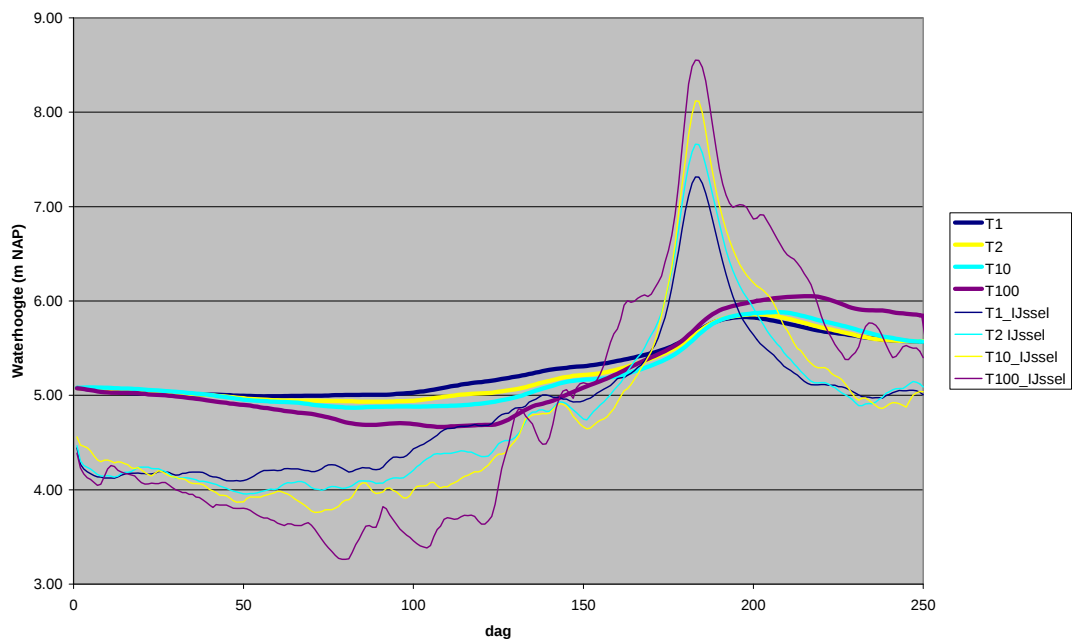
Tabel 3.1

Variant	Geen haven	Haven	Haven afgesloten	Damwand
Huidige Ref183 situatie				
T1	t1	t1_haven	p.m.	t1_haven_damwand
T2	t2	t2_haven	p.m.	t2_haven_damwand
T10	t10	t10_haven	t10_haven_damwand_afgesloten	t10_haven_damwand
T100	t100	t100_haven	p.m.	

3.3 Resultaten

De uitgevoerde rekenvarianten geven inzicht in de extremen van te verwachten effecten. Alle kaartjes zijn als pdf-bijlage digitaal beschikbaar bij dit rapport zodat inzoomen op de resultaten mogelijk is.

In figuur 3.1 is de grondwaterstand in de tijd weergegeven ter plaatse van de te graven haven. Hierin is de vertraging tussen IJsselpeil en grondwaterstand voor de verschillende hoogwatersituaties goed te zien.

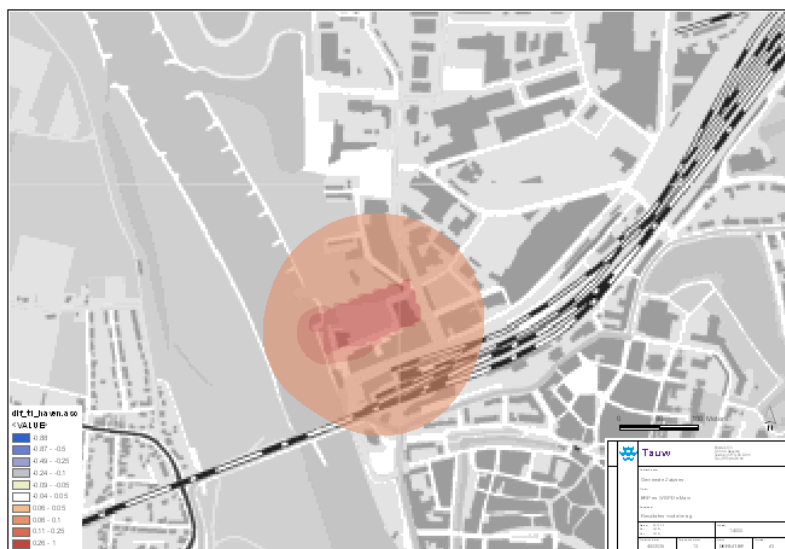


Figuur 3.1 Tijdstijghoogtelijnen ter hoogte van de nieuwe haven en IJsselpaai

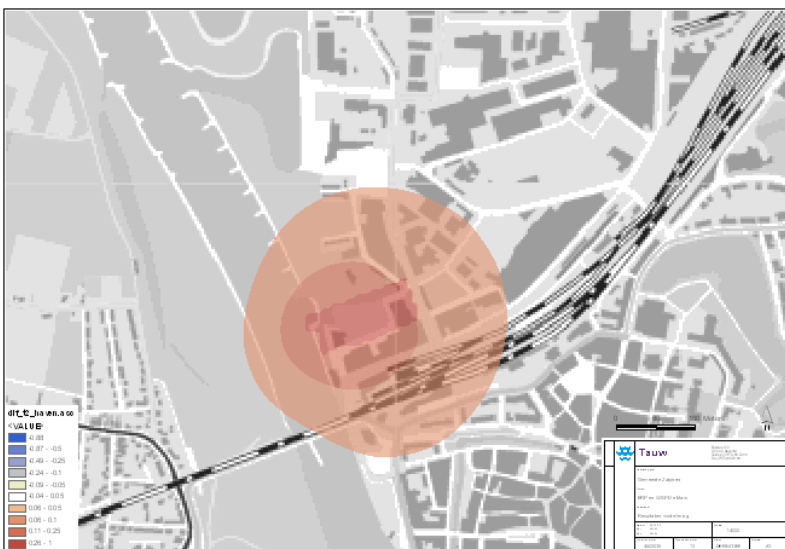
In figuur 3.2 tot en met 3.5 is de te verwachten verandering in grondwaterstand bij een T2, T10 en T100 hoogwatergolf weergegeven in de situatie met een niet afgesloten haven. In alle gevallen stijgt het grondwater tot een hogere waarde dan in de huidige situatie. Het tijdstip dat gekozen is ligt 17 dagen na de hoogwaterpiek in de IJssel omdat dan de hoogste grondwaterstand bereikt wordt. Ook onder de IJssel zijn contouren getekend. Dit is als verschilwaarde in het zandpakket ook te verwachten omdat de IJssel in het AMIGO model een bodemweerstand van 30 dagen kent.

Varianten met open haven

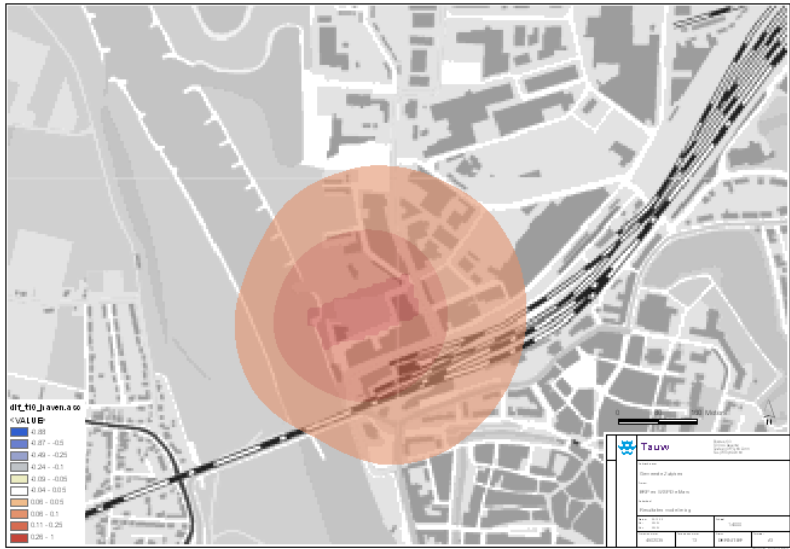
De varianten met een open haven geven onderstaand effectenbeeld. De figuren 3.2 tot en met 3.4 geven de verandering in grondwaterstand bij verschillende hoogwatersituaties weer.



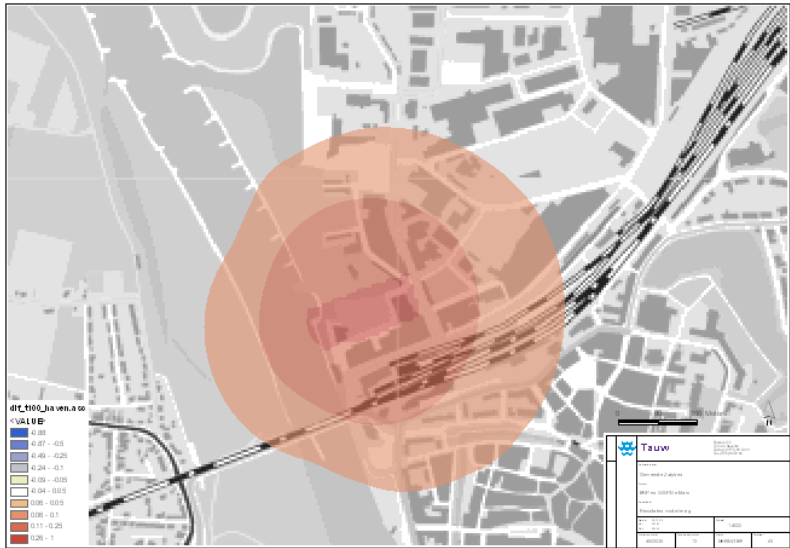
Figuur 3.2 Verandering grondwaterstand T1 (m), open haven



Figuur 3.3 Verandering grondwaterstand T2 (m), open haven



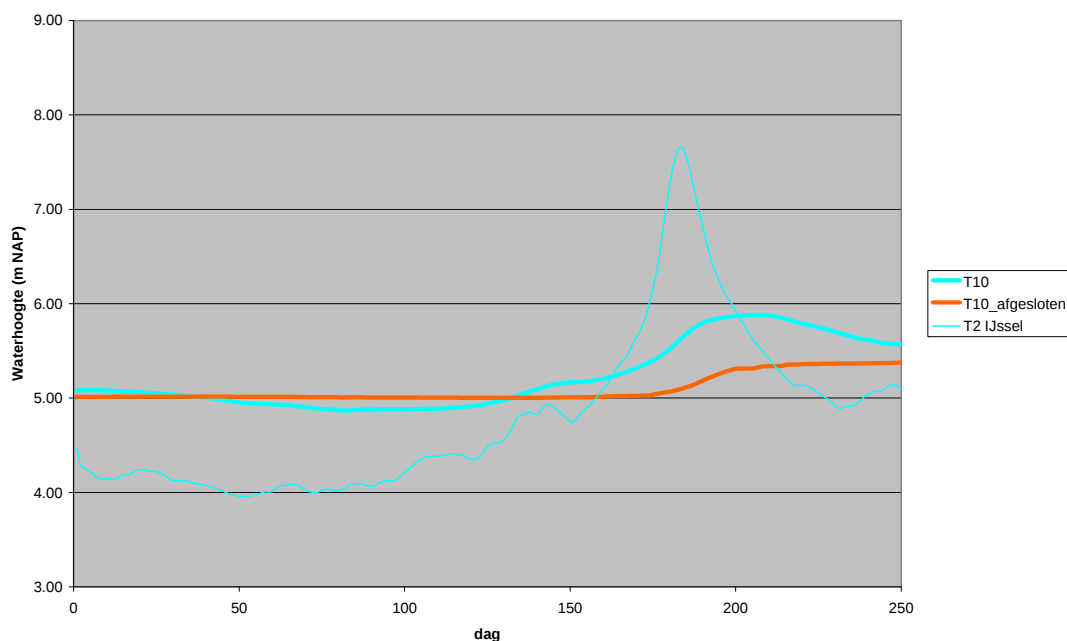
Figuur 3.4 Verandering grondwaterstand T10 (m), open haven



Figuur 3.5 Verandering grondwaterstand T100 (m), open haven

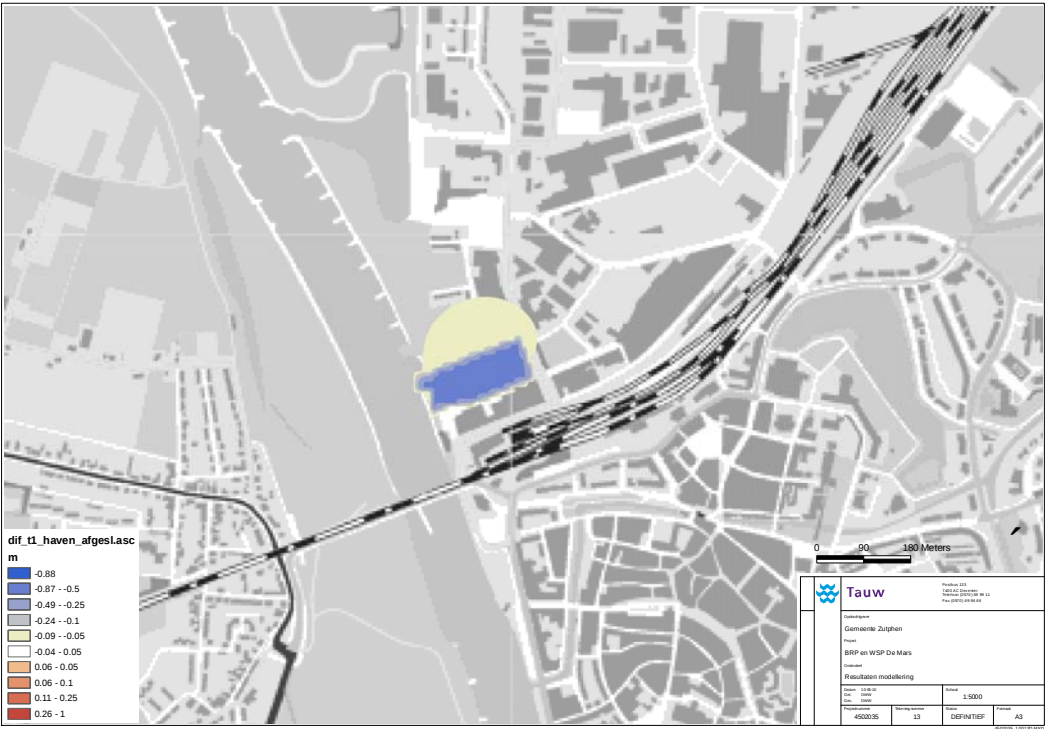
Gesloten haven

Wanneer haven wordt afgesloten zijn de effecten geheel anders. In figuur 3.6 is de tijdstijghoogtelijn te zien van het havenpeil in deze situatie. Het havenpeil blijft lager dan de grondwaterstand zonder haven geweest zou zijn. Dit komt omdat de bergingscoëfficiënt van water gelijk is aan 1 en die van bodemmateriaal 0,3. Netto treedt er dus een verlaging op ten opzichte van de huidige situatie. Het waterpeil in de afgesloten haven stijgt minder ver door dan nu de grondwaterstand op dezelfde plaats.



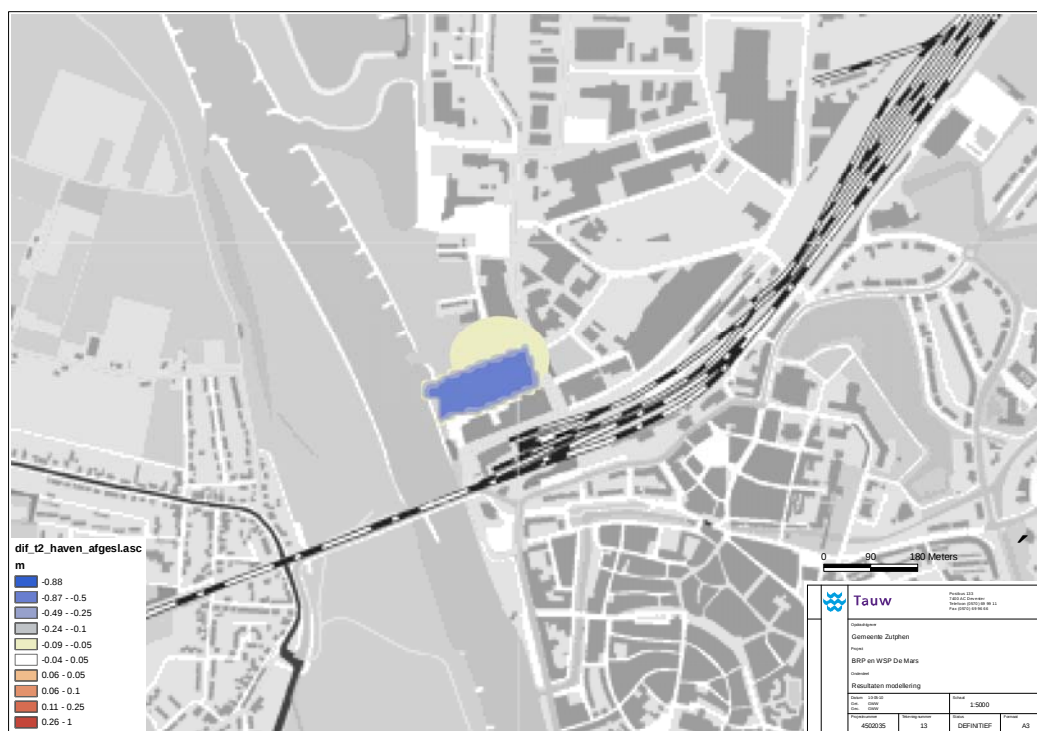
Figuur 3.6 Tijdstijghoogtelijnen ter hoogte van de nieuwe haven en IJsselpeil

Het water in de haven stijgt wel, maar langzamer en minder hoog. In de omgeving zijn de effecten dan ook veel beperkter en tegengesteld aan de effecten van een open haven die volledig meestijgt met het rivierwater.

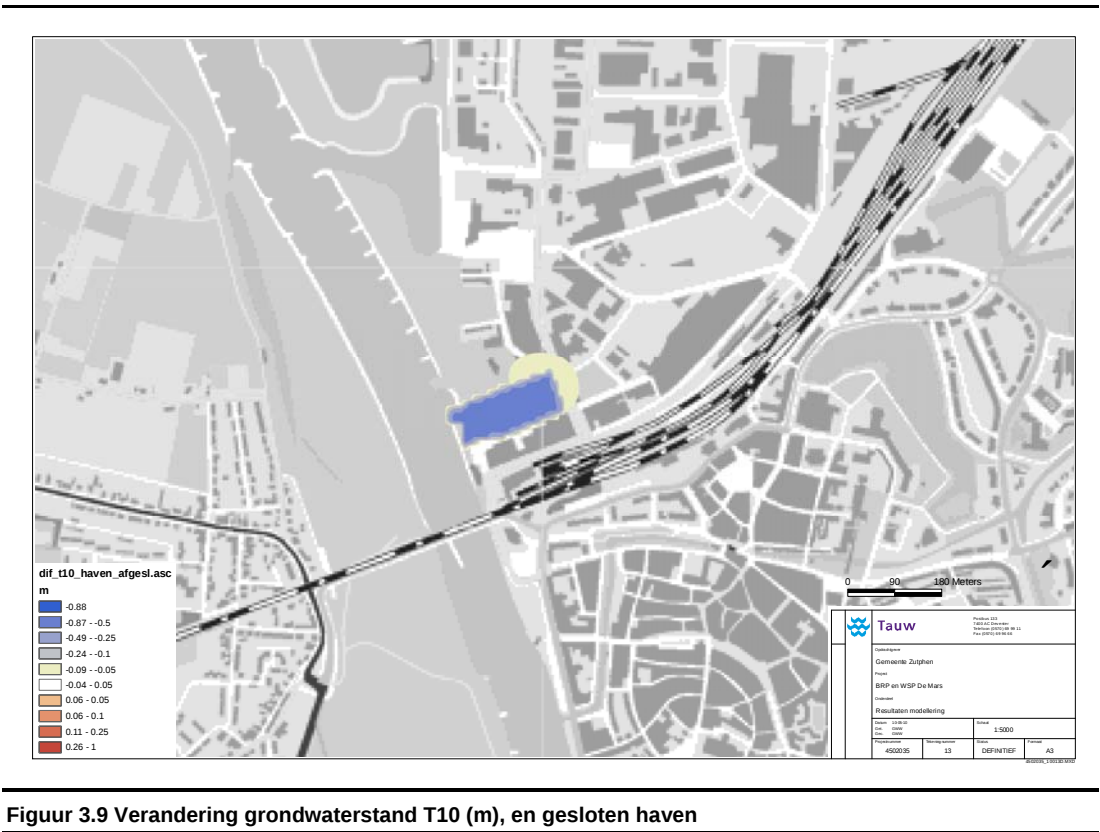


Figuur 3.7 Verandering grondwaterstand T1 (m), en gesloten haven

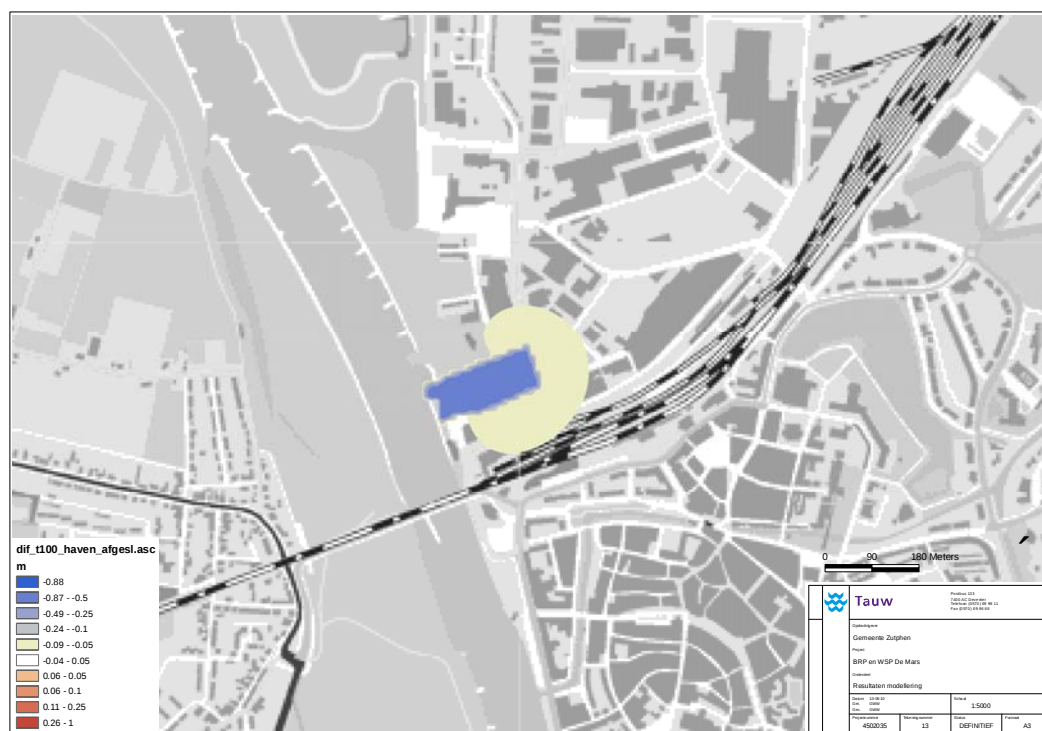
Kenmerk R011-4502035GWW-mfv-V01-NL



Figuur 3.8 Verandering grondwaterstand T2 (m), en gesloten haven



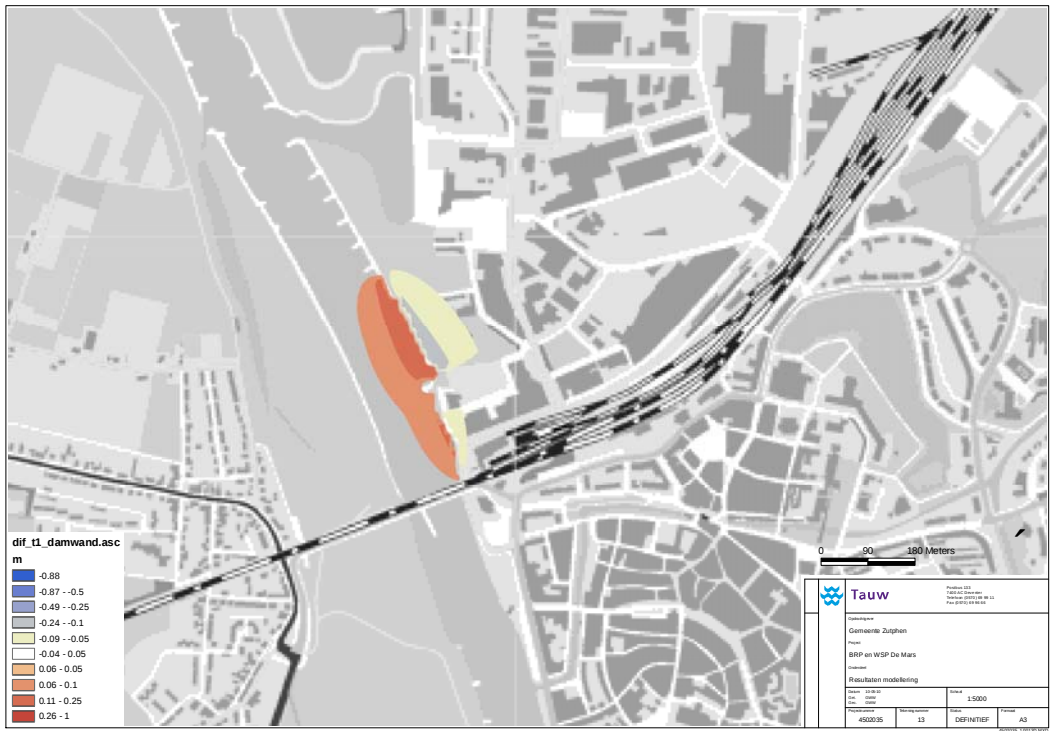
Figuur 3.9 Verandering grondwaterstand T10 (m), en gesloten haven



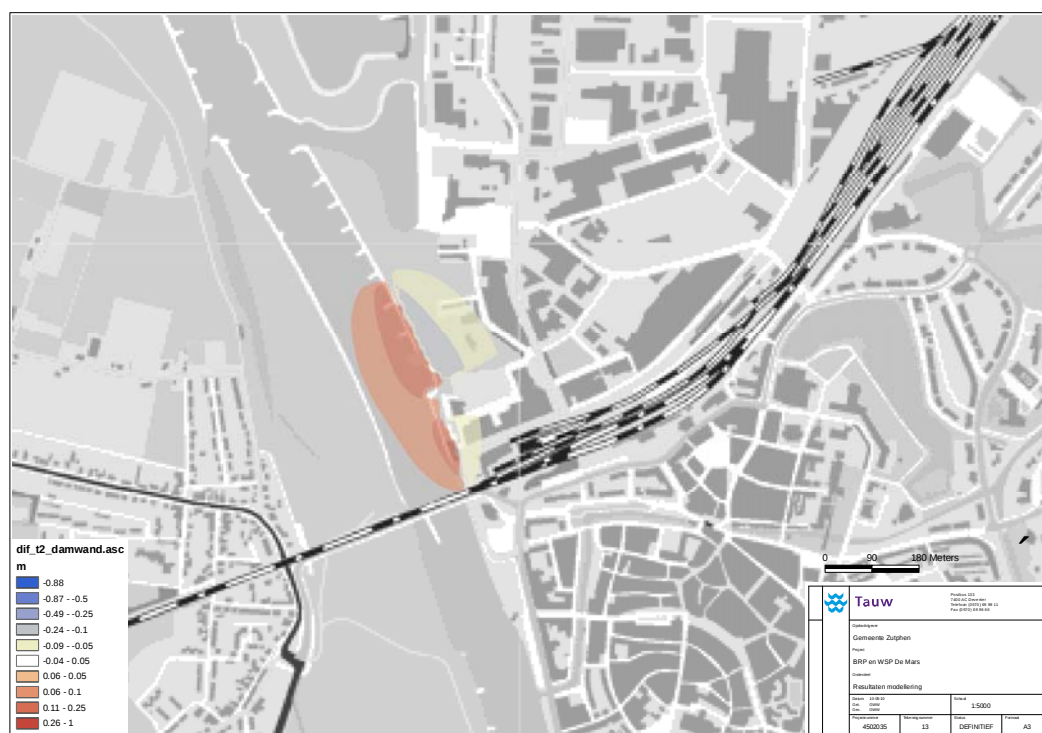
Figuur 3.10 Verandering grondwaterstand T100 (m), en gesloten haven

Varianten met damwand

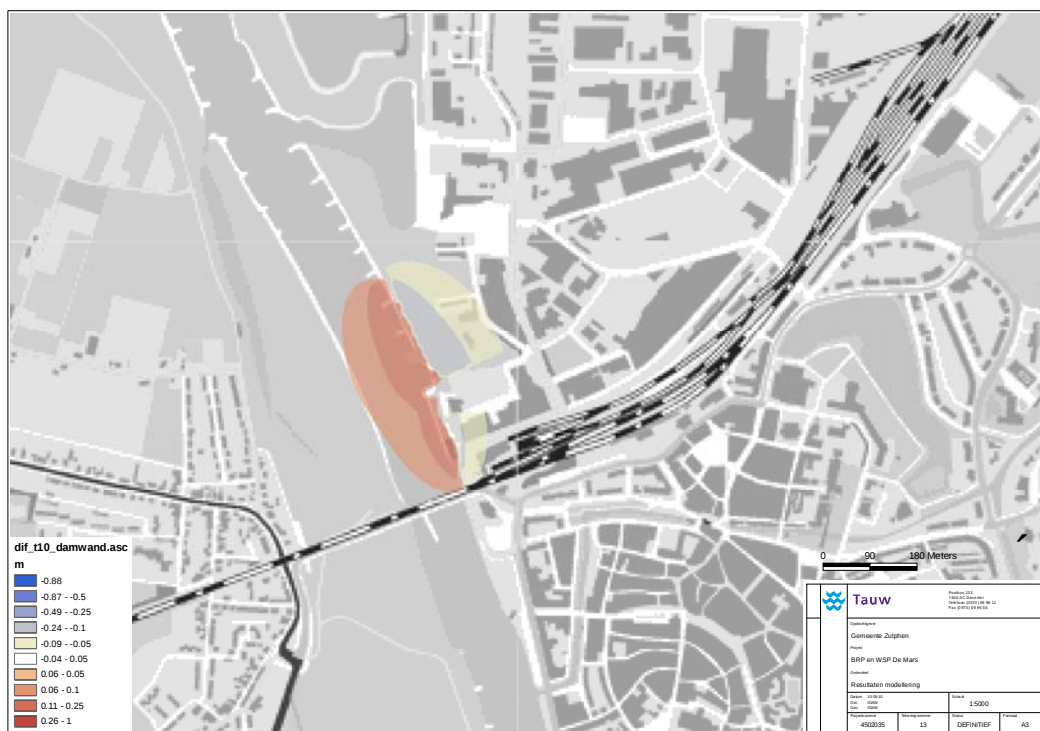
Een damwand langs de waterkering tot m -3 NAP heeft ook invloed op de grondwaterhuishouding. Er verzamelt zich water achter de wand dat zonder wand in de IJssel uitstroomt. Als vernattend effect is de invloed beperkt van omvang en beperkt in hoogte.



Figuur 3.11 Verandering grondwaterstand T1 (m)



Figuur 3.12 Verandering grondwaterstand T2 (m)



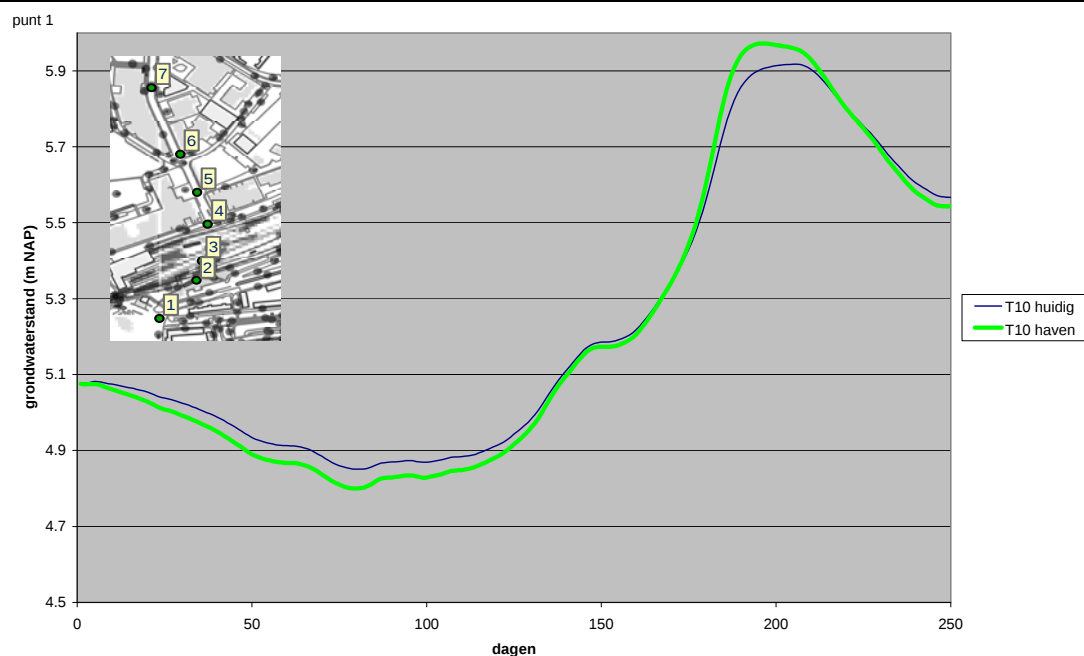
Figuur 3.13 Verandering grondwaterstand T10 (m)

3.4 Effecten bij spooronderdoorgangen en bouwputten

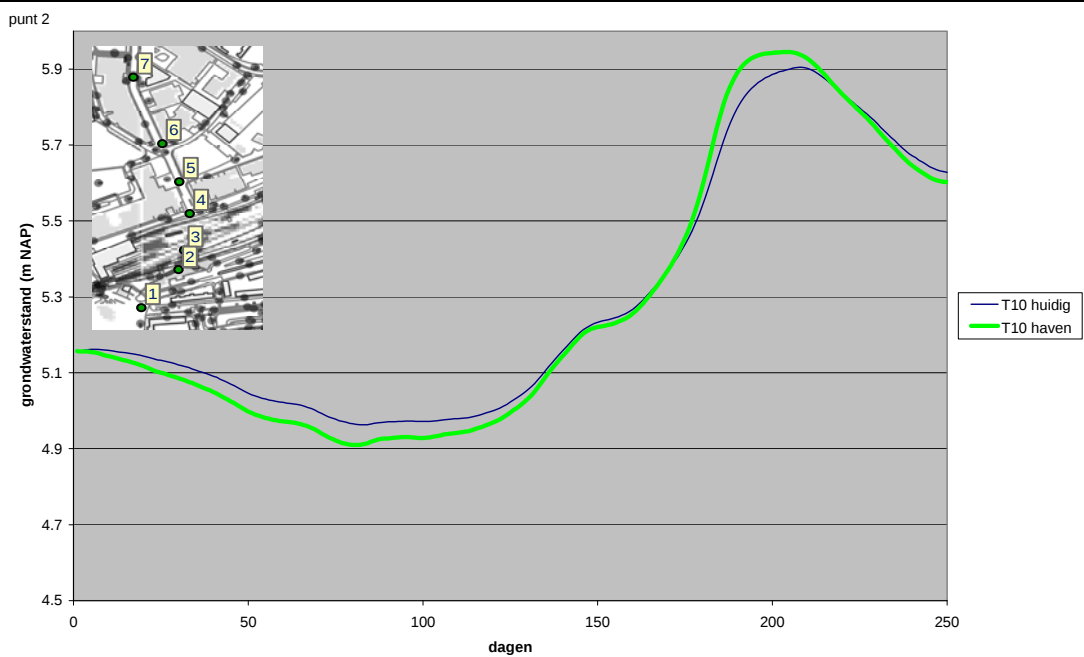
Permanente effecten

Voor de spooronderdoorgangen is van zuid naar noord een serie tijdstijghoogtelijnen afgebeeld. Hierin is het effect van hoogwater bij gemiddelde meteorologische omstandigheden te zien en een gemiddelde grondwaterstand als uitgangspunt. De IJssel staat eens per 10 jaar op een maximumpeil van 8,21 m NAP. Het grondwater ter hoogte van de constructie stijgt dan ruim een meter boven de gemiddelde grondwaterstand. De effecten in de situatie met haven zijn met een open haven. Het effect van de haven is een extra stijging van nog eens 10 cm en een langere duur van de hoge waterstand. In figuur 3.9 tot en met 3.15 zijn de tijdstijghoogtelijnen afgebeeld.

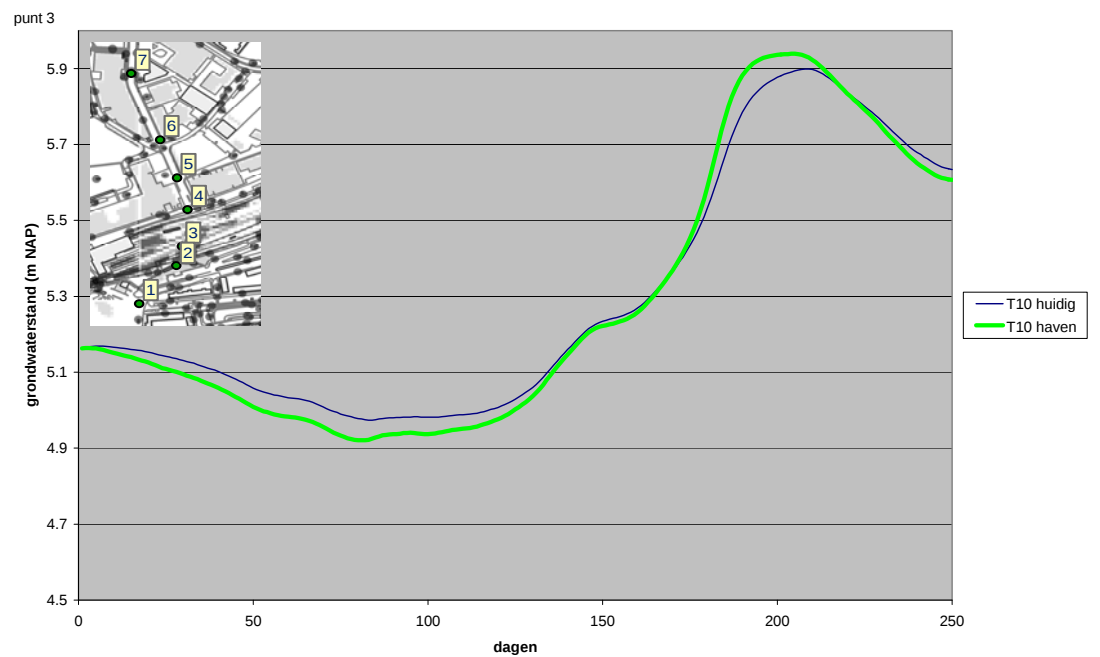
Kenmerk R011-4502035GWW-mfv-V01-NL



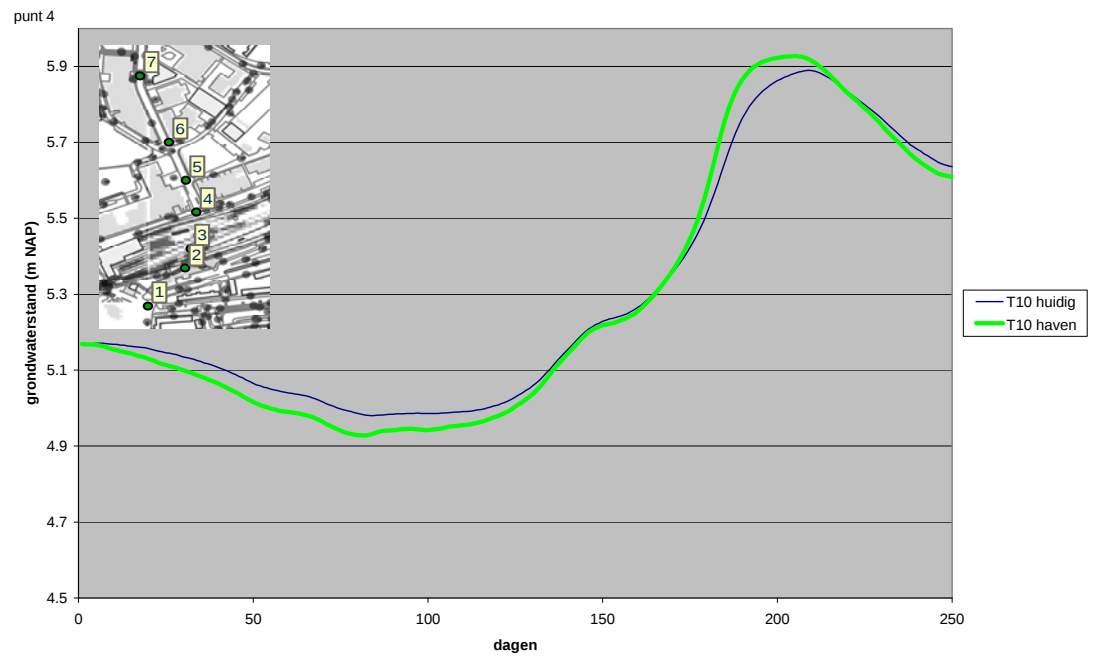
Figuur 3.14 Grondwaterstanden Coenensparkstraat en spooronderdoorgang bij T10 hoogwater. Punt 1



Figuur 3.15 Grondwaterstanden Coenensparkstraat en spooronderdoorgang bij T10 hoogwater. Punt 2

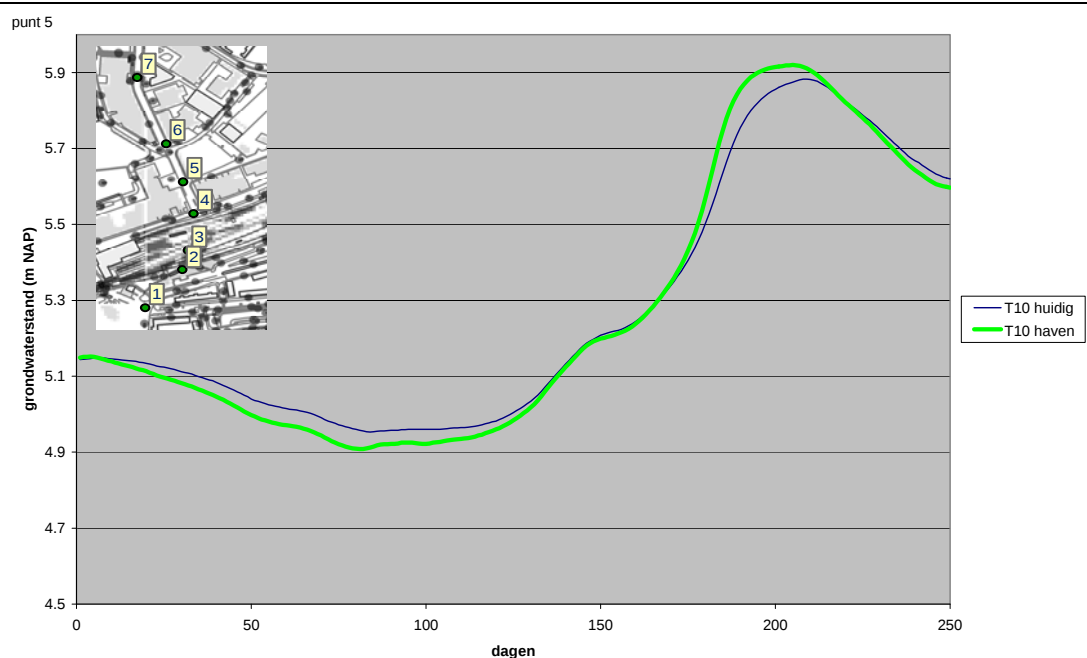


Figuur 3.16 Grondwaterstanden Coenensparkstraat en spooronderdoorgang bij T10 hoogwater. Punt 3

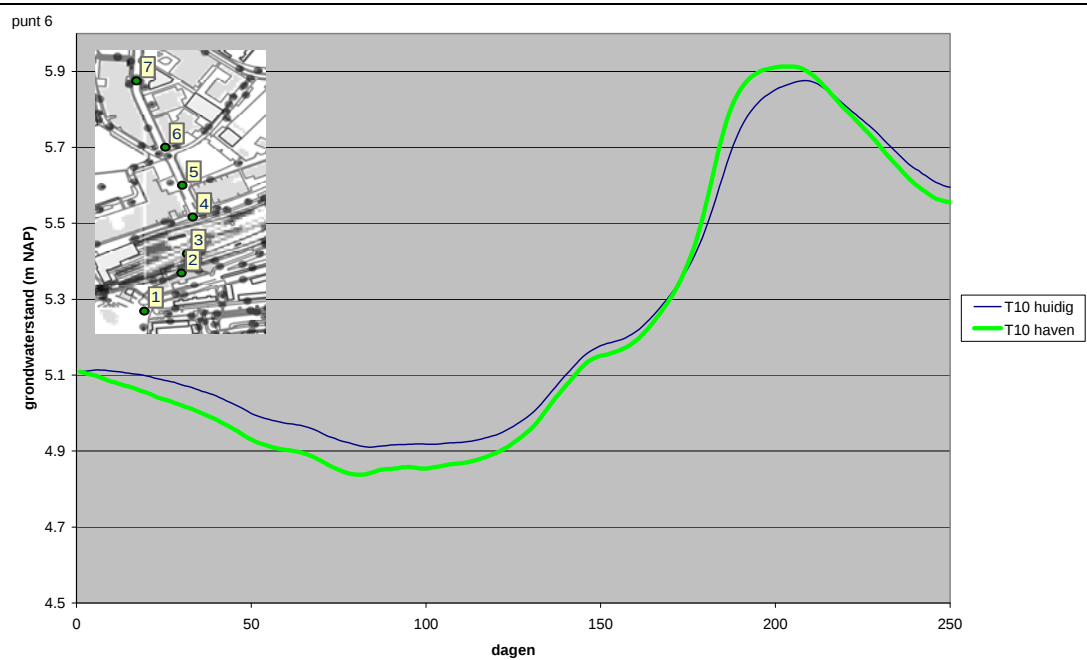


Figuur 3.17 Grondwaterstanden Coenensparkstraat en spooronderdoorgang bij T10 hoogwater. Punt 4

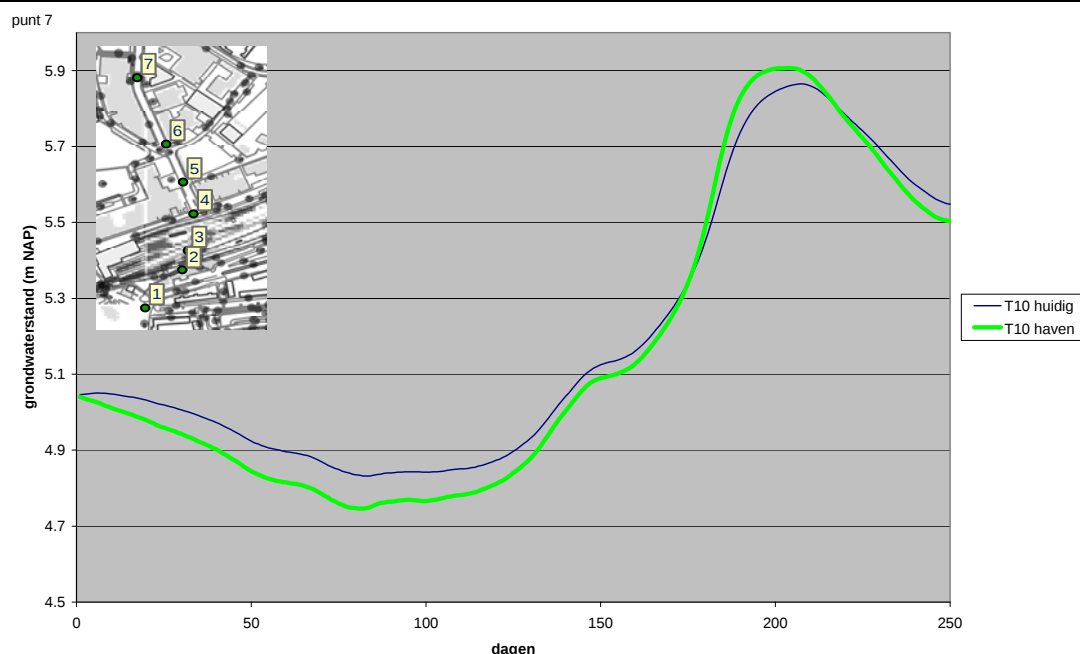
Kenmerk R011-4502035GWW-mfv-V01-NL



Figuur 3.18 Grondwaterstanden Coenensparkstraat en spooronderdoorgang bij T10 hoogwater. Punt 5



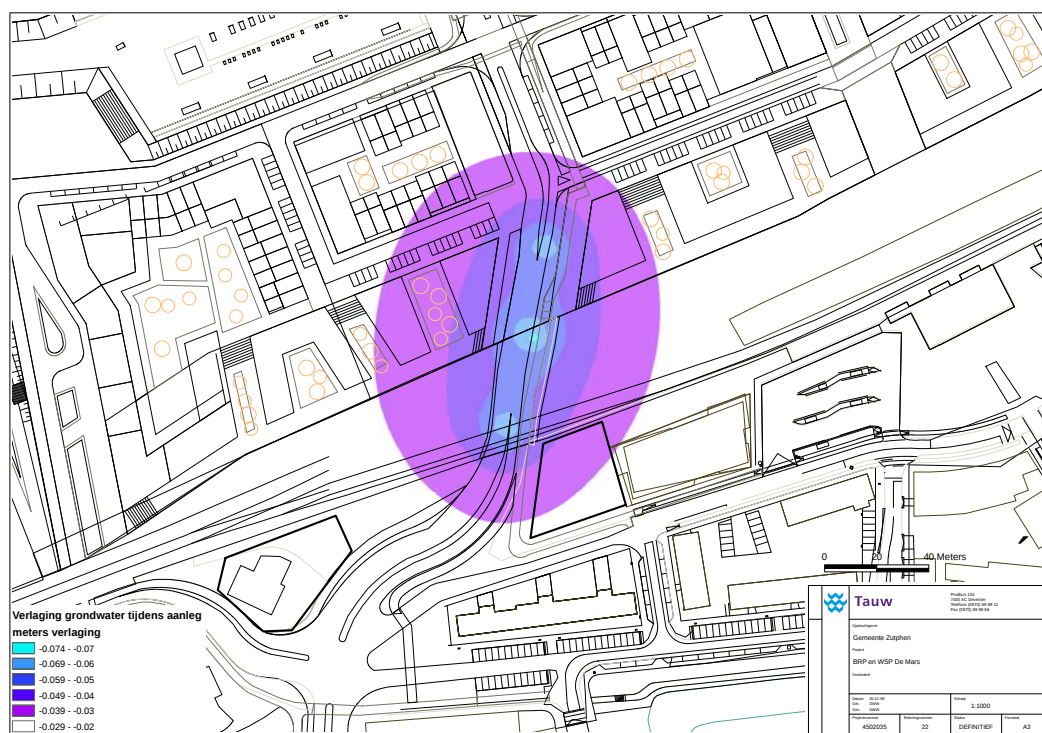
Figuur 3.19 Grondwaterstanden Coenensparkstraat en spooronderdoorgang bij T10 hoogwater. Punt 6



Figuur 3.20 Grondwaterstanden Coenensparkstraat en spooronderdoorgang bij T10 hoogwater. Punt 7

Tijdelijke effecten

De bouw van de spooronderdoorgangen kent een aantal andere, tijdelijke, bijzonderheden. De bouwtijd is lang. Een jaar tot 1,5 jaar voor de verschillende onderdoorgangen. In de meest westelijke onderdoorgang zal gewerkt worden met een damwandkuip en onderwaterbeton in verband met het ontbreken van afsluitende kleilaag. Het effect van de aanleg van die constructie bestaat uit het vergraven van zand in een natte bouwkuip. Hydrologisch komt dat overeen met het vervangen van zand door water en is daarmee in de bouwfase tot het beton is gestort een netto onttrekking van grondwater. De effecten zijn berekend voor een fictieve uitvoeringsperiode waarin een jaarlijks hoogwater gebeurtenis voorkomt. In de berekening is de haven al uitgegraven. Uitgaande van een dagproductie ontgraving van 100 m³ grond per dag wordt er ruim 70 m³ water per dag onttrokken. De effecten zijn weergegeven in figuur 3.16. De Ontwerprichtlijn Spoorwegbouw (OVS) stelt dat de zetting over een lengte van 10 meter maximaal 16 mm mag zijn en over een lengte van 1 meter maximaal 1,3 mm. Uitgaande van de bodemopbouw in het grondwatermodel is bij de berekende verlagingen een maximale absolute zetting te verwachten van 0,17 mm, wat ruim onder beide normen ligt. Het zettingsverschil over een lengte van 10 meter is 0,1 mm, wat ook ruim onder de norm van 16 mm ligt.



Figuur 3.21 Verlaging grondwaterstand tijdens aanleg, ontgravingsfase

4 Advies aanleghoogtes spooronderdoorgangen

In N005-4502035LIG-V01 d.d. 4 juni 2009 is een analyse gemaakt van de maximaal te verwachten grondwaterstanden bij de spooronderdoorgangen Mars Traverse en Kostverloren op basis grondwatermetingen. De locaties van de peilbuizen en de spooronderdoorgangen zijn in onderstaande figuur globaal weergegeven.

De analyse van maximaal te verwachten waterstanden is verder uitgewerkt op basis van het grondwatermodel dat eerder in deze rapportage beschreven is.



Figuur 4.1 Locatieoverzicht spooronderdoorgangen, parkeerkelder, Noorderhaven en peilbuizen & boringen

Werkwijze

De vraag is welke maximale grondwaterstanden ter hoogte van de spooronderdoorgang voor de N348 te verwachten zijn in verband met het constructieve ontwerp.

Met het modflowmodel van De Mars dat is gebaseerd op het model AMIGO zijn twee hoogwatersituaties doorgerekend. Een eens per 10 jaar hoogwatersituatie in de IJssel in combinatie met neerslaggebeurtenissen. Van belang is een neerslagsituatie die lang duurt waarbij de grondwaterstand stijgt tot een hoogte die maatgevend is voor het ontwerp.

De neerslaggebeurtenissen zijn ontleent aan de neerslagstatistiek van het KNMI. De volgende buien zijn gebruikt:

- Jaarlijkse neerslag T1 60 mm in 10 dagen
- Eens per tien jaar (T10) neerslag 97,8 mm in 10 dagen

Daarmee zijn de volgende berekeningen uitgevoerd:

- T10 situatie (T10 IJssel, geen neerslag)
- T10 situatie (T10 IJssel * T1 Neerslag)
- T100 situatie (T10 IJssel * T10 Neerslag).

Grondwaterstanden

De gemeten grondwaterstanden in N005-4502035LIG-V01 zijn hieronder weergegeven. Deze waarden passen goed in het beeld van gemiddelde grondwaterstanden ter plaatse van beide spooronderdoorgangen.

Tabel 4.1 Inmeetgegevens peilbuizen (april 2009)

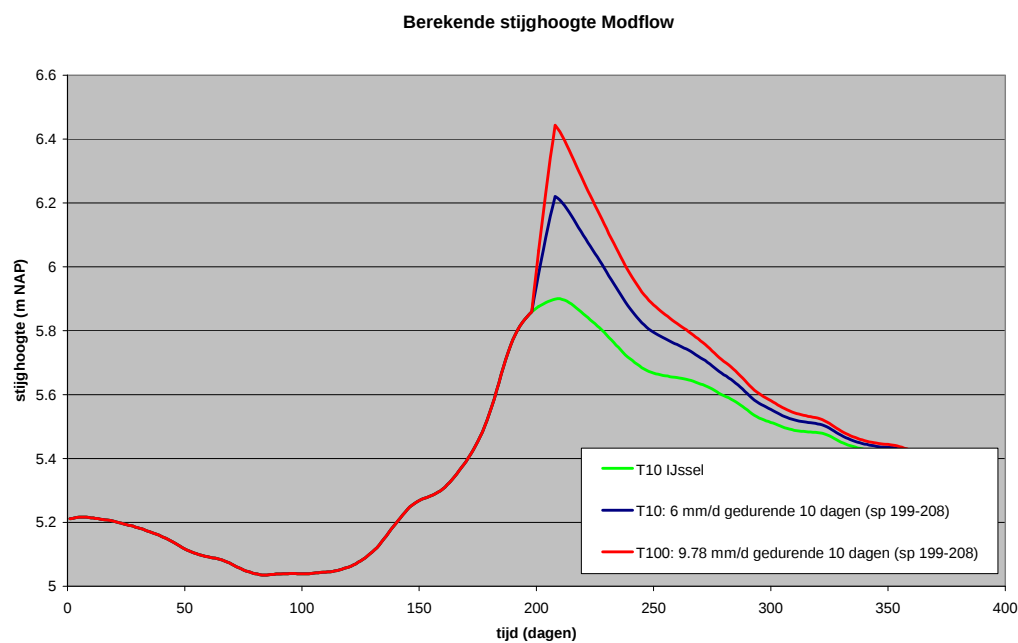
Nummer	X	Y	Maaiveldhoogte [m+NAP]	Grondwaterstand [m+NAP] (20-04-09 / 28-04-09)
1	210040,872	462150,629	8,82	5,55 / 5,52
2	210194,995	462239,219	8,55	5,67 / 5,63
3	210308,847	462284,971	8,87	5,69 / 5,68

Mars Traverse

De maximale waterstand in het modflowmodel met haven is NAP +6,44 m in een eens per 100 jaar situatie (T100). Voor een T10 situatie met neerslag is dat NAP +6,22 m.

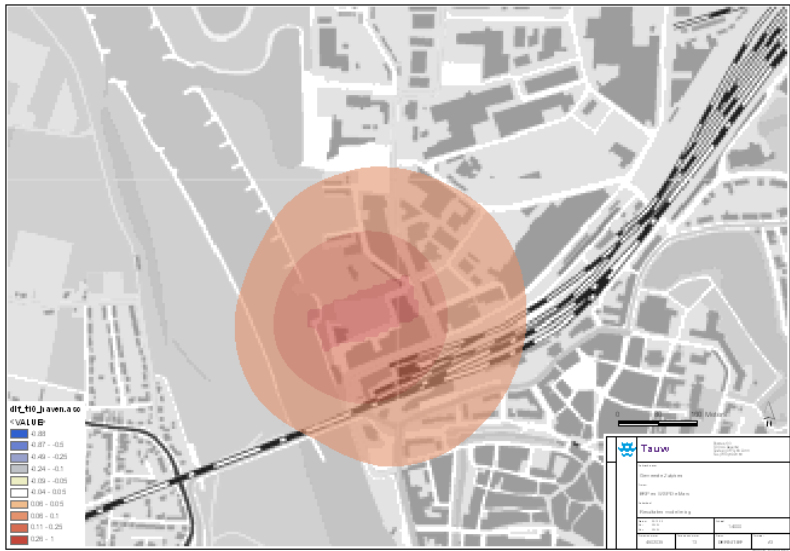
Wordt alleen naar het stijgende effect door hoog water op de IJssel gekeken dan is de T10 grondwaterstand met haven maximaal NAP +5,90 m (groene lijn in de grafiek) en de T100 grondwaterstand met haven maximaal NAP +6,10 m (niet afgebeeld).

De jaarlijkse neerslag kan evengoed samenvallen met een T100 IJsselstand als met een T10 IJsselstand. De maximale grondwaterstand is met een T100 waterstand in de IJssel en een haven en T1 neerslag $\text{NAP } +6,10 \text{ m} + 0,32 \text{ m} = \text{NAP } +6,42 \text{ m}$.



Figuur 4.2 Berekende waterstanden Mars Traverse

In de berekening van de maximale grondwaterstand is de bijdrage van het effect van de haven te zien in figuur 4.3. In een T10 situatie reikt het effect tot aan de Marstraverse en ligt in de orde grootte van 20 cm.



Figuur 4.3 Verandering grondwaterstand T10 (m), open haven

Resumé:

• GWS T10 met naijleffect	NAP	+5,70 m
• Toename als gevolg van haven		0,20 m
• Extra stijging bij regenbui T10		0,54 m
• Gesommeerd T100	NAP	+6,44 m
• GWS T100 met naijleffect	NAP	+6,04 m
• Toename als gevolg van haven		0,06 m
• Extra stijging bij regenbui T1		0,32 m
• Gesommeerd	NAP	+6,42 m

Kostverloren

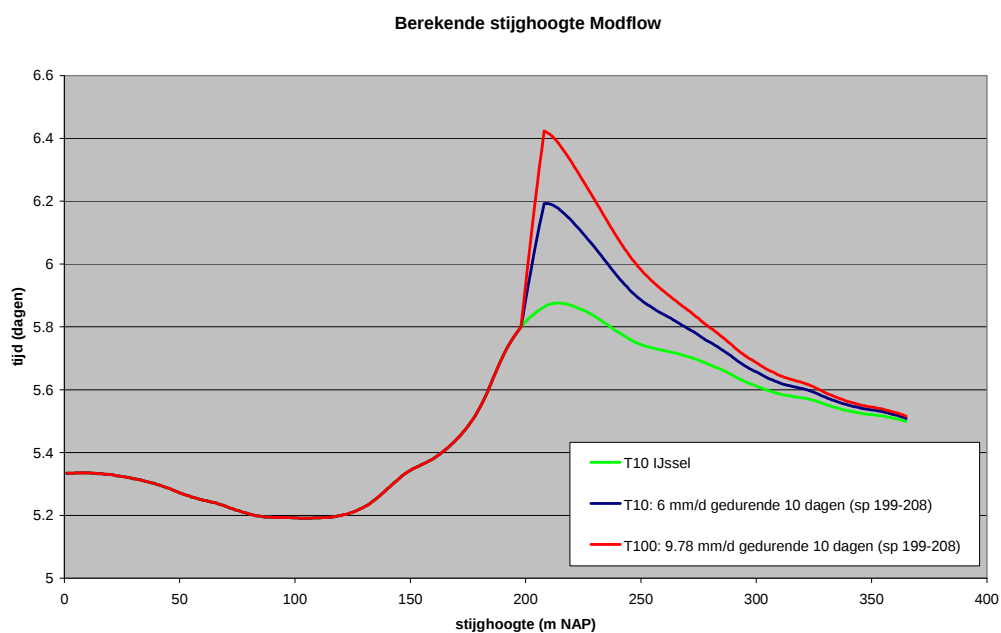
De reikwijdte van de grondwaterstandsverandering als gevolg van de haven is in een T10 situatie op de IJssel niet zover dat deze de maximale waterstanden ter hoogte van Kostverloren beïnvloed. Bij T100 hoog water wel (figuur 4.5).

Resumé:

• GWS T10 met naijleffect	NAP	+5,88 m
• Toename als gevolg van haven T10		0,00 m
• Extra stijging bij regenbui T10		0,54 m
• Gesommeerd T100	NAP	+6,42 m

Kenmerk R011-4502035GWW-mfv-V01-NL

• GWS T100 met naijleffect	NAP	+6,00 m
• Toename als gevolg van haven T100		0,04 m
• Extra stijging bij regenbui T1		0,32 m
• Gesommeerd T100	NAP	+6,36 m
• GWS T100 met naijleffect	NAP	+6,00 m
• Toename als gevolg van haven T100		0,04 m
• Extra stijging bij regenbui T10		0,52 m
• Gesommeerd T100*T10=T?	NAP	+6,56 m



Figuur 4.4 Berekende waterstanden Kostverloren. Check hor en vert aanduiding (omgewisseld?)



5 Conclusies

De grondwaterberekeningen wijzen uit dat de aanleg van de haven de grondwaterhuishouding beïnvloed.

De beïnvloeding bestaat uit hogere grondwaterstanden tijdens hoogwater en lagere grondwaterstanden bij laag water.

Bij een niet afgesloten haven zijn de effecten vele malen groter dan wanneer de haven afgesloten is bij hoogwater. Opgemerkt wordt dat dit voordeel van het afsluiten van de haven theoretisch blijft als het afsluiten pas gebeurt als het water al is gestegen in de IJssel en in de haven. In de praktijk is zo laat mogelijk sluiten waarschijnlijk wel voor de hand liggend.

Aandachtspunt bij de hogere grondwaterstanden is de IT-riolering in de Coenensparkstraat. Deze komt mogelijk binnen het bereik van het grondwater bij T10 hoog water gebeurtenissen. Dit punt zal in het saneringsplan voor Flamco worden meegenomen.

In de variantenafweging van de Mer Noorderhaven worden de berekende grondwatereffecten meegewogen.

De overige invloeden op de omgeving hangen samen met ondergrondse constructies in de invloedssfeer van de haven. Op dit moment is dat de spooronderdoorgang bij de Coenensparkstraat. De tijdelijke effecten tijdens de aanleg van de spooronderdoorgang zelf zijn beperkt en vallen binnen de zettingsnormen van de railinfrastructuur.

De aanleghoogtes van de spooronderdoorgangen zijn aanmerkelijk lager dan in eerdere ontwerpnormen zijn aangehouden. In de gevolgde benadering is neerslagstatistiek en hoogwater statistiek van de IJssel gecombineerd als onafhankelijke kansen. In de berekening zijn de intensiteit en de duur van de extremiteiten zo ongunstig mogelijk samen genomen. Daarmee is een worst case optelling van alle mogelijke effecten verkregen. Aanvullende maatregelen als het waterdicht afdichten van de havenbodem hebben een zeer kleine bijdrage in het verder aanscherpen van de aanleghoogte. Dat wordt dan ook niet geadviseerd.