

RAPPORT

Herziening bemalingsberekening Tergooi

Klant: Tergooi

Referentie: BB3800WATRP2002111739

Status: Definitief/P01.04

Datum: 11-2-2020

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 1132
3800 BC Amersfoort
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Herziening bemalingsberekening Tergooi

Ondertitel:
Referentie: BB3800WATRP2002111739
Status: P01.04/Definitief
Datum: 11-2-2020
Projectnaam: Tergooi
Projectnummer: BB3800
Auteur(s): Ron Stroet, Lisette Avis

Opgesteld door: Ron Stroet

Gecontroleerd door: Tony Kok

Datum/paraaf:

Goedgekeurd door:

Datum/paraaf:

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018.

Inhoud

1	Inleiding	3
2	Documenten en gegevens	5
3	Verloop bemaling tot en met week 5	6
3.1	Inrichting bemaling, deepwells, retourputten, flowmeters en peilbuizen	6
3.2	Verloop bemaling tot en met 29 januari	7
3.3	Beschikbare observaties en metingen	9
3.4	Kalibratie grondwatermodel aan gemeten stijghoogten tijdens bemaling t/m 29 januari	16
3.4.1	Aanwijzingen voor heterogeniteit van de ondergrond	16
3.4.2	Aanpak	16
3.4.3	Parameters geohydrologisch basismodel	17
3.4.4	Interpretatie pompproefje B03	17
3.4.5	Reconstructie opgepompte en geretourneerde debieten 5 dec-30 jan	19
3.4.6	Kalibratie model voor bouwput	21
3.4.7	Kalibratie model voor retourveld noord	23
3.4.8	Kalibratie model voor retourveld zuid	25
4	Berekening benodigde debieten, stijghoogteverlagingen en effecten voor de resterende bemaling	27
4.1	Bouwplanning	27
4.2	Prognose stijging grondwaterstand	27
4.3	Benodigde verlaging van de grondwaterstand	29
4.4	Bemalingsberekening	29
4.5	Effecten op grondwaterstanden in de omgeving	33
4.6	Beheersmaatregelen tegen overschrijding van de maximale grondwaterstanden en andere onvoorziene gebeurtenissen	36

Samenvatting conclusies en aanbevelingen

Sinds 5 december 2019 wordt voor de nieuwbouw van ziekenhuis Tergooi een bemaling uitgevoerd met deepwells en retourputten, waarbij 100% van het opgepompte water wordt geretourneerd. Voor de bemaling is een vergunning van Waternet (Zaaknummer WN2019-003289. Datum 18 juli 2019. Kenmerk WN2019-003289).

Tijdens de uitvoering van de bemaling is komen vast te staan dat de in de vergunning opgenomen maximale onttrekkingsdebieten en de totale onttrekkingshoeveelheid voor het werk waarschijnlijk zullen worden overschreden. Naar aanleiding daarvan is de bemalingsberekening herzien in dit rapport. Op basis van dit rapport zal een aanpassing van de vergunning worden aangevraagd.

De bemalingsberekeningen zijn uitgevoerd met een analytisch rekenmodel (MLU), dat is gekalibreerd aan de metingen en waarnemingen die zijn verzameld in de periode 5 december 2019 – 29 januari 2020.

Uit de nieuwe modelberekeningen volgt dat de bouwput volgens het gekalibreerde model in de periode 9-14 januari net niet droog was. In werkelijkheid was de bouwput wel droog. De bemalingsberekeningen zijn uitgevoerd met als eis dat de bouwput in het rekenmodel wel droog staat. Het rekenmodel is ten aanzien van het berekende debiet en het droogpompen van de bouwput daar dus aan de veilige kant. Uit vergelijking van het model met meting in een deepwell aan de zuidzijde van gebouw D (B14) op 29 januari blijkt dat het model daar enigszins te lage grondwaterstanden berekent en daar dus aan de onveilige kant is. Met deze onzekerheden wordt rekening gehouden door een marge van 10% op de berekende debieten te zetten.

De debieten en volumes zijn gebaseerd op de werkelijk opgepompte debieten tot 29 januari, en op een berekening van de te realiseren verlagingen van de grondwaterstand in de periode daarna. Voor de periode na 1 februari gaan we er op basis van tijdreeksanalyse van uit dat de grondwaterstand als gevolg van neerslag met 40 cm kan stijgen ten opzichte van de beginsituatie op 5 december (NAP+1,0 m), ofwel NAP+1,4 m. Dat leidt tot onderstaande debieten:

Tabel 1: Samenvatting van de bemalingsdebieten in de huidige bemalingsberekening, zonder veiligheidsfactor 10% na 29 januari

Periode	Max dag (m³/uur)	Max dag (m³/dag)		Max maand (m³/maand)	Bemalingsduur (d)	Max werk (m³)
ABC	277	6 643		205 933	81	420 342
ABCD	382	9 169		284 229	74	669 748
D	275	6 594		204 412	105	692 362
Totaal	382	9 169		284 229	260	1 782 452

Het verschil ten opzichte van de vergunningaanvraag (+40%) kan als volgt worden verklaard:

- het doorlaatvermogen ter plaatse van de bouwput is circa 30% hoger dan ter plaatse van de pompproef bij de Amaliatunnel, waarop de vergunningaanvraag was gebaseerd. Dit leidt tot een toename van het debiet met circa 20 %
- andere configuratie van de putten (de deepwells staan verder van de constructie dan in de uitgangspunten van de vergunningaanvraag was opgenomen): circa 10%
- infiltratie in de IT-riolen op zeer korte afstand van de bemaling (meer rondpompen): circa 5%
- langere bouwtijd start (periode van voorpompen en kerstvakantie): circa 5%
- langere bouwtijd eind: circa 5%

Gezien de onzekerheden adviseren wij ten aanzien van de debieten een veiligheidsmarge van 10% te hanteren:

Tabel 2: Samenvatting van de bemalingsdebieten in de huidige bemalingsberekening, MET veiligheidsfactor 10% na 29 januari

Periode	Max dag (m³/uur)	Max dag (m³/dag)		Max maand (m³/maand)	Bemalingsduur (d)	Max werk (m³)
ABC	304	7 307		226 526	81	430 588
ABCD	420	10 086		312 652	74	736 722
D	302	7 253		224 853	105	761 598
Totaal	420	10 086		312 652	260	1 928 909

Gedurende de bemalingsperiode zullen de grenswaarden van de Amaliatunnel (NAP+2,7 m), de kelders van woningen aan de overzijde van de Soestdijkerweg (NAP+2,0 m) en de spoorbaan (NAP+2,7 m) worden gemonitord. De peilbuizen incl. monitoring zijn geplaatst.

Bij een maximale infiltratie in combinatie met een hoge natuurlijke grondwaterstand als gevolg van regenval en een bemaling conform de verwachting (dus zonder opslag van 10%) worden de volgende maximale grondwaterstanden verwacht:

- bij de Amaliatunnel NAP+2.0 m
- aan de overzijde van de Soestdijkerweg: NAP+1,9 m
- bij de spoorbaan: NAP+2,0 m

De herberekende debieten via de diepwellbemaling kunnen geïnfiltreerd worden in het noordelijke en zuidelijke veld. Hierbij zal afhankelijk van de fase steeds het noordelijke veld worden benut en het zuidelijke veld minimaal. In de periode maart en april zullen beide velden wel maximaal benut moeten worden. Het maximaal toelaatbare debiet per retourveld hangt af van de natuurlijke stijging van de grondwaterstand door neerslag. Bij een stijging van die grondwaterstand met 40 cm kunnen de volgende debieten worden geïnfiltreerd zonder overschrijding van de grenswaarden:

- retourveld Zuid 50%: circa 190 m³/uur.
- retourveld Noord: meer dan 60% (>230 m³/uur). Of het technisch mogelijk is meer in Noord te infiltreren (leidingweerstand, putweerstand etc.) zal door de aannemer in de praktijk moeten worden vastgesteld.

Beheersmaatregelen bij overschrijding van de grenswaarden:

- Herverdeling van de retourdebieten over het noordelijke en zuidelijke retourveld
- Ontlasten van diepwellbemaling en de retourbemaling, door extra filterbemaling in bouwput D te plaatsen, hiermee 50 m³ te onttrekken en te lozen op het gemeenteriool bij de Amaliatunnel
- Ontlasten van de retourbemaling door een deel van het onttrokken grondwater te lozen d.m.v. maaiveldinfiltratie op eigen terrein
- De volledige bemaling afvoeren via het gemeente-riool naar de vijvers van de Anna's Hoeve, alwaar het water infiltreert.

1 Inleiding

Sinds 5 december 2019 wordt voor de nieuwbouw van ziekenhuis Tergooi een bemaling uitgevoerd met diepwells en retourputten, waarbij 100% van het opgepompte water wordt geretourneerd. Voor de bemaling is een vergunning van Waternet [3].

Tabel 3: Samenvatting van de bemalingsdebieten in de aanvraag en de vergunning

Periode	Max dag (m³/uur)	Max dag (m³/dag)	Max maand (m³/uur)	Max maand (m³/maand)	Bemalingsduur (d)	Max werk (m³)
ABC+tunnel	222	5 335	210	156 070	56	271 130
ABCD+tunnel	353	8 465	296	220 295	112	761 820
D	226	5 420	205	152 495	42	208 470
Totaal	353	8 465	296	220 295	210	1 241 420

Op 13 december 2019 werd door opdrachtgever (Tergooi) aan Waternet toestemming gevraagd om een aanvullende filterbemaling bij liftput A te mogen plaatsen en het onttrokken water te infiltreren in het oostelijke Infiltratie-Transport-riool (IT-riool) op het terrein van Tergooi. Die bemaling paste binnen de debieten en hoeveelheden van de vergunning.

Op 8 januari is door RHDHV namens opdrachtgever aan Waternet toestemming gevraagd voor een nieuwe wijziging, namelijk voor een filterbemaling bij liftput C, gecombineerd met infiltratie op het westelijke transportriool, waarbij werd gemeld dat met de voorziene onttrekkingshoeveelheid de maximale maandhoeveelheid dreigt te overschrijden.

Tabel 4: Samenvatting van de gerealiseerde bemalingsdebieten gebouw ABC en liftput A (hoeveelheden zijn hier geactualiseerd voor de situatie eind week 2) en schatting benodigd debiet liftput C

	Debiet m³/uur	Debiet m³/dag	Debiet m³/maand
Gebouw ABC (diepwells met retourbemaling) Meting week 51-52-1	188	4521	140139
MELDING 13 DECEMBER 2019: Liftput gebouw A (strengen+infiltratieriool)	62	1494	46311
Subtotaal	251	6015	186451
MELDING 8 januari Liftput gebouw C (strengen+infiltratieriool)	60	1440	44640
Totaal:	311	7455	231091

Op 9 januari werd in vergadering met de opdrachtgever (Tergooi), aannemers (BAM en MOS Grondwater-techniek), Waternet, gemeente Hilversum en RHDHV vastgesteld dat met het oog op de voorziene overschrijding van de vergunninghoeveelheden een nieuwe berekening moet worden gedaan van de benodigde bemaling, rekening houdend met de bij de bemaling verkregen metingen en inzichten en op basis van een geactualiseerde bouwplanning.

Dit rapport bevat die berekening. Het is als volgt opgebouwd. In Hoofdstuk 2 staan verwijzingen naar de gebruikte documenten en informatie. Hoofdstuk 3 beschrijft het verloop van de bemaling tot nu toe en bevat herkalibratie van het rekenmodel op basis van de nu beschikbare metingen. In Hoofdstuk 4 wordt de bemaling berekend uitgaande van de actuele bouwplanning.

De conceptversie van het rapport (dd. 23 januari) is voorgelegd aan opdrachtgever, de aannemers en aan Waternet. Het rapport is besproken op 30 januari. Naar aanleiding van vragen en opmerkingen is het

rapport aangepast. Verder is het geactualiseerd aan de debieten en metingen tot en met 29 januari en aan aanvullende metingen in het veld. Dit is de finale versie op basis waarvan aanpassing van de vergunning wordt aangevraagd bij Waternet.

2 Documenten en gegevens

[1] RHDHV, Bemaling kelder ziekenhuis Tergooi te Hilversum. Rapport, BB3800WATR1904151612WM. 02/Finale versie, 15 april 2019.

[2] Spaans Watermanagement B.V. Bemalingsadvies ten behoeve van de aanleg van een half open tunnel op de kruising Soestdijkerstraatweg en Oostereind te Hilversum, PHS/8103 2 19-08-2009. Pompproef Amaliatunnel.

[3] Waternet. Watervergunning voor het gewijzigd uitvoeren van een bronbemaling t.b.v. de bouw van een kelder van het Tergooi ziekenhuis, ter hoogte van Van Riebeeckweg 212 in Hilversum. Zaaknummer WN2019-003289. Datum 18 juli 2019. Kenmerk WN2019-003289.

[4] MOS Grondwatertechniek, "Bemalingsplan Nieuwbouw Tergooi Ziekenhuis aan de Van Riebeeckweg 212 te Hilversum" (versie 25-10-2019, Definitief 2), met de volgende tekeningen:

- Bemalingsplan 20191007 totaal.pdf
- Bemalingsplan 20191007-Bemalingsplan.pdf
- Bemalingsplan 20191007-Model.pdf

[5] Mos Grondwatertechniek. Online monitoring debieten en stijghoogten:
<https://monitoring.mosgeo.com/project.php>. Geomonitoring - Hilversum - Tergooi Ziekenhuis

[6] Tekening filterlocaties strengenbemaling liftputten A en C: bestand 0200_001.pdf, email H. de Krijger dd. 8 januari 2020

[7] Filterdieptes strengenbemaling liftputten A en C: email B. Bakker, dd 10 januari 2010

[8] Tekeningen IT Riolen (emails J. Pekelharing, 6 en 8 januari 2020):

- Revisie IT-Riool huidige situatie.pdf
- Voorstel lozingspunt aanvullende bemaling bwd C op IT riool en Wadi.pdf

[9] Pompproefje B03. Email B. Bakker, 10 januari

[10] Inzet retourputten (openstaande putten, afgesloten putten en wijzigingen in de tijd). Emails B. Bakker, 16 en 17 januari

[11] Tekening Amaliatunnel. Gemeente Hilversum, HVS259-1-3002 Revisie, blad 1 van 3, 15-06-3013

[12] Peilbuis 58, basisgegevens en metingen. gemeente Hilversum. Emails J. Lebbink, 4 en 8 januari

[13] weekrapporten MOS:

- Weekrapportage_wk 47_Peilbuismelding_en_verpompte_debieten.pdf
- PB_WM_Tergooi_wk48_2.pdf
- WM_PB_weekrapport_wk50.pdf
- PB_WM_Tergooi_wk52_wk1_def.pdf
- PB_WM_Tergooi_wk02.pdf
- PB_WM_Tergooi_wk03.pdf
- Template weekrapport wk04+05.pdf (1^e helft van week 5 tot en met 29 januari)

[14] Bouwplanning. Email van Ron Stroet (RHDHV) aan Edwin Dekker (BAM) dd. 20 jan. 2020

[15] MOS: Boorstaten van B01 t/m B08, en R00 t/m R13.

3 Verloop bemaling tot en met week 5

3.1 Inrichting bemaling, deepwells, retourputten, flowmeters en peilbuizen

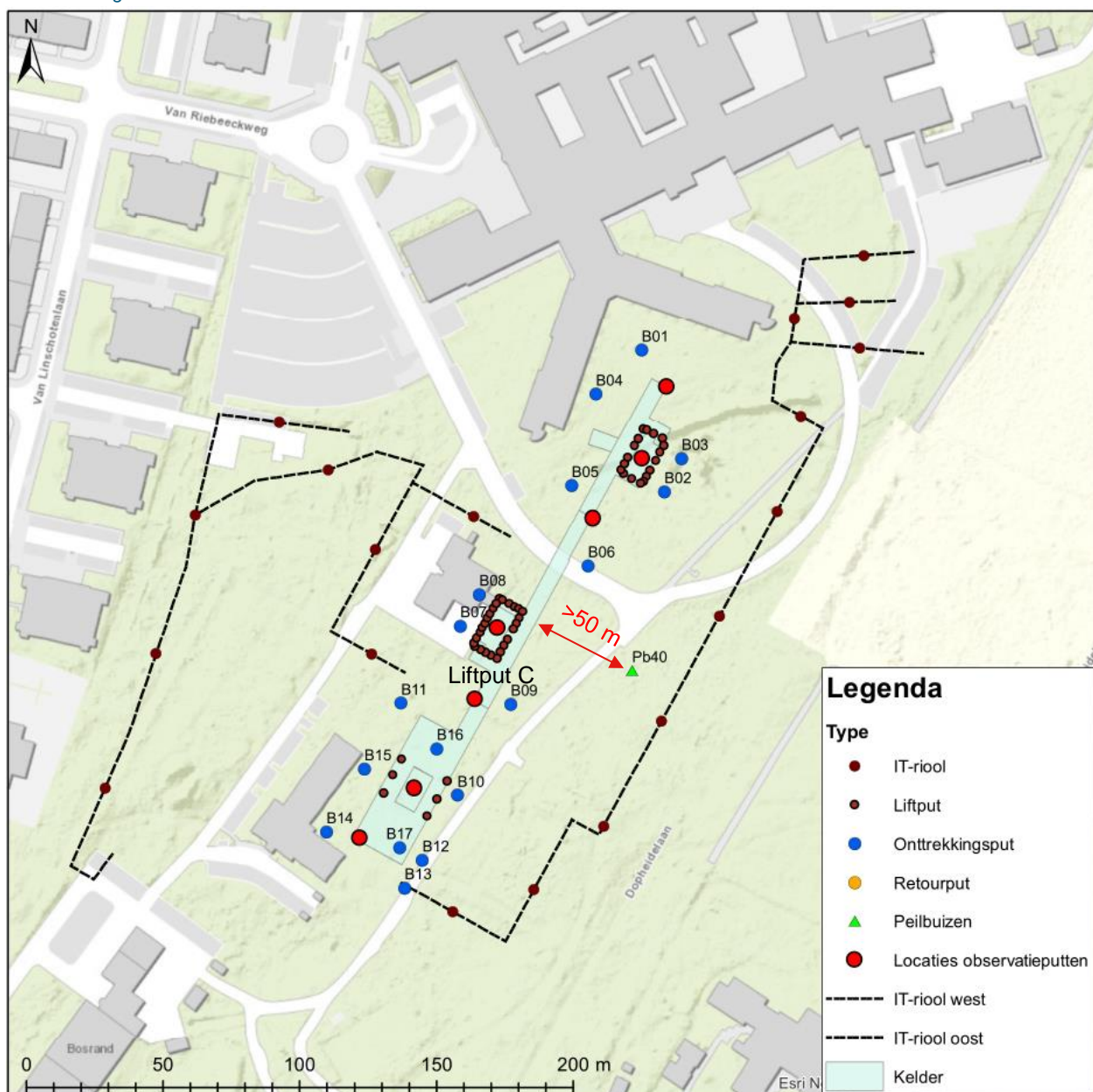
Tabel 5: Basisgegevens van de objecten die worden gebruikt bij de bemaling

Object	Bron		Bovenkant filter	Onderkant filter		Opmerking
Deepwells, bouwdeel A_C	[4], [15]	Aantal: 9 (B01-B09)	NAP-6 m	NAP-11 m	Capaciteit per put: 20 tot 30 m³/uur [4] Capaciteit 35 m3/uur bij 25 m opvoerhoogte (Mondelinge mededeling B. Bakker).	
Deepwells, bouwdeel D	[4]	Aantal: 8 (B10-B17)	NAP-6 m	NAP-11 m	Pompen ingebouwd met inlaat onder bovenkant perforatie (mondelinge mededeling R. Loots)	
Retourputten retourveld Noord	[4] , [15]	Aantal: 8 (R00 t/m R07)	NAP-10 m	NAP-30 m		
Retourputten retourveld Zuid	[4] , [15]	Aantal: 6 (R08 t/m R13)	NAP-10 m	NAP-30 m		
Flowmeter F01 (WEG0206, 2302)	[4] en [5]	Endress + Hauser., Promag Proline 50, elektromagnetische flowmeter. Flowmeter geeft een puls per doorstroomde m³, die in het online systeem wordt geregistreerd op uurbasis.		Locatie: in transportleiding naar retourveld Noord. Verbindingsleiding tussen retourvelden Noord en Zuid staat dicht (i.i.g tot 17 januari).		
Flowmeter F02 (WEG0206, 2304)	[4] en [5]	Idem		Locatie: in transportleiding naar retourveld Zuid. Verbindingsleiding tussen retourvelden Noord en Zuid staat dicht (i.i.g tot 17 januari)		
Strengenbemaling liftput A	[6] en [7]	Aantal filters 18 (tekening BAM)	NAP-1,6 m	NAP-4,6 m	2 strengen met elk een pomp circa 30 m³/uur. Lozing via 2 bakken op IT-riool Oost van Tergooi.. Watermeters achter de bakken. Watermeters niet op registratie.	
Strengenbemaling liftput C	[6] en [7]	Aantal filters 26 (tekening BAM)	NAP-1,6 m	NAP-4,6 m	Pompcapaciteit bij ons nog onbekend. Lozing via 2 bakken op IT-riool West van Tergooi. Watermeters achter de bakken. Watermeters niet op registratie.	
IT Riool oost	[8]	Beton, rond 600 mm				
IT Riool west	[9]	Beton, rond 600 mm				
MOS Peilbuizen met registratie	[5]	Aantal: 9 (Pb40-Pb48)	Filterlengte 1 m. Onderkant filter variërend van NAP tot NAP-3 m)		Pb40-45: vanaf 1 november Pb46-48: vanaf 13 januari.	
MOS Peilbuizen zonder registratie	[9]	Aantal: 2 (voor zover ons bekend)	NAP-1 m	NAP-2 m	Pb01: op 5,0 m van B03 Pb02: op 10,0 m van B03	
Gemeente peilbuis 58 / B32A1915	[12]	Filter 1	NAP-10,88 tot -11,88 m		Bij ons beschikbaar van 2012 tot en met 31 december 2020, metingen elke 6 uur	
		Filter 2	NAP -42,66 tot -43,66 m			
		Filter 3	NAP -83,68 tot -84,68 m			

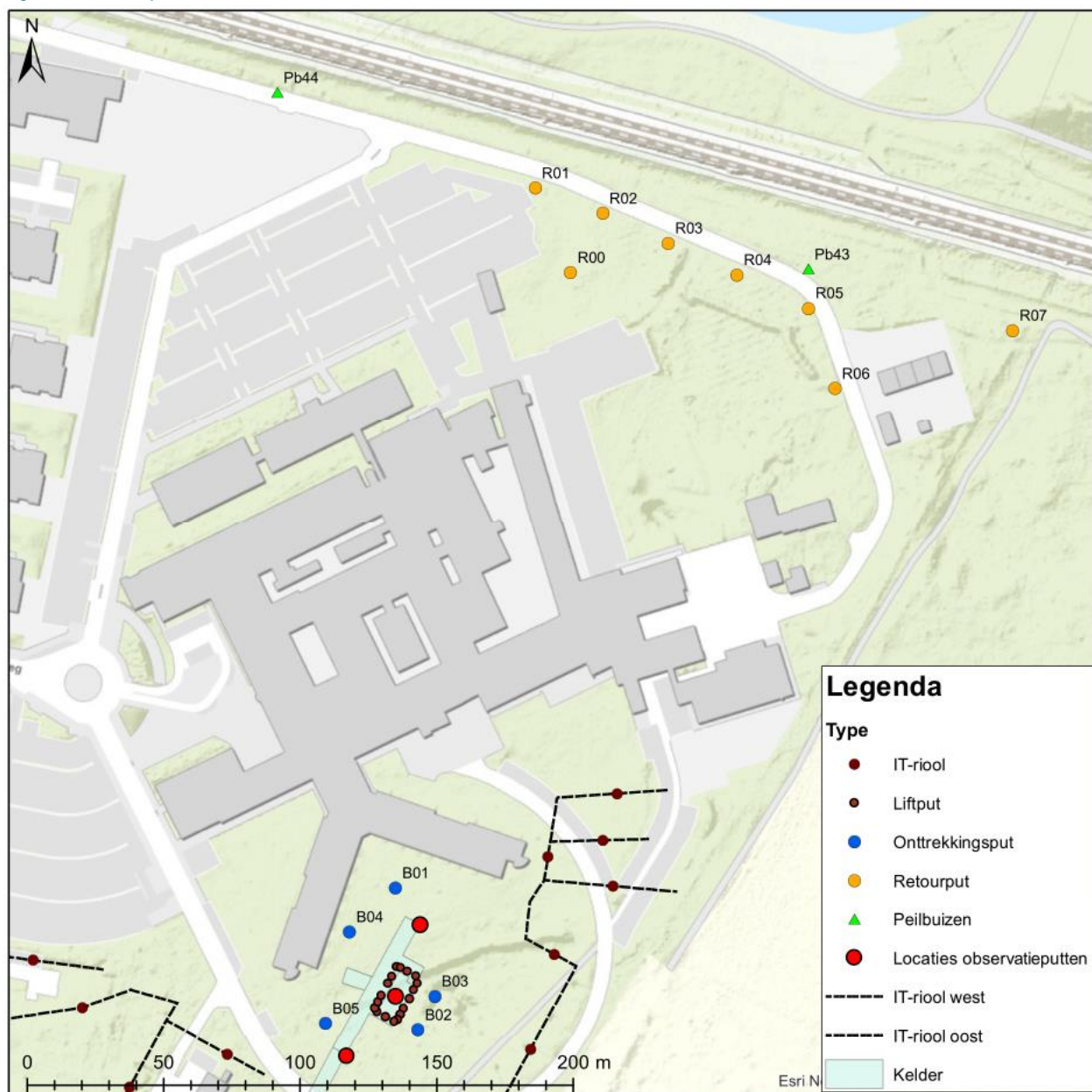
3.2 Verloop bemaling tot en met 29 januari

- | | |
|-----------------------------|---|
| ■ 5 december 2019 om 10:00: | start bemaling met deepwells B01-B09 en retourputten |
| ■ 5-16 december: | inregelen van de bemaling met deepwells en retourputten |
| ■ 13 of 16 december: | start filterbemaling bij liftput A, lozing in IT-riool oost |
| ■ 10 januari 2020: | start filterbemaling bij liftput C, lozing in IT-riool west |
| ■ 21 januari 2020: | eind filterbemaling bij liftput A, stop lozing in IT-riool oost |
| ■ 29 januari 2020: | eind filterbemaling bij liftput C, stop lozing in IT-riool west |

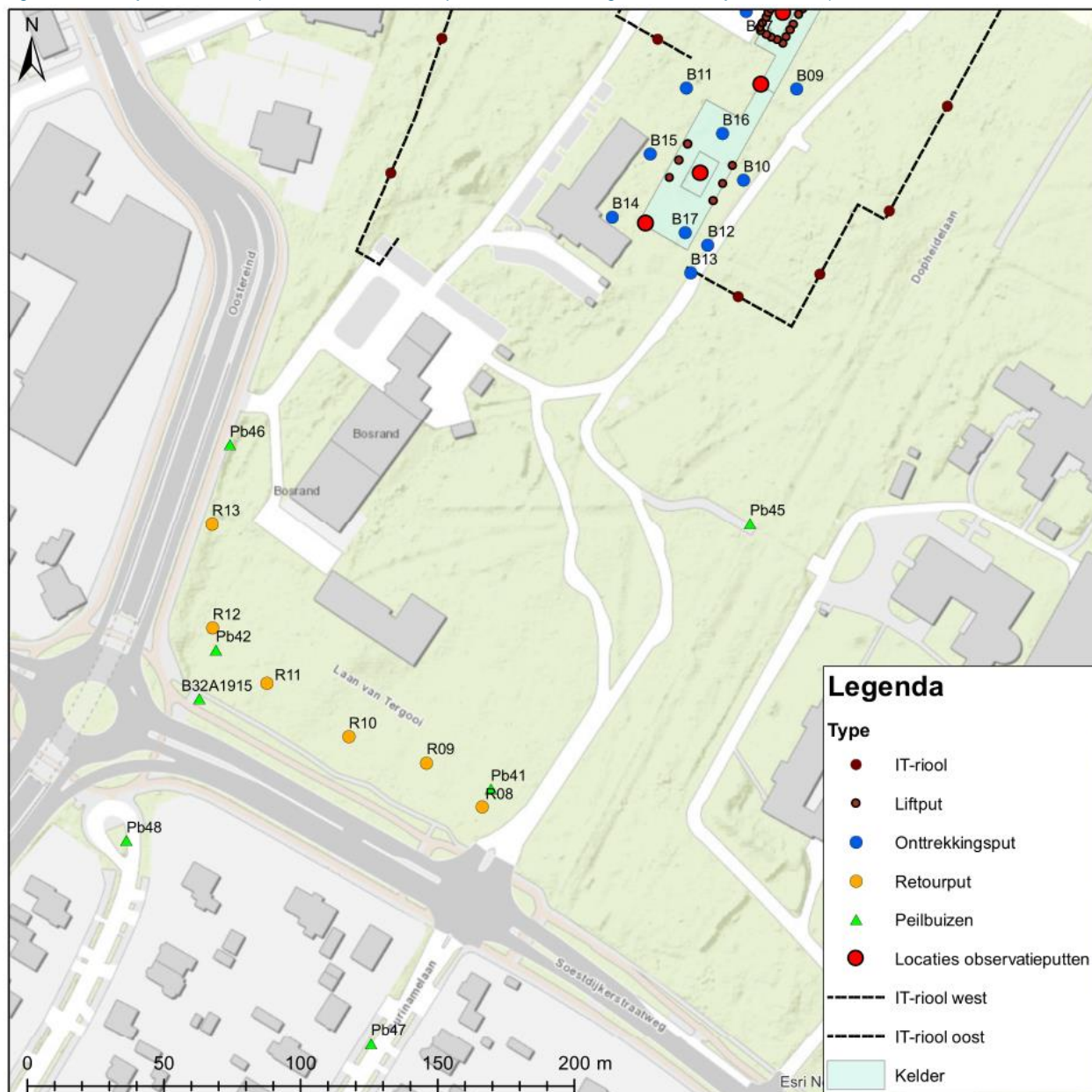
Figuur 1: Locaties te bouwen kelder, deepwells, filterstrengen, peilbuizen en IT-riolen. Observatieputten liftputten zijn fictieve observatiepunten (worden gebruikt in de modelberekeningen). De punten op de IT-riolen zijn de locaties waar de infiltratie in het model wordt geschematiseerd



Figuur 2: Noordelijke retourveld



Figuur 3: Zuidelijke retourveld (locaties R12 en R13 op basis van inmeting RHDHV, 30 januari 2020)



3.3 Beschikbare observaties en metingen

Pompproefje B03 (email B. Bakker, 10 januari)

Op dinsdag 5 november is een kort pompproefje gedaan op deepwell B03. Het volgende is waargenomen:

- debiet 18 m³/uur
- duur 45 minuten
- verlaging na 45 minuten in PB1 (r=5 m) 0,78m
- verlaging na 45 minuten in PB 2 (r=10 m) 0,38m.

Observaties van de grondwaterstand/stijghoogte in de bouwput

- in bovenstaande peilbuizen PB1 en PB2 zijn verder geen metingen beschikbaar.
- de ontgraving van de liftkelder A was op 13 december 2019 niet droog. De vloer van gebouw A was wel droog. De grondwaterstand was daar toen dus tussen NAP+0.2 m en NAP-1.62 m, ofwel een verlaging ten opzichte van de grondwaterstand bij aanvang (NAP+1,0 m) van 0,8 tot 2,62 m.
- de dichtst bij de bouwput gelegen peilbuis is Pb40 (afstand meer dan 50 m, zie Figuur 1). De metingen in deze peilbuis worden vanaf 13 december beïnvloed door infiltratie in IT-riool oost.

Er zijn geen stijghoogtemetingen in de bouwput beschikbaar. De bemaling wordt vrijwel dagelijks bijgestuurd op basis van grondwaterstanden in proefgaten gegraven in de bouwput.

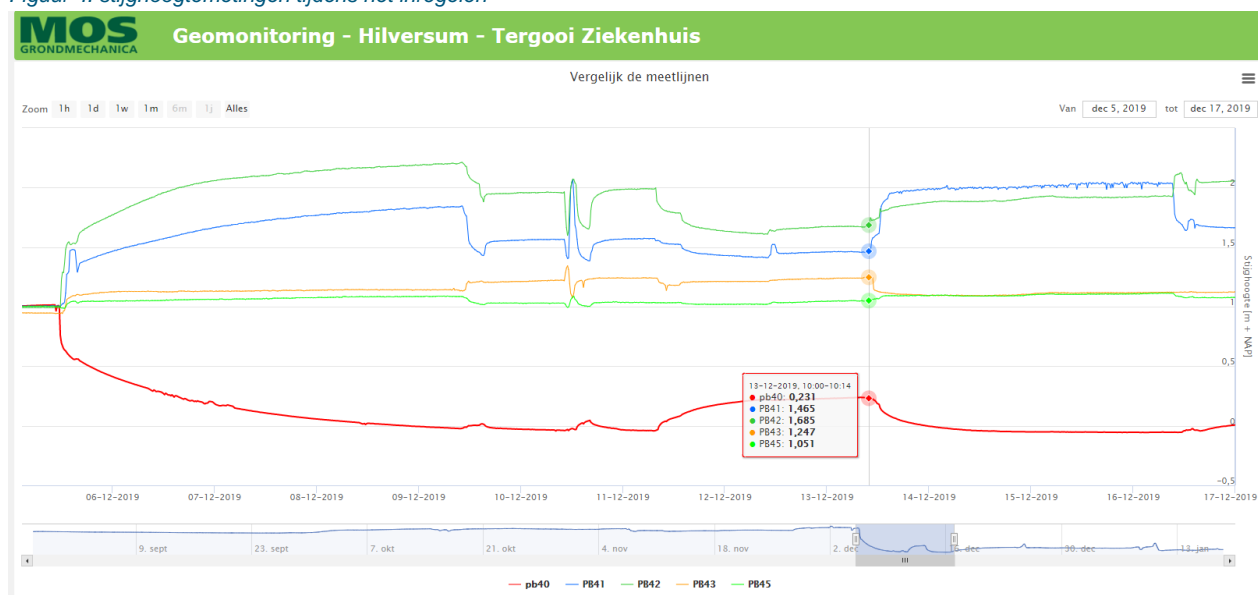
Observaties tijdens het inregelen van de bemaling met deepwells en retourputten (5-16 december)

Uit de stijghoogtemetingen (online monitoring) blijkt dat de bemaling is gestart op 5 december om 10:00 (week 49, geen weekrapport beschikbaar). Wij gaan ervan uit dat de putten B01 tot en met B09 allemaal zijn gestart. De verlagingen in de pompputten waren in eerste instantie tot aan de inlaat van de pompen, zodat deze lucht begonnen te happen (mondelinge meded. R. Loots, 9 januari). De stijghoogten in de pompputten waren dus NAP-6 m of dieper. De putten zijn met afsluiters geknepen om de afpomp te reduceren, zodat geen lucht meer werd aangezogen.

In weekrapport 50 (9-15 december) is aangegeven: "Veel lucht in leidingwerk. Op diverse plekken zijn er gaten geboord in de retourleidingen om de lucht uit leidingen persen. Dit heeft invloed op de gemeten watermeterstanden."

Bij het inregelen werd een groot verschil bemerkt tussen het noordelijke en het zuidelijke retourveld. In het noordelijke retourveld waren de verhogingen van de stijghoogte veel kleiner dan in het zuidelijke retourveld. De indruk bestond dat infiltratie in het noordelijke retourveld leidde tot een grotere verhoging van de stijghoogte ter plaatse van bouwput (terugslag), dan infiltratie in het zuidelijke retourveld (mondelinge meded. R. Loots, 9 januari). In het verloop van de stijghoogtemetingen op 13 december is iets dergelijks te herkennen (Figuur 4). Het is echter niet logisch omdat de verhogingen in Pb43 niet groot zijn.

Figuur 4: stijghoogtemetingen tijdens het inregelen

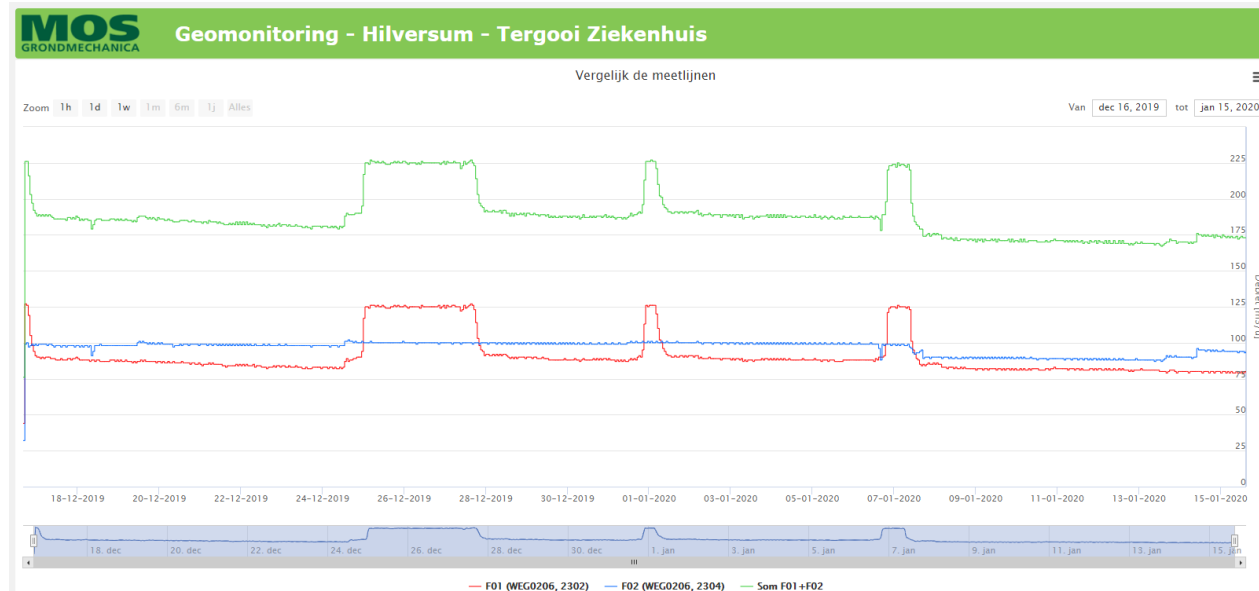


Op 13 december daalt de stijghoogte in Pb43 (noordelijke retourveld) met 15 cm. Er werd toen blijkbaar minder in het noordelijke veld geïnfiltreerd. Gelijktijdig stijgt de stijghoogte in Pb 41 (zuidelijke retourveld, naast de Amaliatunnel) met 50 cm, blijkbaar als gevolg van meer infiltratie in het zuidelijke veld. Tegelijk daalt de stijghoogte nabij de bouwput (Pb40) met 25 cm. Dat laatste kan niet alleen het gevolg zijn van terugslag: dat kan niet meer zijn geweest dan 15 cm, en gezien de afstand waarschijnlijk veel minder. Waarschijnlijker is het dat op 13 december ook het debiet uit de deepwells toenam (putten bijgeschakeld of afsluiters opengedraaid). Dat blijkt ook uit het feit dat twee dagen eerder de stijghoogten in Pb40 bij de bouwput steeg (indicatie voor afname van het debiet), terwijl gelijktijdig de stijghoogten in beide retourvelden daalden (óók een indicatie van afname van het debiet).

Debietregistratie deepwells en retourputten (Flowmeters F01 en F02)

- bemaling gestart op 5 december om 10:00
- debietregistratie in de weekrapporten is gestart op 9 december.
- Van de periode 5-8 december hebben wij geen debietmetingen beschikbaar. Voor de periode 9 t/m 16 december gaan wij er van uit dat de in weekrapport 50 opgenomen watermeterstanden niet betrouwbaar zijn vanwege lucht in de leidingen.
- De debietregistratie in de weekrapporten is op dagbasis, met standen van tellers op de flowmeters of in de registratie. Onduidelijk is op welk tijdstip de standen worden opgenomen. Dat tijdstip lijkt niet elke dag hetzelfde, waardoor gerapporteerde debieten in de weekrapporten lijken te variëren, terwijl ze in werkelijkheid constant zijn. In de kerstvakantie en in weekenden worden in de praktijk geen standen opgenomen en zijn standen ingevuld door terug te rekenen.
- debietregistratie in het online systeem is gestart op 16 december om 17:00 (Figuur 5).

Figuur 5: screendump debietregistratie F01 en F02 op 15 januari 2020



- in de volgende perioden vertoont F01 (Noord) sprongen omhoog van circa 80 m³/uur naar 125 m³/uur:
 - onmiddellijk na start registratie: op 16 dec, gedurende enkele uren;
 - op 25-27 dec gedurende 68 uur
 - op- 31 dec-1 jan, gedurende 9 uur
 - op 6-7 jan, gedurende 14 uur.

De sprongen in het debiet zijn waarschijnlijk storingen (bv. lucht in de meter). Het totaaldebiet op 15 januari is circa 170 m³/uur (meded. R. Loots, 20-1-2020).

Debietregistratie bemalingsstrengen liftput A

Uit weekrapport 51-52-1 blijkt dat de eerste streng van deze bemaling op maandag 16 december 24 uur heeft gedraaid. De tweede streng is op 19 december gestart. Van 21 december tot 6 januari zijn geen watermeterstanden geregistreerd. Na 6 januari op werkdagen. Op 21 januari is de bemaling van liftput A stopgezet.

Debietregistratie bemalingsstrengen liftput C

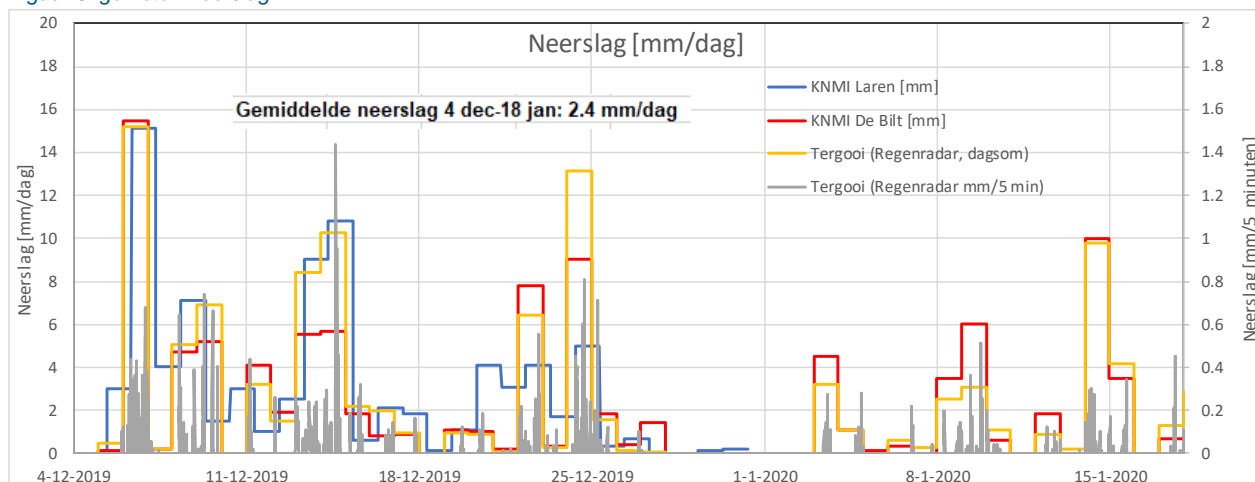
De bemaling bij liftput C is gestart op vrijdag 10 januari. De watermeterstanden zijn op werkdagen geregistreerd en opgenomen in de weekrapporten. De watermeterstanden zijn deels niet plausibel en daarom na afstemming met MOS door ons aangepast naar een minimumdebiet van 50 m³/uur. Op 29 januari is de bemaling van liftput C stopgezet.

Stijghoogtemetingen

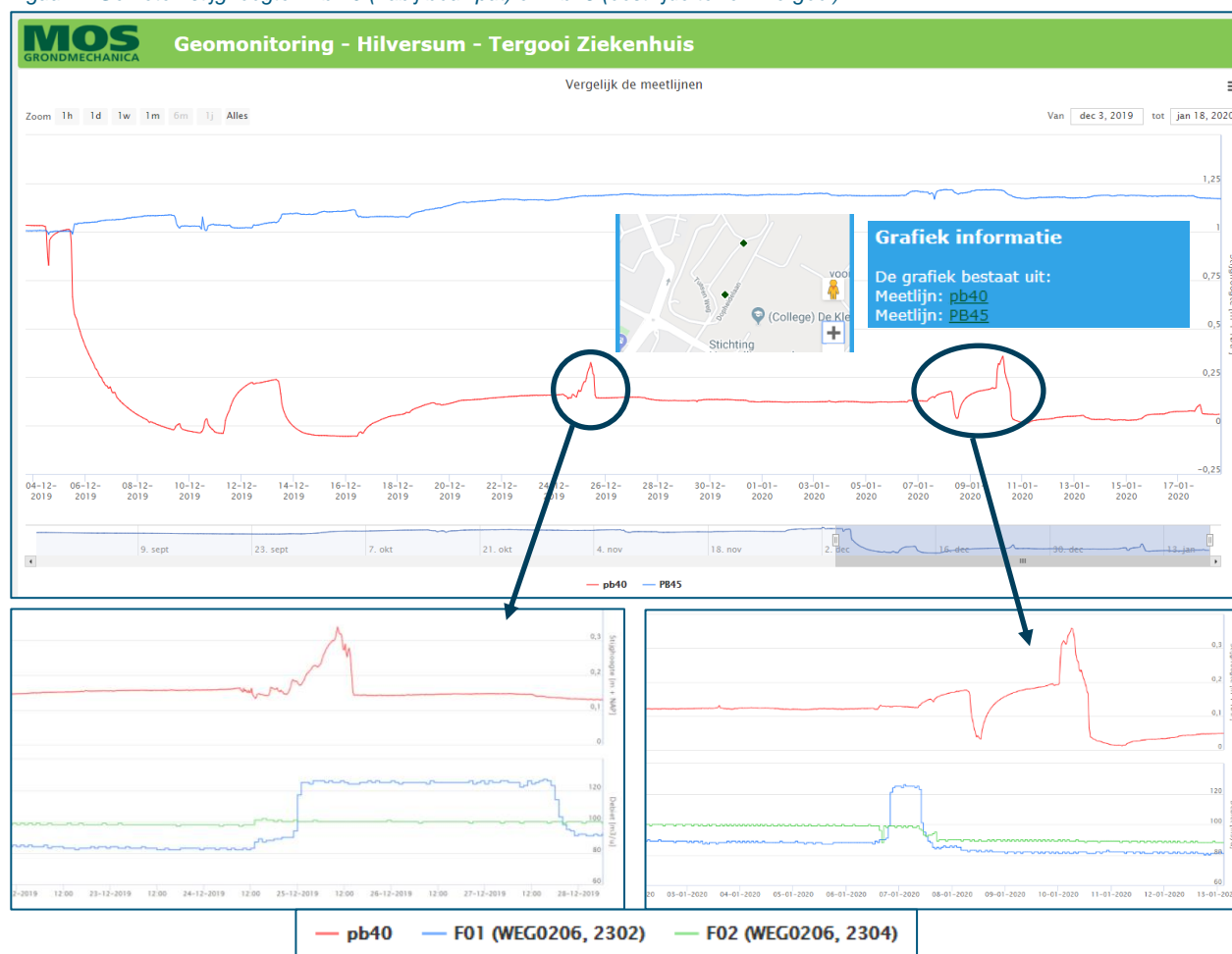
De beschikbare stijghoogtemetingen tot 17 januari zijn weergegeven op de volgende pagina.

Peilbuis Pb40 (nabij de bouwput) vertoont twee korte perioden met tijdelijke verhoging van de stijghoogte, dus vermindering van de afpompings. De eerste zou met neerslag te maken kunnen hebben. De tweede niet. Mogelijk is er een relatie met de onttrokken debieten. Dat blijkt niet uit de flowmetingen. Het debiet van de filterbemaling van liftput A is op 6 januari wat geknepen, mogelijk speelt dat een rol. Een andere mogelijkheid is het aanzuigen van lucht in de deepwells, waardoor het debiet afneemt.

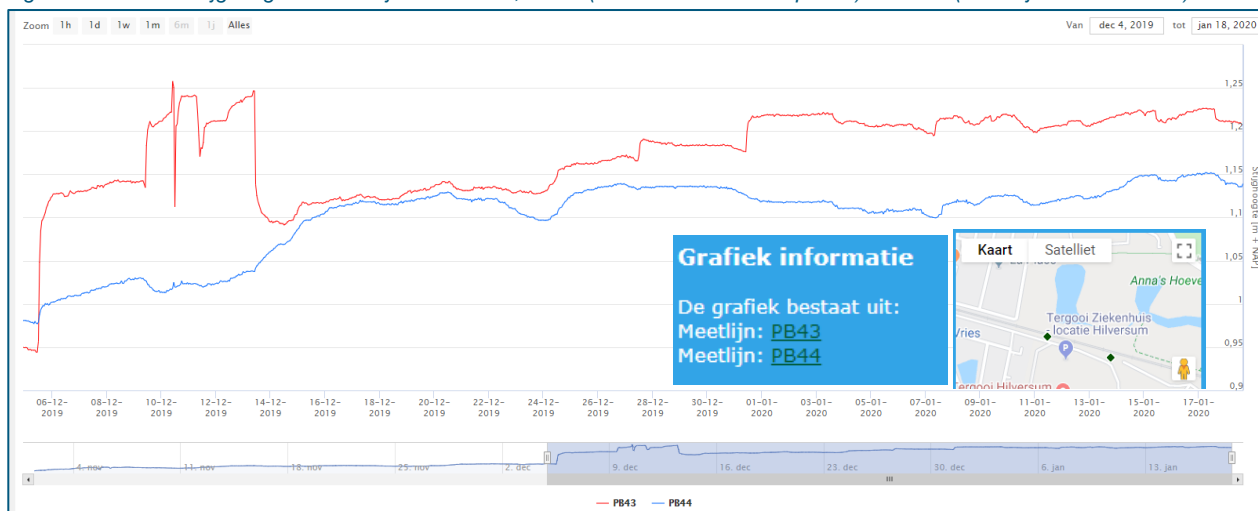
Figuur 6: gemeten neerslag



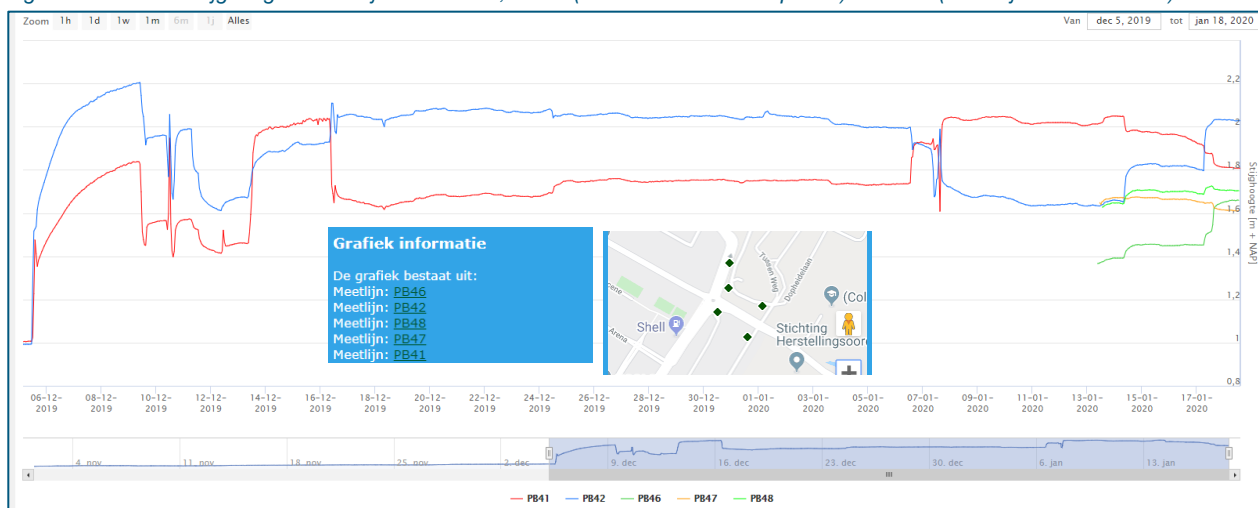
Figuur 7: Gemeten stijghoogten Pb 40 (nabij bouwput) en Pb45 (oostzijde terrein Tergooi)



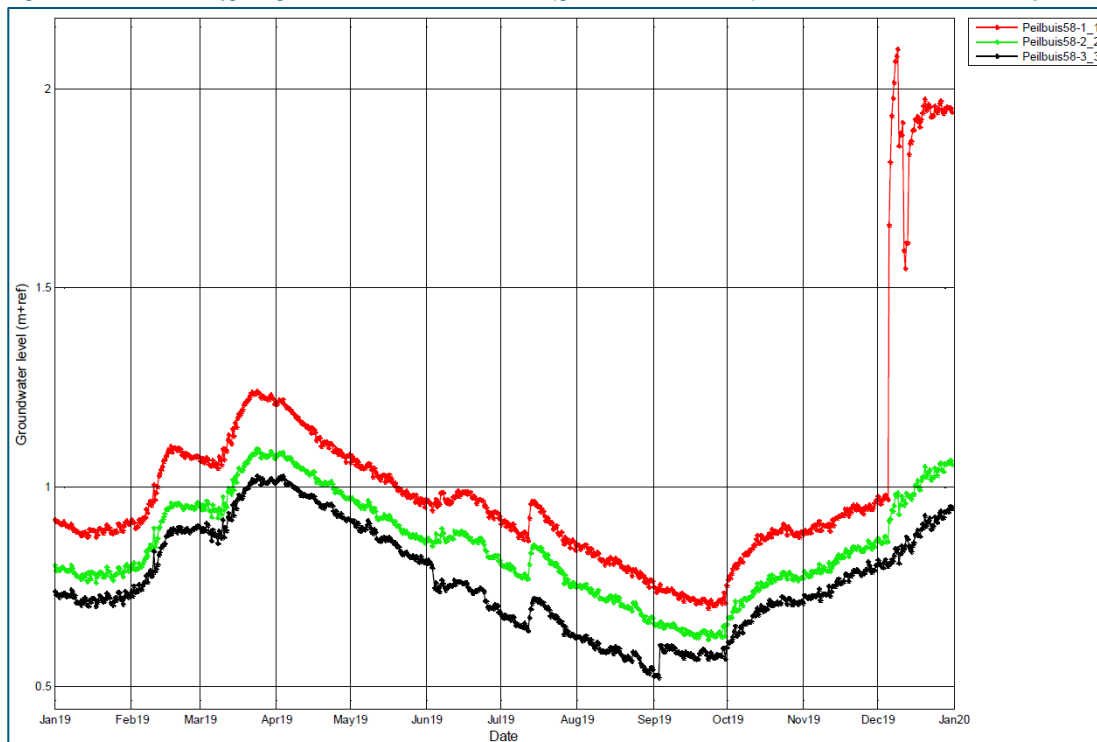
Figuur 8: Gemeten stijghoogten noordelijke retourveld, Pb 43 (midden tussen retourputten) en Pb44 (westelijk van retourveld)



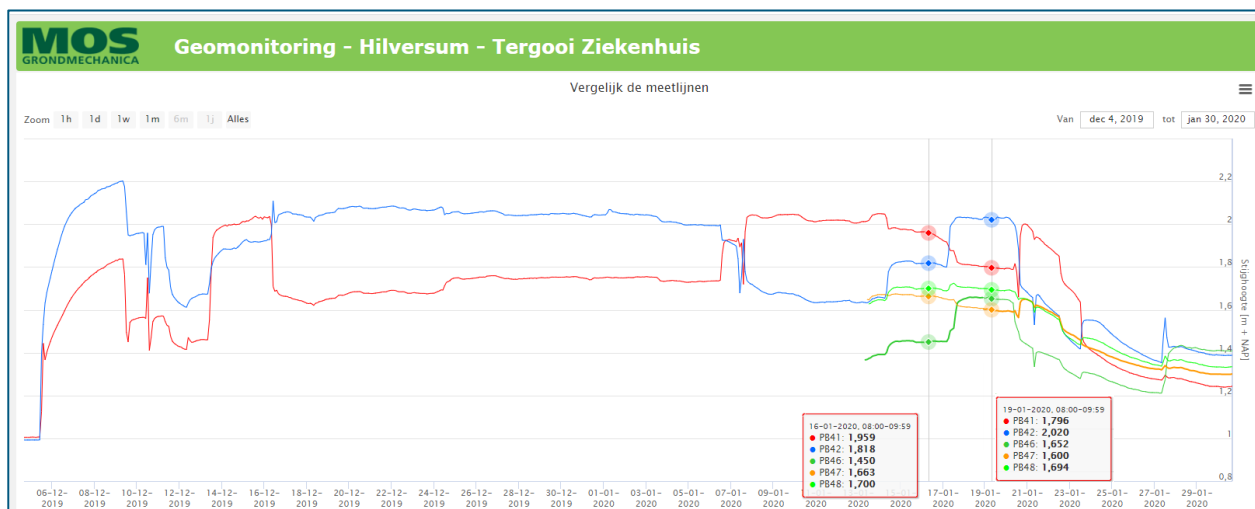
Figuur 9: Gemeten stijghoogten zuidelijke retourveld, Pb 43 (midden tussen retourputten) en Pb44 (westelijk van retourveld)



Figuur 10: Gemeten stijghoogten Peilbuis 58 / B32A1915 (gemeente Hilversum), naast de Amaliatunnel, nabij zuidelijke retourveld



Figuur 11: Gemeten grondwaterstanden in het zuidelijke retourveld in de periode 5 december-29 januari, inclusief de extra bijgeplaatste peilbuizen Pb46, Pb47 en Pb48



3.4 Kalibratie grondwatermodel aan gemeten stijghoogten tijdens bemaling t/m 29 januari

3.4.1 Aanwijzingen voor heterogeniteit van de ondergrond

Op grond van de beschikbare metingen (debieten, stijghoogteveranderingen) blijken er grote verschillen te bestaan tussen de geohydrologische parameters bij de bouwput, het zuidelijke retourveld en het noordelijke retourveld (zie hiervoor verder paragrafen 3.4.5 tot en met 3.4.7). MOS geeft aan dat er grindlagen zijn aangeboord en vermoedt de aanwezigheid van een barrière (kleischot) tussen de bouwput en het zuidelijke retourveld. Uit de boorbeschrijvingen volgt een vrij uniforme bodemopbouw:

- Bouwput: (B01 t/m B08): over het algemeen matig grof zand. Bij de helft van de boringen is op niveaus van NAP-6 à -7 m tot einddiepte (NAP-8 m) zeer grof licht grindig zand aangetroffen;
- Retourveld Noord: (R00 t/m R07): tot NAP-7 m matig grof zand, tot NAP-15 m zeer grof zand, tot NAP-26 m uiterst grof zand, van NAP-26 m tot einddiepte (NAP-31 m) fijn grind;
- Retourveld Zuid: (R08 t/m R13): vergelijkbaar met het noordelijke retourveld. In boring R08 (meest oostelijke put) een kleilaag op NAP-31,2 m tot einddiepte NAP-32,7 m.
- Samenvattend: De doorlatendheid van het zand is in de drie deelgebieden vrij uniform: matig grof zand tot NAP-6 m, zeer grof tot uiterst grof zand tot NAP-26 m en tot NAP-31 m een laag uiterst grof zand of grind.

Gezien de geologie (gestuwde zanden van NAP-45 tot NAP-15 m, met daarop smeltwaterafzettingen tot NAP en daarboven dekzand) is een kleischot boven NAP-15 m onwaarschijnlijk. Daaronder kunnen wel kleischotten voorkomen. Ruimtelijk grote variaties van doorlatendheid en doorlaatvermogen zijn daarom goed mogelijk, ondanks het feit dat de boorbeschrijvingen uniform zijn.

3.4.2 Aanpak

Een herberekening van de benodigde debieten voor de bemaling bij Tergooi is noodzakelijk. Het is nu echter niet mogelijk de herberekening te doen met een model met ruimtelijk variërende modelparameters, die alle ruimtelijke verschillen beschrijft. En wel om de volgende redenen:

- De beperkte beschikbare tijd.
- De onbekendheid en onzekerheid van de bemalingsdebieten in de periode 5 december-16 december, en de verdeling over de retourvelden noord en zuid in die periode.
- De onzekerheid over welke retourputten in bedrijf waren en wanneer, in de periode tussen 5 december en 6 januari.
- Onduidelijke oorzaken van de heterogeniteit.

Daarom is ervoor gekozen om drie verschillende analytische modellen op te stellen met het rekenprogramma MLU (Aquifer test analysis for Unsteady State Flow in Multiple Aquifer Systems, C.J. Hemker en V.E.A. Post, 2011). In dit rekenprogramma wordt verondersteld dat de bodemopbouw in alle richtingen uniform zijn. Er zijn drie modellen gebouwd: een model voor de bouwput zelf, een model voor het noordelijke retourveld en een model voor het zuidelijke retourveld. In elk van die modellen wordt de ondergrond in het hele gebied ruimtelijk uniform verondersteld. Dat betekent dus dat in de overgangsgebieden tussen bouwput en de beide retourvelden de berekende effecten niet op elkaar aansluiten. De afwijkingen en onzekerheden die dit oplevert zullen we in de debietsberekening inschatten en als marge meenemen.

3.4.3 Parameters geohydrologisch basismodel

De parameters waarmee de berekeningen zijn uitgevoerd voor de vergunningaanvraag [1] staan in onderstaande tabel. De bergingscoëfficiënten S1 en S2 zijn hier aangepast aan waarden conform de pompproef bij de Amaliatunnel (bijlage 1). Die waren voor de bemalingsberekeningen niet erg relevant, omdat ze de snelheid van het optreden van verlagingen beïnvloeden, maar niet de grootte van de eindverlagingen. Voor de interpretatie van de nu voorliggende metingen en vragen zijn ze wel relevant. De essentiële parameters zijn samengenomen en weergegeven in de meest rechtse kolom.

Tabel 6: Parameters geohydrologisch basismodel, met filterstelling en belangrijkste (gesommeerde) parameters

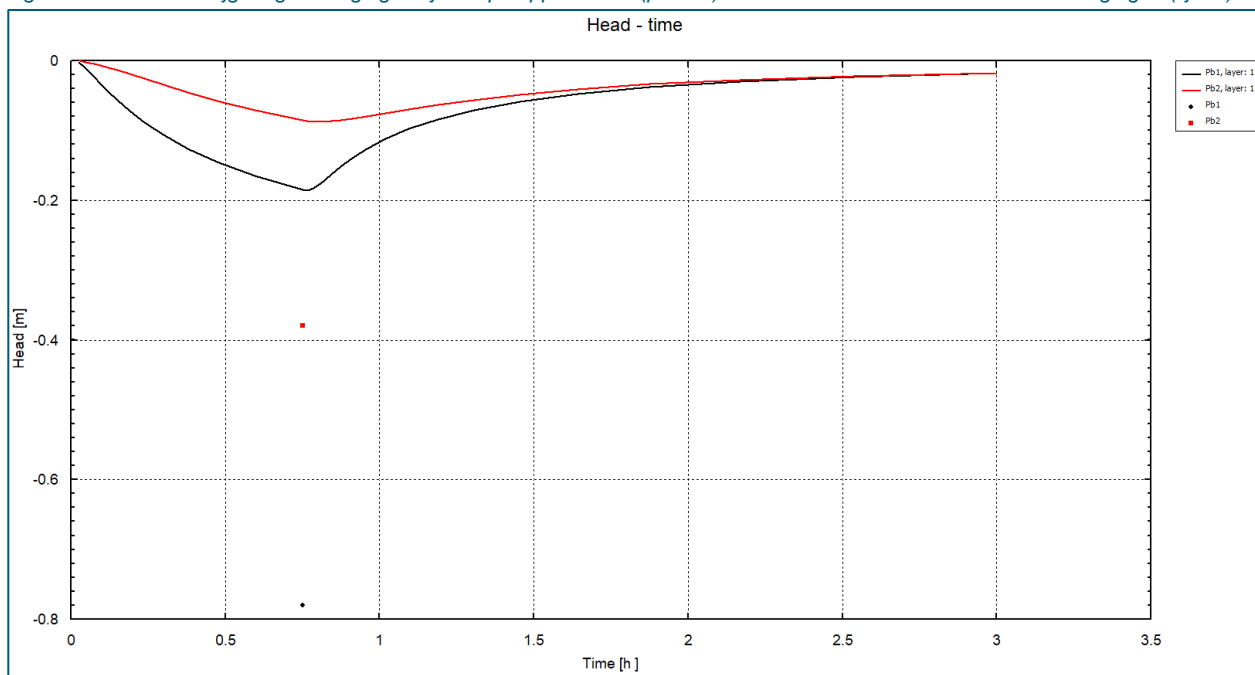
Modellaag	Basis [mNAP]	Dikte [m]	kh/kv [m/dag]	kD [m ² /d]	c [dagen]	S [-]	Diep	Retour	Pb	Belangrijke parameters
1	-5.0	9.0	13.0	117		0.1				Freatische bergingscoëfficiënt S1 S1=0.1
SDL1	-5.1	0.1	1.0		0.1					
2	-17.5	12.4	13.0	161.2		0.005				Totaal doorlaat-vermogen kD1+2+3 kD= 838 m ² /d
SDL2	-18.0	0.5	1.0		0.5					
3	-37.8	19.8	28.3	560		0.0015				Weerstand naar diepere lagen c3+c4 c= 190 dagen
SDL3	-40.0	2.2	0.0244		90					
4	-50.0	10.0	32.0	320		0.0002				
SDL4	-54.0	4.0	0.0400		100					
5	-140.0	86.0	20.0	1720		0.001				

3.4.4 Interpretatie pompproefje B03

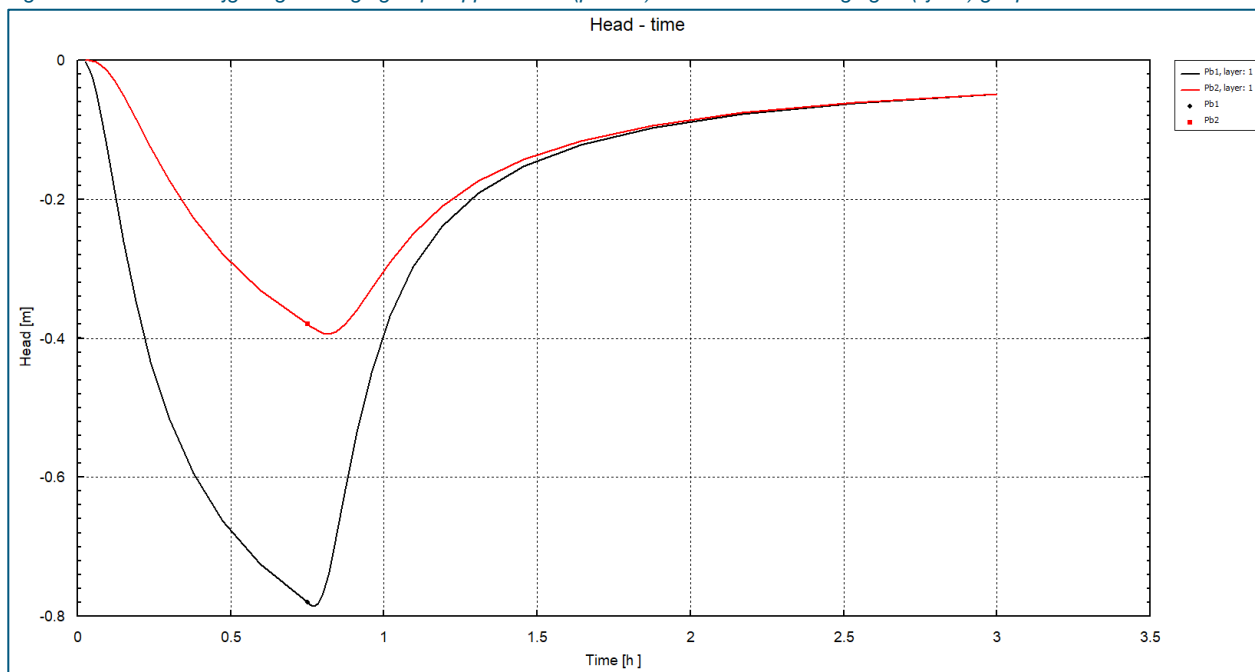
Het op 5 november uitgevoerde pompproefje op diepwell B03 duurde 45 minuten, met gemeten verlagingen na 45 minuten, in peilbuizen op 5 en 10 m afstand. Het aantal waarnemingen en de duur van de proef is niet echt geschikt om bodemparameters op te kunnen baseren voor een bemalingsberekening (daar was het waarschijnlijk ook niet voor bedoeld). Een groot aantal combinaties van bodemparameters levert de gemeten twee verlagingen op.

Uit simulatie met het analytische rekenmodel MLU volgt dat er bij deze proef op B03 veel grotere verlagingen zijn gemeten dan op grond van de parameters uit het basismodel mocht worden verwacht. Ofwel: als dit bij de hele bouwput zou optreden, dan zou de bemaling met een veel lager debiet kunnen worden gerealiseerd dan nu is gebleken. De waarnemingen wijzen op: een lagere bergingscoëfficiënt, een veel lager doorlaatvermogen en een hogere weerstand naar onderliggende lagen. Uit kalibratie volgt een doorlaatvermogen dat een factor 4 keer kleiner is dan in het basismodel, en een k-waarde van het zand van 3 tot 7 m/dag. Dat is onwaarschijnlijk laag. Wij achten resultaat niet betrouwbaar en niet bruikbaar.

Figuur 12: Gemeten stijghoogteverlagingen tijdens pompproef B03 (punten) en met het basismodel berekende verlagingen (lijnen)



Figuur 13: Gemeten stijghoogteverlagingen pompproef B03 (punten) en berekende verlagingen (lijnen) geoptimaliseerd model



Tabel 7: Parameters geoptimaliseerd model pompproef B03 (resultaten onbetrouwbaar)

Modellaag	Basis [mNAP]	Dikte [m]	kh/kv [m/dag]	kD [m ² /d]	c [dagen]	S [-]	Diep	Retour	Pb	Belangrijke parameters
1	-5.0	9.0	3.3	29.4		0.01				Freatische berainascoefficient S1 SD= 0.01
SDL1	-5.1	0.1	1.0		0.1					
2	-17.5	12.4	3.3	40.6		0.005				Totaal doorlaat-vermogen kD1+2+3= 211 m ² /d Factor 0.25 lager
SDL2	-18.0	0.5	1.0		0.5					
3	-37.8	19.8	7.1	140.9		0.0015				Weerstand naar diepere laagen c3+c4 c= 190 dagen
SDL3	-40.0	2.2	0.0244		90					
4	-50.0	10.0	32.0	320		0.0002				
SDL4	-54.0	4.0	0.0400		100					
5	-140.0	86.0	20.0	1720		0.001				

3.4.5 Reconstructie opgepompte en geretourneerde debieten 5 dec-30 jan

Debieten deepwells

De opgepompte debieten hebben wij op basis van de geleverde gegevens (weekrapporten) berekend. Voor watermeter Noord gaan we ervan uit dat het debiet circa 80 m³/uur was, en de pieken naar 125 m³/uur zijn veroorzaakt door storing en niet werkelijk zijn opgetreden. In de periode van 5 tot en met 12 december zijn geen debietmetingen beschikbaar. Deze periode is echter wel cruciaal om mee te nemen, omdat in die periode liftput A niet droogviel. Het model moet dat goed simuleren. Dat debiet hebben wij ingeschat op basis van de gemeten verlagingen in die periode zijn ze gebaseerd op de niet verstoorte debietmetingen van 13-14-15 december en de gemeten verlagingen in Pb40. In de periode na 16 december zijn ze gebaseerd op de debietregistratie (weekrapporten). De debieten zijn samengenomen in 19 perioden voor het rekenmodel, en zijn weergegeven in Figuur 14.

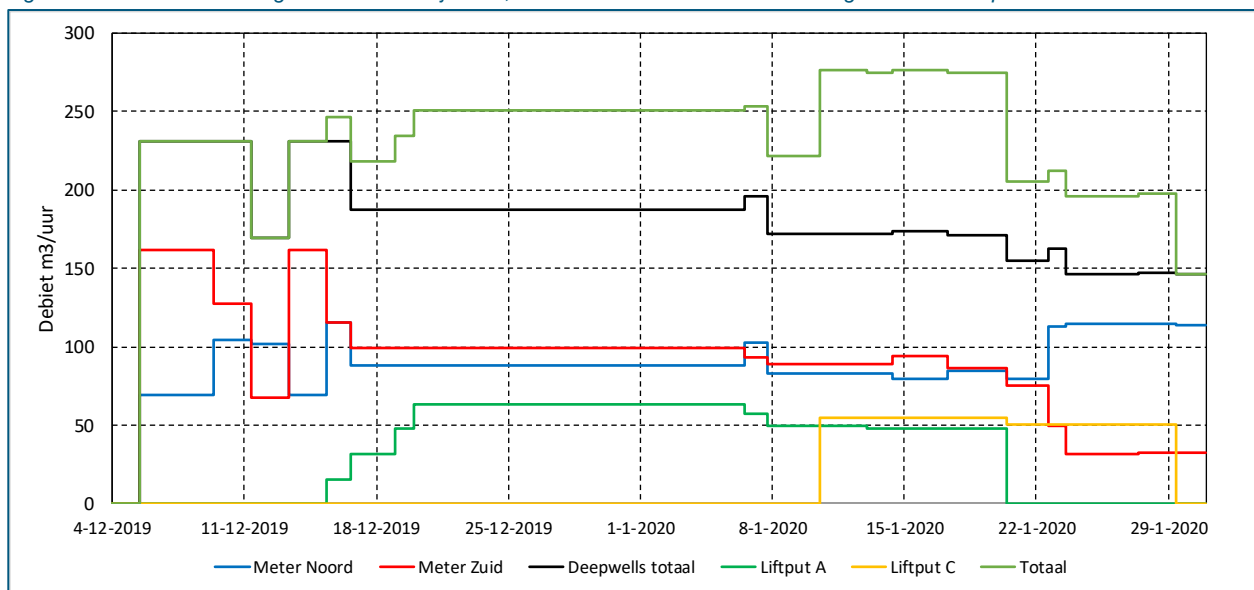
Strengbemaling liftput A en lozing/infiltratie op IT-Riool Oost

De geregistreerde debieten uit de weekrapporten zijn in de berekening ingevoerd als onttrekking in combinatie met 100% infiltratie in IT-riool Oost.

Strengbemaling liftput C en lozing/infiltratie op IT-Riool West

De debieten uit de weekrapporten zijn in overleg met MOS aangepast naar plausibele waarden (tenminste 50 m³/uur). Start- en einddatum zijn gebaseerd op de weekrapporten. Al het onttrokken water in de berekening ingevoerd als onttrekking in combinatie met 100% infiltratie in IT-riool West.

Figuur 14: Debieten bemaling 5 december-30 januari, ten behoeve van het model samengenomen in 19 perioden



Debieten retourputten

De verdeling van het debiet over de retourputten is tot circa 20 december onzeker. Vanaf dat moment is bekend welke putten open stonden en welke putten niet (zie onderstaande tabel). We hebben aangenomen dat de verdeling van het debiet binnen het retourveld evenredig is over de putten. Water dat door Watermeter Noord stroomt wordt evenredig verdeeld over de openstaande putten in retourveld noord, Watermeter Zuid evenredig over de putten in retourveld zuid.

Bij retourveld zuid is geprobeerd de verdeling over de putten in de periode tot 16 december zo in te stellen dat een betere overeenkomst met gemeten stijghoogten te bereiken. Dat is maar ten dele gelukt (zie paragraaf 3.4.8).

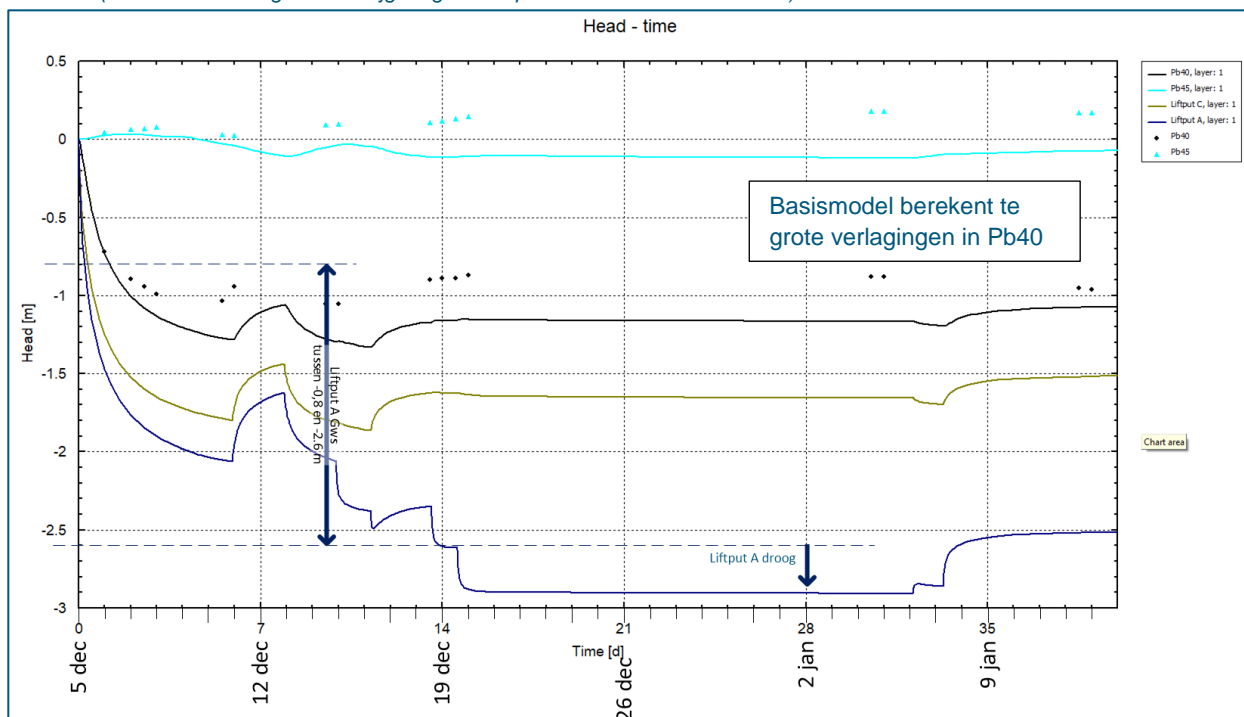
Tabel 8: Openstaande retourputten (zwart: put in bedrijf).

Startdatum/tijd	Periode	Noord							Zuid						
		R00	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10	R11	R12	R13
05-12-19 10:00	1														
09-12-19 09:00	2														
11-12-19 08:00	3														
13-12-19 08:00	4														
15-12-19 08:00	5														
16-12-19 16:00	6														
19-12-19 00:00	7														
20-12-19 00:00	8														
06-01-20 13:00	9														
07-01-20 17:00	10														
10-01-20 13:00	11														
13-01-20 00:00	12														
14-01-20 08:30	13														
17-01-20 07:00	14														
20-01-20 10:30	15														
22-01-20 15:00	16														
23-01-20 13:00	17														
27-01-20 10:30	18														
29-01-20 10:30	19														

3.4.6 Kalibratie model voor bouwput

Berekening van de stijghoogteveranderingen in Pb40 met het basismodel (MLU) van de vergunningaanvraag levert, uitgaande van de gemeten debieten, grotere berekende verlagingen op (zwarte lijn) dan gemeten (zwarte punten). Het doorlaatvermogen is dus groter dan in het basismodel is aangenomen.

Figuur 15: Berekende stijghoogteveranderingen in Pb40, Pb45, Liftput A en Liftput C met het basismodel en de werkelijk opgetreden debieten. (Head=verandering van de stijghoogte ten opzichte van start 5 december)



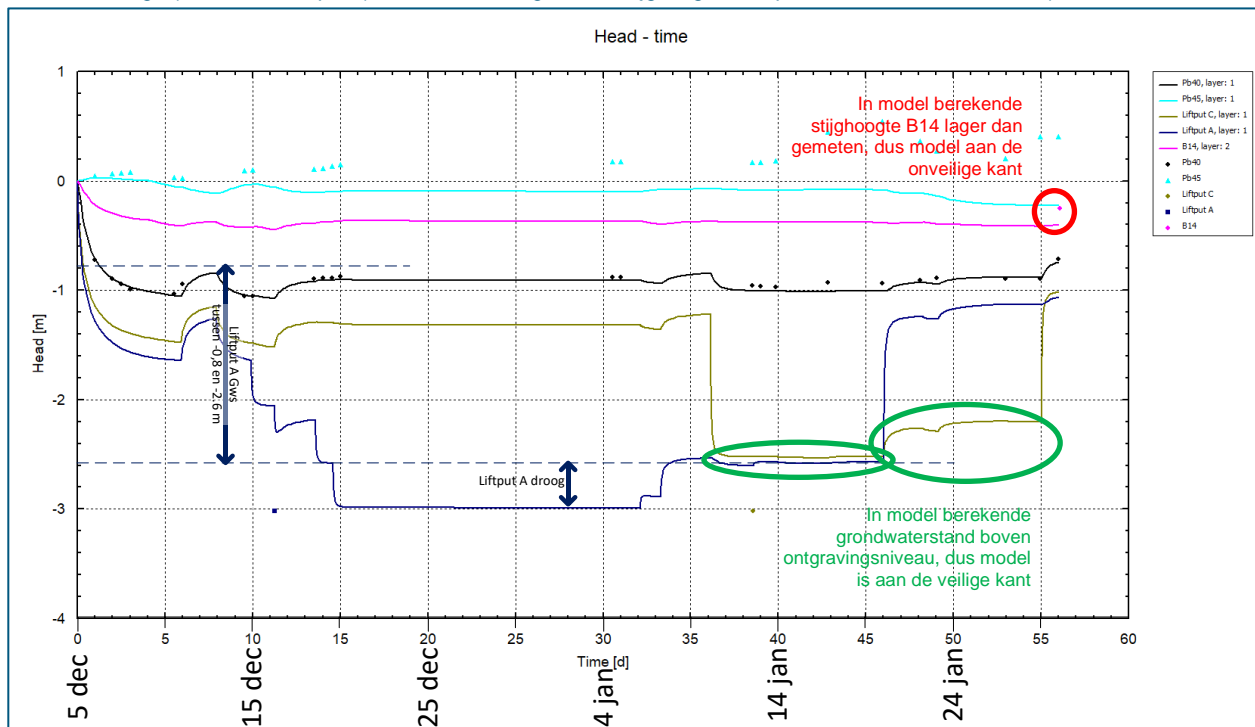
Uit optimalisatie van de modelparameters volgt dat het doorlaatvermogen van de bovenste lagen een factor 1,3 hoger is dan in het basismodel was aangenomen. Resultaten staan op de volgende pagina in Figuur 16. De stijghoogteveranderingen bij peilbuis Pb40 worden goed gesimuleerd.

Deze kalibratie is gebaseerd op één peilbuis en heeft een beperkte betrouwbaarheid. In het model wordt berekend dat in de periode na 9 januari liftput A nét niet wordt drooggepompt (circa 5 cm). In werkelijkheid was de bouwput wel droog. Met het model wordt ook berekend dat na 20 januari in liftput C circa 40 cm water staat. In werkelijkheid was de liftput droog. We kunnen er dus vanuit gaan dat met de ingevoerde debieten de berekende verlagingen iets minder groot zijn dan in werkelijkheid. Wat betreft afwijkingen en risico's is het model dus aan de **veilige kant**.

Toch zijn er nog onzekerheden. Bij Pb45 (ooststrand terrein Tergooi worden geringe verlagingen (-10 cm) berekend, terwijl er tot 14 januari geringe verhogingen worden gemeten (+10 tot +20 cm) en na 14 januari verhogingen tot +60 cm. Op 29 januari is eenmalig de stijghoogte in B14 (zuidzijde bouwdeel D) gemeten. Die stijghoogte was circa 20 cm hoger dan de stijghoogte berekend met het model. Deze afwijkingen worden mogelijk veroorzaakt door onderschatting van het effect van de retourbemaling in retourveld zuid, door onderschatting van het effect van de infiltratie uit het IT-riool Oost, of door neerslag. Dit is met dit model niet te verbeteren.

Met bovenstaande onzekerheden zal rekening worden gehouden door een veiligheidsmarge op het aan te vragen debiet te zetten.

Figuur 16: Berekende stijghoogteveranderingen in Pb40, Pb45, Liftput A en Liftput C met geoptimaliseerd model (verhoogd doorlaatvermogen) voor de bouwput. (Head=verandering van de stijghoogte ten opzichte van start 5 december)



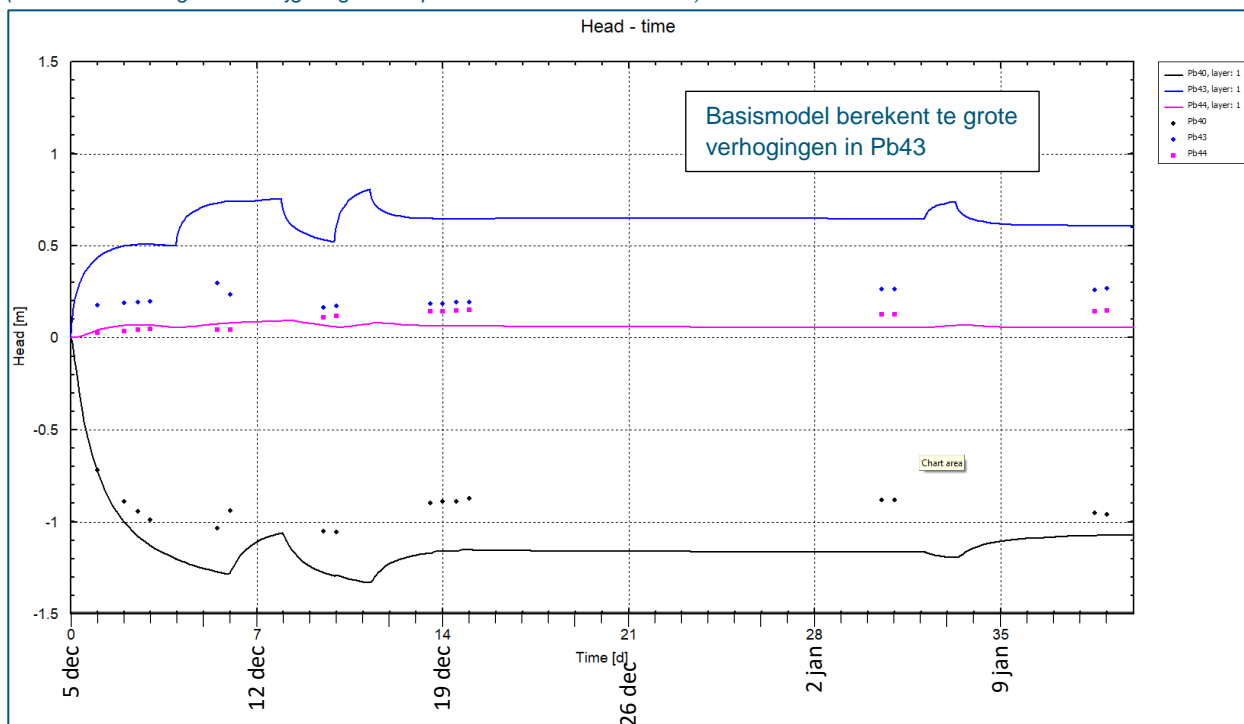
Tabel 9: Parameters geoptimaliseerd model voor de bouwput (blauw: expertoordeel, rood en groen: automatisch geoptimaliseerd)

Modellaag	Basis [mNAP]	Dikte [m]	kh/kv [m/dag]	kD [m2/d]	c [dagen]	S [-]	Diep	Retour	Pb	Belangrijke parameters
1	-5.0	6.0	13.0	78		0.077				Freatische beraingscoefficient S1
SDL1	-5.1	0.1	0.2		0.5					SD= 0.08
2	-17.5	12.4	18.5	229.7		0.005				Totaal doorlaat-vermogen
SDL2	-18.0	0.5	1.0		0.5					kD1+2+3= 1106 m2/d Factor 1.32 hoger
3	-37.8	19.8	40.3	797.9		0.0015				Weerstand naar diepere laagen c3+c4
SDL3	-40.0	2.2	0.0244		90					c= 190 dagen
4	-50.0	10.0	32.0	320		0.0002				
SDL4	-54.0	4.0	0.0400		100					
5	-140.0	86.0	20.0	1720		0.001				

3.4.7 Kalibratie model voor retourveld noord

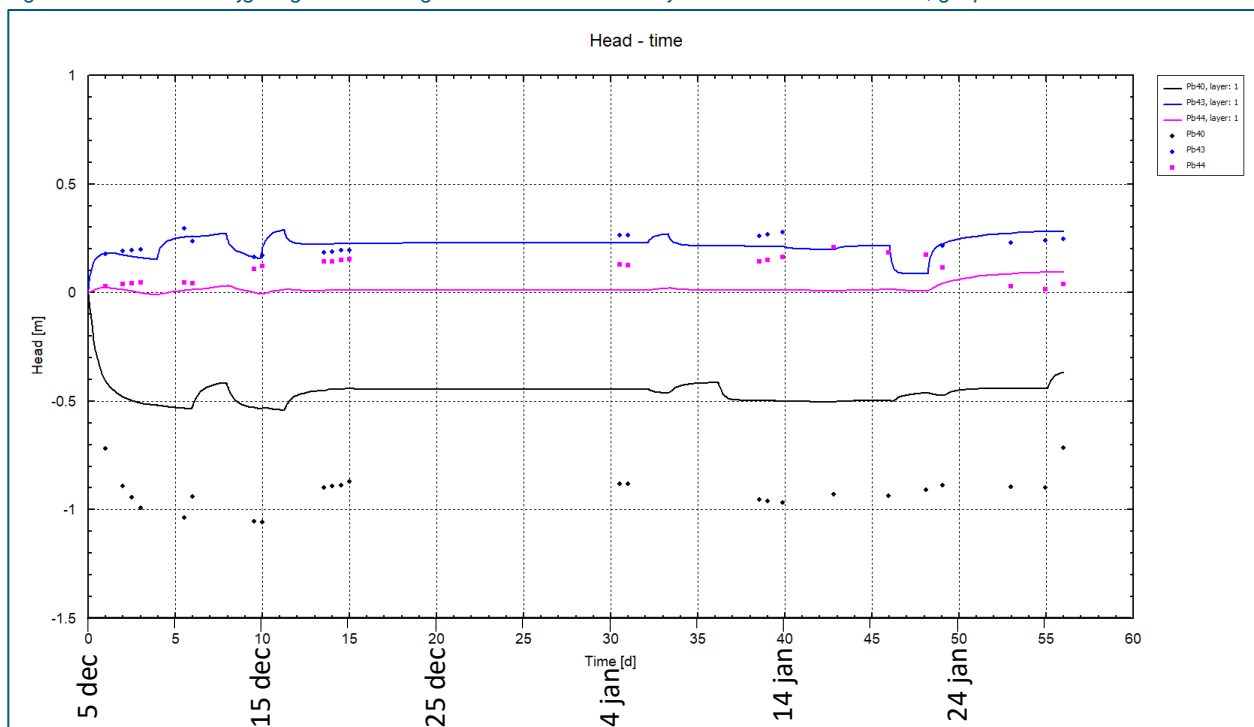
De verhogingen van de stijghoogte in het noordelijke retourveld zijn in de praktijk gering (20 tot 30 cm). Dat is heel weinig, mede gezien het feit dat peilbuis Pb43 op slechts enkele tientallen meters afstand staat van de infiltrerende putten R04 en R05. De met het basismodel berekende stijghoogteveranderingen zijn een factor 3 keer groter. Dat duidt op een veel groter doorlaatvermogen.

Figuur 17: Met het basismodel berekende stijghoogteveranderingen in Pb40 en in noordelijk retourveld Pb43 en Pb44.
(Head=verandering van de stijghoogte ten opzichte van start 5 december)



Uit modeloptimalisatie volgt een doorlaatvermogen dat 2,6 keer groter is, in combinatie met een lagere weerstand naar de onderliggende zandpakketten (zie Tabel 10). Het kalibratieresultaat is matig (Figuur 18). Het lukt niet om voldoende verhogingen in de op grotere afstand gelegen peilbuis Pb44 te berekenen. Het verlagende effect van de bemaling bij de bouwput dringt hier in het model mogelijk verder door dan in werkelijkheid. Een andere mogelijke oorzaak is een stijging van de waterstand in de vijvers van Anna's Hoeve aan de andere kant van het spoor, door afvoer van neerslag uit het hemelwaterrioolstelsel van Hilversum. Deze stijging is niet in het model meegenomen.

Figuur 18: Berekende stijghoogteveranderingen in Pb40 en in noordelijk retourveld Pb43 en Pb44, geoptimaliseerd model



Tabel 10: parameters geoptimaliseerd model voor retourveld Noord. Blauw: expertoordeel, rood: automatische kalibratie

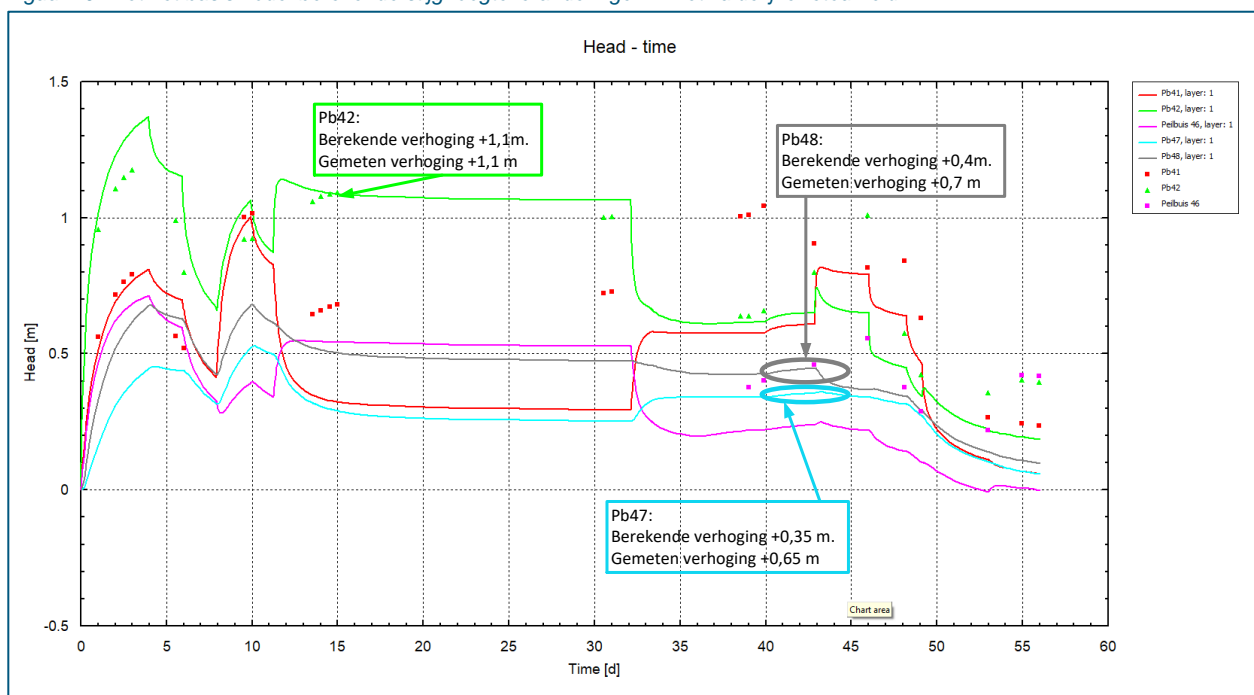
Modellaag	Basis [mNAP]	Dikte [m]	kh/kv [m/dag]	kD [m2/d]	c [dagen]	S [-]	Diep	Retour	Pb	Belangrijke parameters
1	-5.0	6.0	13.0	78		0.1				Freatische berainascoefficient S1 SD= 0.1
SDL1	-5.1	0.1	0.2		0.5					
2	-17.5	12.4	38.3	475		0.005				Totaal doorlaat-vermogen kD1+2+3= 2203 m2/d Factor 2.63 hoger
SDL2	-18.0	0.5	1.0		0.5					
3	-37.8	19.8	83.3	1650		0.0015				Weerstand naar diepere laeën c3+c4 c= 110 dagen
SDL3	-40.0	2.2	0.2200		10					
4	-50.0	10.0	32.0	320		0.0002				
SDL4	-54.0	4.0	0.0400		100					
5	-140.0	86.0	20.0	1720		0.001				

3.4.8 Kalibratie model voor retourveld zuid

Voor retourveld zuid is de kalibratie ingewikkeld. Het basismodel (met de parameters ontleend aan de pompproef bij de Amaliatunnel uit 2009 [2], zie Tabel 6), vertoont bij Pb42 redelijk goede overeenkomst met de metingen (zie Figuur 19). De metingen bij Pb41 (rode punten) zijn echter komen een groot deel van de periode niet overeen met het model (rode lijn).

Bij de nieuwe peilbuizen aan de overzijde van de Soestdijkerstraatweg (Pb47 en Pb48, grijze lijn en lichtblauwe lijn) zijn de berekende verhogingen van de grondwaterstand veel kleiner de gemeten verhogingen. (NB: de metingen zijn in onderstaande figuur niet weergegeven, zie hiervoor Figuur 11. De gemeten verhogingen zijn onzeker, omdat de uitgangssituatie op 5 december onbekend is. We gaan net als bij alle andere meetpunten uit van de stijghoogte van NAP+1,0 m op 5 december. Dat is wellicht een onderschatting).

Figuur 19: Met het basismodel berekende stijghoogteveranderingen in het zuidelijke retourveld

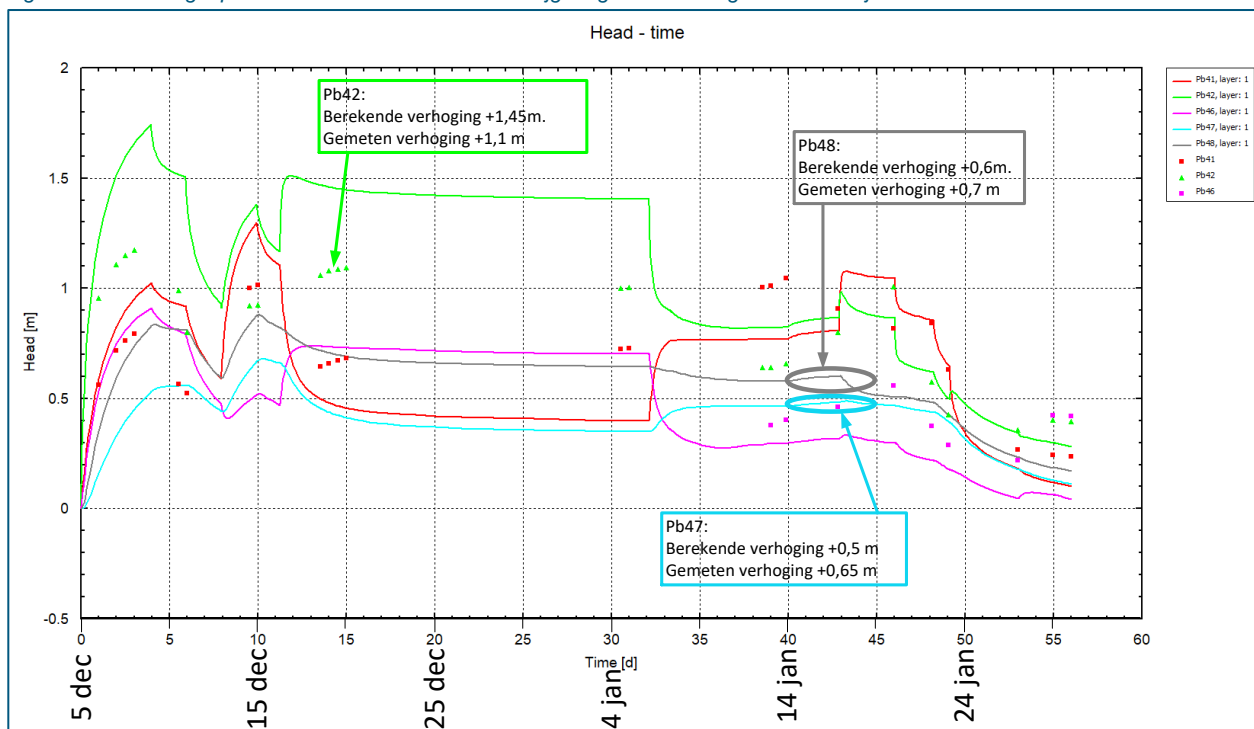


Er zijn verschillende oorzaken denkbaar voor de afwijkingen bij bijvoorbeeld Pb41, zoals een andere verdeling van het water over de infiltratieputten en verstopping van infiltratieputten, waardoor de debieten geleidelijk verschuiven van de verstoppende retourputten naar de andere retourputten.

Hoe het ook zij: de berekende stijghoogteveranderingen bij de woningen aan de overzijde van de Soestdijkerstraatweg worden door het basismodel significant onderschat.

Om deze verhogingen goed te kunnen voorspellen hebben we het model geoptimaliseerd: het doorlaatvermogen is verlaagd en de weerstand naar de onderliggende lagen verhoogd. Het resultaat daarvan is een berekening waarin de verhogingen aan de overzijde van de Soestdijkerstraatweg beter overeenkomen met de metingen, maar de verhogingen bij Pb42 en de Amaliatunnel door het model worden overschat (Figuur 20 en Tabel 11).

Figuur 20: Met het geoptimaliseerde model berekende stijghoogteveranderingen het zuidelijke retourveld



Tabel 11: parameters geoptimaliseerd model voor retourveld Zuid. Blauw: aangepast op basis van expertoordeel

Modellaag	Basis [mNAP]	Dikte [m]	kh/kv [m/dag]	kD [m ² /d]	c [dagen]	S [-]	Diep	Retour	Pb	Belangrijke parameters
1	-5.0	6.0	13.0	78		0.1				Freatische beraingscoefficient S1 SD= 0.1
SDL1	-5.1	0.1	1.0		0.1					
2	-17.5	12.4	9.8	121		0.005				Totaal doorlaat-vermogen kD1+2+3= 619 m ² /d Factor 0.74 lager
SDL2	-18.0	0.5	1.0		0.5					
3	-37.8	19.8	21.2	420		0.0015				Weerstand naar diepere laagen c3+c4 c= 300 dagen
SDL3	-40.0	2.2	0.0110		200					
4	-50.0	10.0	32.0	320		0.0002				
SDL4	-54.0	4.0	0.0400		100					
5	-140.0	86.0	20.0	1720		0.001				

4 Berekening benodigde debieten, stijghoogteverlagingen en effecten voor de resterende bemaling

4.1 Bouwplanning

Onderstaande tabel toont de planning van de bemaling, afgestemd op de bouwplanning dd. 20 jan. 2020 [14].

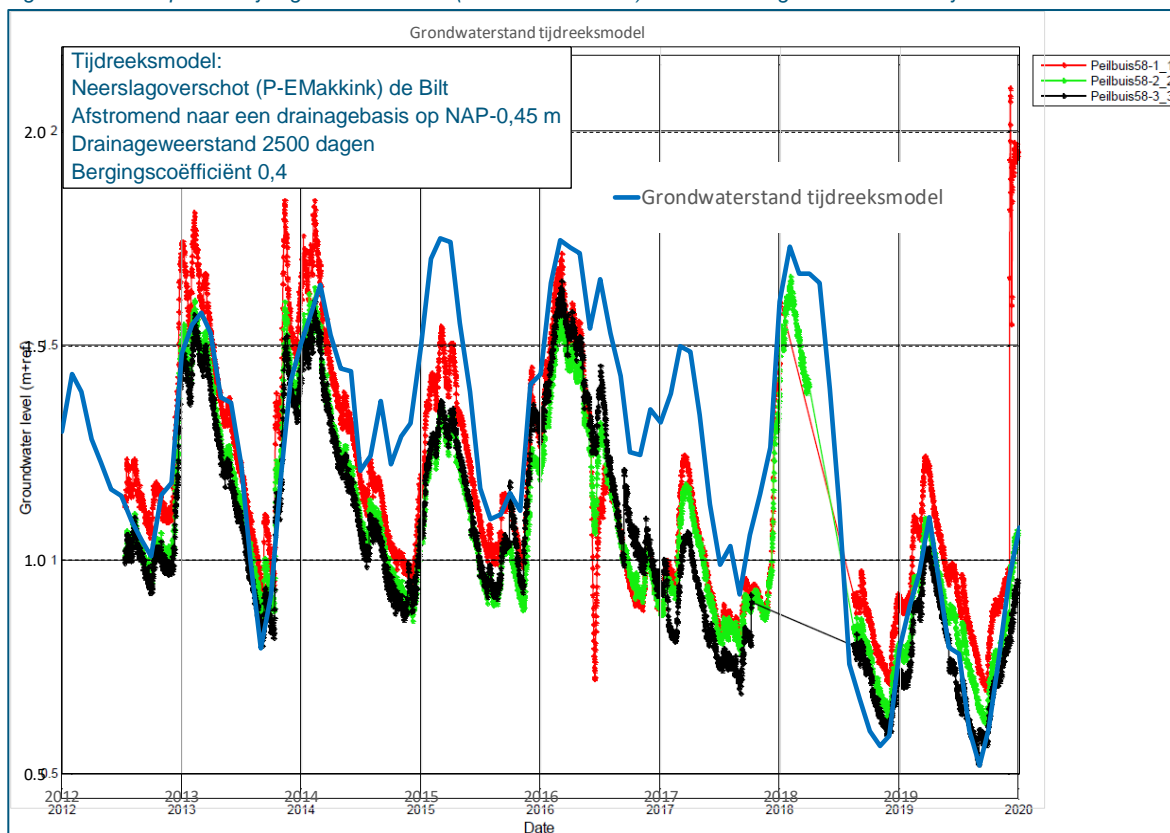
Tabel 12: planning bemaling dd. 20 jan. 2020

Uitvoeringsfase:	Start bemaling	Einde bemaling	Start bemaling	Einde bemaling	Duur [kalender-dagen]
Bemaling bouwdeel A (tot storten BG vloer), incl. 1 week onwerkbaar weer	5-dec-2019 (conform metingen MOS)	Eind week 18	5-12-2019	1-5-2020	149
Bemaling bouwdeel C (tot storten BG vloer), incl. 1 week onwerkbaar weer	5-dec-2019 (conform metingen MOS)	Eind week 19	5-12-2019	8-5-2020	156
Bemaling Liftputten bouwdeel A	16-dec-2019 (conform weekrapport MOS)	Eind week 7	16-12-2019	21-1-2020	37
Bemaling Liftputten bouwdeel C	Maandag 13-jan-2020 (obv afspraken 9 jan 2020)	Eind week 9	13-12-2019	29-1-2020	48
Bemaling Liftputten Bouwdeel D. Bouwduur in planning 5 weken. Daaraan toegevoegd 1 week onwerkbaar weer en 1 week om eerder te kunnen starten bij niet optreden onwerkbaar weer vóór de start.	Begin week 9	Eind week 15	24-2-2020	10-4-2020	47
Bemaling bouwdeel D. Bouwduur in planning 20 weken. Daaraan toegevoegd 1 week onwerkbaar weer en 1 week om eerder te kunnen starten bij niet optreden onwerkbaar weer vóór de start. Samen dus 22 weken bemaling. Einde bemaling eind week 34.	Begin week 9	Eind week 34	24-2-2020	21-8-2020	180
Totaal bemaling			5-12-2019	21-8-2020	261

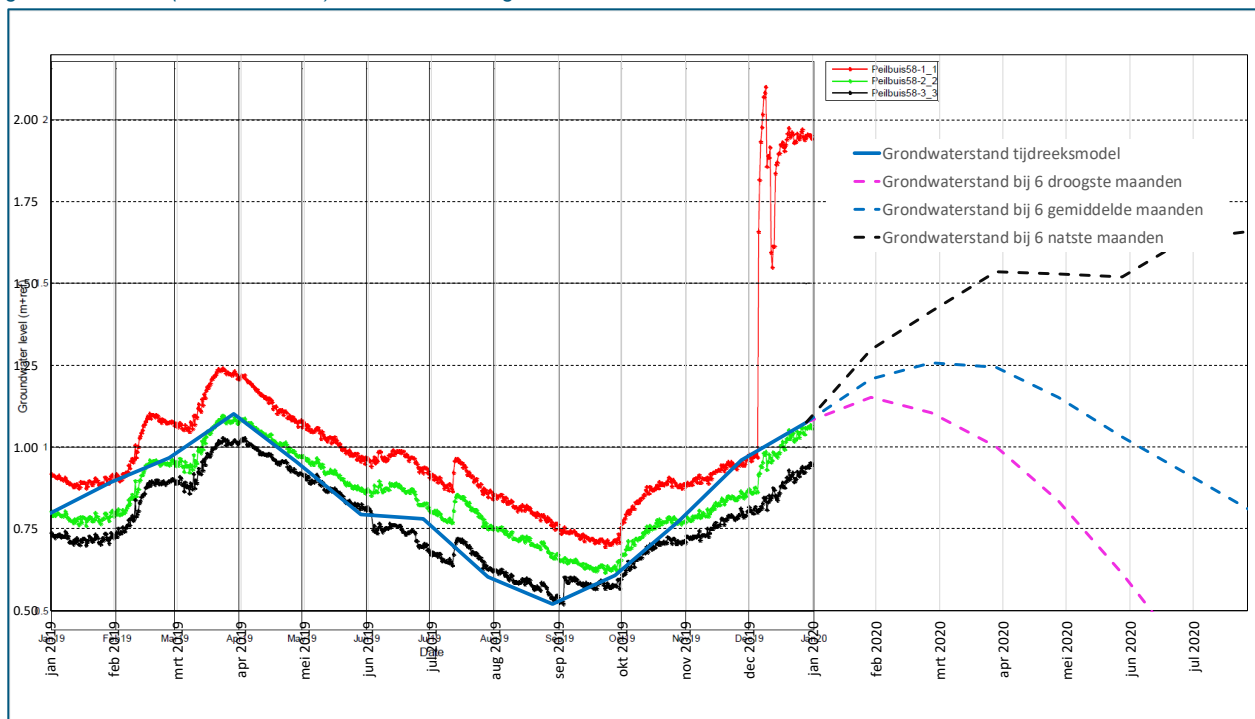
4.2 Prognose stijging grondwaterstand

Toen de bemaling startte op 5 december waren alle gemeten stijghoogten circa NAP+1,0 m. De grondwaterstand zal als gevolg van neerslagoverschot in de komende maanden waarschijnlijk stijgen. Met behulp van een tijdreeksmodel hebben we een inschatting gemaakt van de mogelijke stijging. Dat model is geverifieerd aan gemeten grondwaterstanden in peilbuis 58 / B32A1915 van de gemeente voor de periode 2012-heden (Figuur 21). Het model is gebaseerd de afvoer van het gemeten neerslagoverschot in de Bilt naar een drainagebasis op NAP-0,45 m, via een grondwatersysteem met een drainageweerstand van 2500 dagen en een bergingscoëfficiënt 0,4. De bergingscoëfficiënt is relatief groot, hetgeen wordt verklaard het feit dat berging optreedt bij de grondwaterspiegel ($S=0,15-0,25$) maar ook in de onverzadigde zone. De overige parameters zijn plausibel. Het model vertoont een redelijk goede overeenkomst met de metingen en sluit op 5 december goed aan op de actuele grondwaterstand. Bij het optreden van een neerslagoverschot gelijk aan de maandgemiddelden van 2012-2019 zal de grondwaterstand stijgen naar NAP+1,25 m (Figuur 22). Bij het achter elkaar optreden van natste maanden uit de periode 2012-2019 kan de grondwaterstand stijgen tot NAP+1,5 m. De kans daarop is zeer klein. We gaan uit van een maximale grondwaterstand van NAP+1,4 m.

Figuur 21: Verloop natuurlijke grondwaterstand (Pb 58 / B32A1915). Gemeten en gesimuleerd met tijdreeksmodel



Figuur 22: Prognose verloop natuurlijke grondwaterstand op basis van tijdreeksmodel met gemiddelde maandneerslag, 6 maximaal natte maanden en 6 maximaal droge maanden. Gemiddelde verwachting maximale grondwaterstand: NAP+1,25 m. Maximale grondwaterstand (kans <1/10.000): NAP+1.6 m. We gaan uit van NAP+1.4 m.



4.3 Benodigde verlaging van de grondwaterstand

Onderstaande tabel met ontgravingsdieptes is afkomstig uit bemalingsplan van MOS [4]. Uitgaande van een maximale grondwaterstand van NAP+1,4 m volgen de onderstaande benodigde verlagingen:

- Keldervloer bouwdeel A, C en D: verlaging 1,2 m
- Balken bouwdeel D: verlaging 1,9 m
- Liftputten bouwdeel A, C en D: verlaging 3 m

In de berekening gaan we uit van een grondwaterstandsverlaging tot juist onder de ontgravingsdiepte, dus met minimale drooglegging. Om resterende onzekerheden af te dekken stellen we voor om op alle aan te vragen debieten (max. uur, max dag, max maand, max werk) voor de periode na 30 januari een marge van 10% toe te voegen. Dat komt neer op een extra drooglegging van 20 tot 30 cm. Voor de periode tot 30 januari zijn de werkelijk opgepompte debieten gebruikt.

Tabel 13: benodigde ontgravingsdiepte [4]

Onderdeel	Afmetingen bouwput [m]	Ontgravingsdiepte [m NAP]
Bouwdeel A en C		
Onderkant keldervloer	131 x 7	+0,2
Onderkant liftput	7 x 9	-1,62
Bouwdeel A, C en D		
Onderkant keldervloer	131 x 7 + 65 x 19	+0,2
Onderkant balk	131 x 7 + 65 x 19	-0,5
Bouwdeel D		
Onderkant keldervloer	65 x 19	+0,2
Onderkant balk	65 x 19	-0,5
Onderkant liftput	5 x 4	-1,62

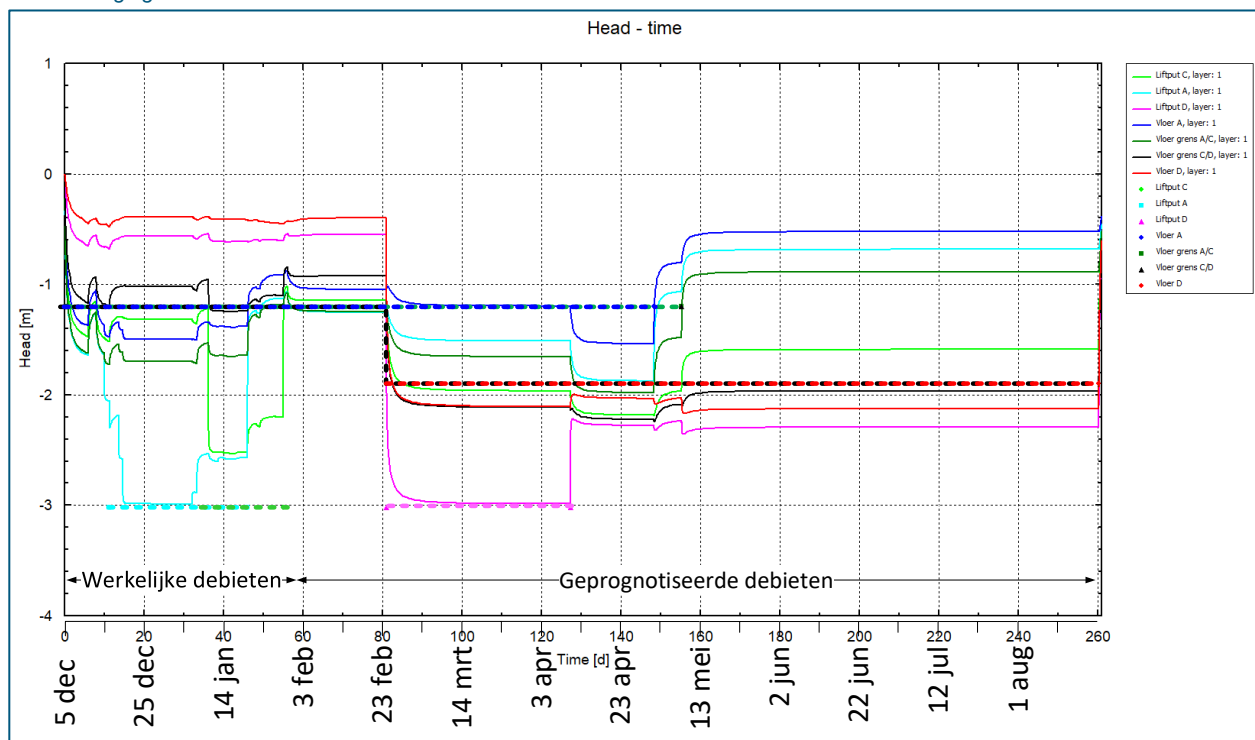
4.4 Bemalingsberekening

De bemaling tot nu toe (stand van zaken 30 januari 2020) en de bouwplanning (paragraaf 4.1) zijn met bijbehorende debieten opgenomen in het MLU-model voor grondwaterstroming van en naar de putten, gekalibreerd voor de bouwput (parameters zie Tabel 9 op pagina 22). De berekende verlagingen zijn weergegeven in figuur 23. De verschillende periodes met wanneer welke delen bemalen moeten worden, zijn aangegeven met de gekleurde stippellijnen. De hoogte van de stippellijnen geven aan tot welk niveau verlaagd moet worden, conform de benodigde verlagingen in paragraaf 4.3. We hebben de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- vloeren A en C met deepwells en 100% retourbemaling
- vloeren en balken D met deepwells en 100% retourbemaling
- liftput A met aanvullende ondiepe filterstrengen, lozing op IT-riool Oost
- liftput C met aanvullende ondiepe filterstrengen, lozing op IT-riool West
- liftput D met aanvullende ondiepe filterstrengen, lozing op IT-riool Oost

Voor de periode na 30 januari 2020 is aangenomen dat de deepwellbemaling voor 40% wordt geretourneerd in retourveld Zuid en voor 60% in retourveld Noord. In de periode met het maximale debiet (vloeren van bouw delen A, B, C en D in combinatie met filterbemaling bij liftput D) is het belangrijk dat er in retourveld Zuid niet meer dan 40% wordt geretourneerd om de grondwaterstanden ten zuiden van de Soestdijkerweg niet te veel te verhogen.

Figuur 23 Verloop van de grondwaterstandsverlagingen in de verschillende delen en liftputten. De stippellijnen geven aan wanneer welke verlaging moet worden behaald.



Tabel 14: Benodigde debieten deepwells en retourbemaling (zonder veiligheidsmarge 10%)

Periode	Begin datum	Duur periode (dagen)	Bemaling in bouwdeel:	Debiet deepwells (m ³ /uur)	Aantal deepwells	Debiet per deepwell (m ³ /uur)
1	05-dec-2019	4.0	ABC	231.2	9	25.7
2	09-dec-2019	2.0	ABC	231.2	9	25.7
3	11-dec-2019	2.0	ABC	169.5	9	18.8
4	13-dec-2019	2.0	ABC	231.2	9	25.7
5	15-dec-2019	1.3	ABC + liftput A	231.2	9	25.7
6	16-dec-2019	2.3	ABC + liftput A	187.1	9	20.8
7	19-dec-2019	1.0	ABC + liftput A	187.1	9	20.8
8	20-dec-2019	17.5	ABC + liftput A	187.1	9	20.8
9	06-jan-2020	1.2	ABC + liftput A	195.8	9	21.8
10	07-jan-2020	2.8	ABC + liftput A	171.9	9	19.1
11	10-jan-2020	2.5	ABC + liftput A	171.9	9	19.1
12	13-jan-2020	1.4	ABC + liftput A & C	171.9	9	19.1
13	14-jan-2020	2.9	ABC + liftput A & C	173.6	9	19.3
14	17-jan-2020	3.1	ABC + liftput A & C	171.3	9	19.0
15	20-jan-2020	2.2	ABC + liftput C	155.1	9	17.2

Tabel 14 (vervolg): Benodigde debieten deepwells en retourbemaling (zonder veiligheidsmarge 10%)

Periode	Begindatum	Duur periode (dagen)	Bemaling in bouwdeel:	Debiet deepwells (m³/uur)	Aantal deepwells	Debiet per deepwell (m³/uur)
16	22-jan-2020	0.9	ABC + liftput C	162.7	9	18.1
17	23-jan-2020	3.9	ABC + liftput C	145.9	9	16.2
18	27-jan-2020	2.0	ABC + liftput C	147.6	9	16.4
19	29-jan-2020	1.0	ABC	146.3	9	16.3
20	30-jan-2020	15.3	ABC	171.9	9	19.1
21	14-feb-2020	9.6	ABC	171.9	9	19.1
22	24-feb-2020	4.4	ABCD + liftput D	324.7	17	19.1
23	28-feb-2020	42.0	ABCD + liftput D	324.7	17	19.1
24	10-apr-2020	21.0	ABCD	382.0	17	22.5
25	01-mei-2020	7.0	BCD	308.4	13	23.7
26	08-mei-2020	105.0	D	274.7	10	27.5
27	21-aug-2020	0.0	Einde bemaling	0	0	0

Tabel 15: Benodigde debieten filterbemaling (strengen)

Periode	Begindatum	Duur periode (dagen)	Bemaling in bouwdeel:	Debiet liftput A [m³/uur]	Debiet liftput C [m³/uur]	Debiet liftput D [m³/uur]
5	15-dec-2019	1.3	ABC + liftput A	15.7		0.0
6	16-dec-2019	2.3	ABC + liftput A	31.4		0.0
7	19-dec-2019	1.0	ABC + liftput A	47.5		0.0
8	20-dec-2019	17.5	ABC + liftput A	63.6		0.0
9	06-jan-2020	1.2	ABC + liftput A	57.7		0.0
10	07-jan-2020	2.8	ABC + liftput A	49.5		0.0
11	10-jan-2020	2.5	ABC + liftput A	49.5	55.0	0.0
12	13-jan-2020	1.4	ABC + liftput A & C	48.2	55.0	0.0
13	14-jan-2020	2.9	ABC + liftput A & C	48.2	55.0	0.0
14	17-jan-2020	3.1	ABC + liftput A & C	48.2	55.0	0.0
15	20-jan-2020	2.2	ABC + liftput C		50.0	0.0
16	22-jan-2020	0.9	ABC + liftput C		50.0	0.0
17	23-jan-2020	3.9	ABC + liftput C		50.0	0.0
18	27-jan-2020	2.0	ABC + liftput C		50.0	0.0
19	29-jan-2020	1.0	ABC			0.0
22	24-feb-2020	4.4	ABCD + liftput D			57.1
23	28-feb-2020	42.0	ABCD + liftput D			57.1
24	10-apr-2020	21.0	ABCD			

In Tabel 16 zijn de bemalingsdebieten uit de vergunning herhaald. Tabel 17 geeft dezelfde tabel, maar dan met debieten van de bemalingsberekening zoals hierboven weergegeven.

Tabel 16: Samenvatting van de bemalingsdebieten in de aanvraag en de vergunning

Periode	Max dag (m³/uur)	Max dag (m³/dag)	Max maand (m³/uur)	Max maand (m³/maand)	Bemalingsduur (d)	Max werk (m³)
ABC+tunnel	222	5 335	210	156 070	56	271 130
ABCD+tunnel	353	8 465	296	220 295	112	761 820
D	226	5 420	205	152 495	42	208 470
Totaal	353	8 465	296	220 295	210	1 241 420

Tabel 17: Samenvatting van de bemalingsdebieten in de nieuwe bemalingsberekening, zonder veiligheidsfactor 10% na 13 januari

Periode	Max dag (m³/uur)	Max dag (m³/dag)		Max maand (m³/maand)	Bemalingsduur (d)	Max werk (m³)
ABC	277	6 643		205 933	81	420 342
ABCD	382	9 169		284 229	74	669 748
D	275	6 594		204 412	105	692 362
Totaal	382	9 169		284 229	260	1 782 452

Het verschil (+40%) kan als volgt worden verklaard:

- het doorlaatvermogen ter plaatse van de bouwput is circa 30% hoger dan ter plaatse van de pompproef bij de Amaliatunnel, waarop de vergunningaanvraag was gebaseerd. Dit leidt tot een toename van het debiet met circa 20%
- andere configuratie van de putten (de deepwells staan verder van de constructie dan in de uitgangspunten van de vergunningaanvraag was opgenomen): circa 10%
- infiltratie in de IT-riolen op zeer korte afstand van de bemaling (meer rondpompen): circa 5%
- langere bouwtijd start (periode van voorpompen en kerstvakantie): circa 5%
- langere bouwtijd eind: circa 5%

Gezien de onzekerheden over de werkelijke verlagingen in de bouwput adviseren wij een veiligheidsmarge van 10% op te nemen voor de debieten in de periode na 29 januari, conform Tabel 18.

Tabel 18: Samenvatting van de bemalingsdebieten in de nieuwe bemalingsberekening, MET veiligheidsfactor 10% na 30 januari

Periode	Max dag (m³/uur)	Max dag (m³/dag)		Max maand (m³/maand)	Bemalingsduur (d)	Max werk (m³)
ABC	304	7 307		226 526	81	430 588
ABCD	420	10 086		312 652	74	736 722
D	302	7 253		224 853	105	761 598
Totaal	420	10 086		312 652	260	1 928 909

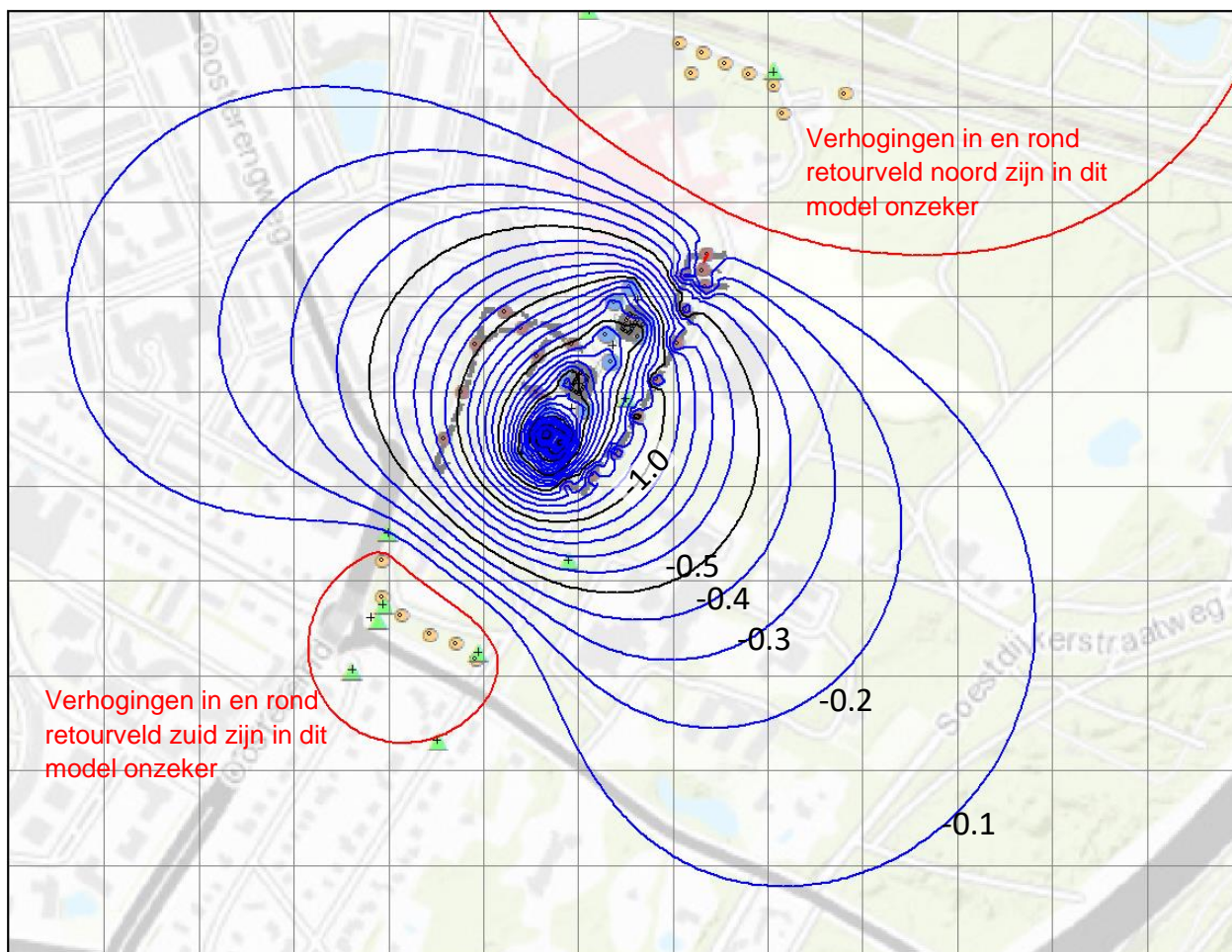
4.5 Effecten op grondwaterstanden in de omgeving

Zoals in paragraaf 3.4.2 is toegelicht is de ondergrond in de omgeving van de bemaling heterogeen. Het doorlaatvermogen van de pakketten is aan de noordzijde van het terrein groter dan aan de zuidzijde. De effecten van de bemaling zijn daarom met drie verschillende analytische modellen uitgerekend.

Berekende effecten rond de bouwput

Onderstaande figuur toont de berekende veranderingen van de grondwaterstand op het moment met de grootste debieten. Dat is de situatie met een hoge natuurlijke grondwaterstand (NAP+1,4 m), aan het eind van de periode waarin de deepwellbemaling voor de vloeren van de bouwdelen A, B, C en D aan staat, en de strengenbemaling voor liftput D (eind periode 23, circa 8 april). De effecten zijn berekend met het model dat is gekalibreerd voor de bouwput en Pb40. Dat model geeft betrouwbare resultaten in de directe omgeving van de bouwput.

Figuur 24 Veranderingen van de grondwaterstand rond de bouwput, op de dag met de grootste effecten (bemaling in bouwdeel ABCD + liftput D). Blauw geeft verlagingen van de grondwaterstand aan, rood verhogingen. De gebieden met verhogingen zijn met dit model onzeker. Grid: 100 m.

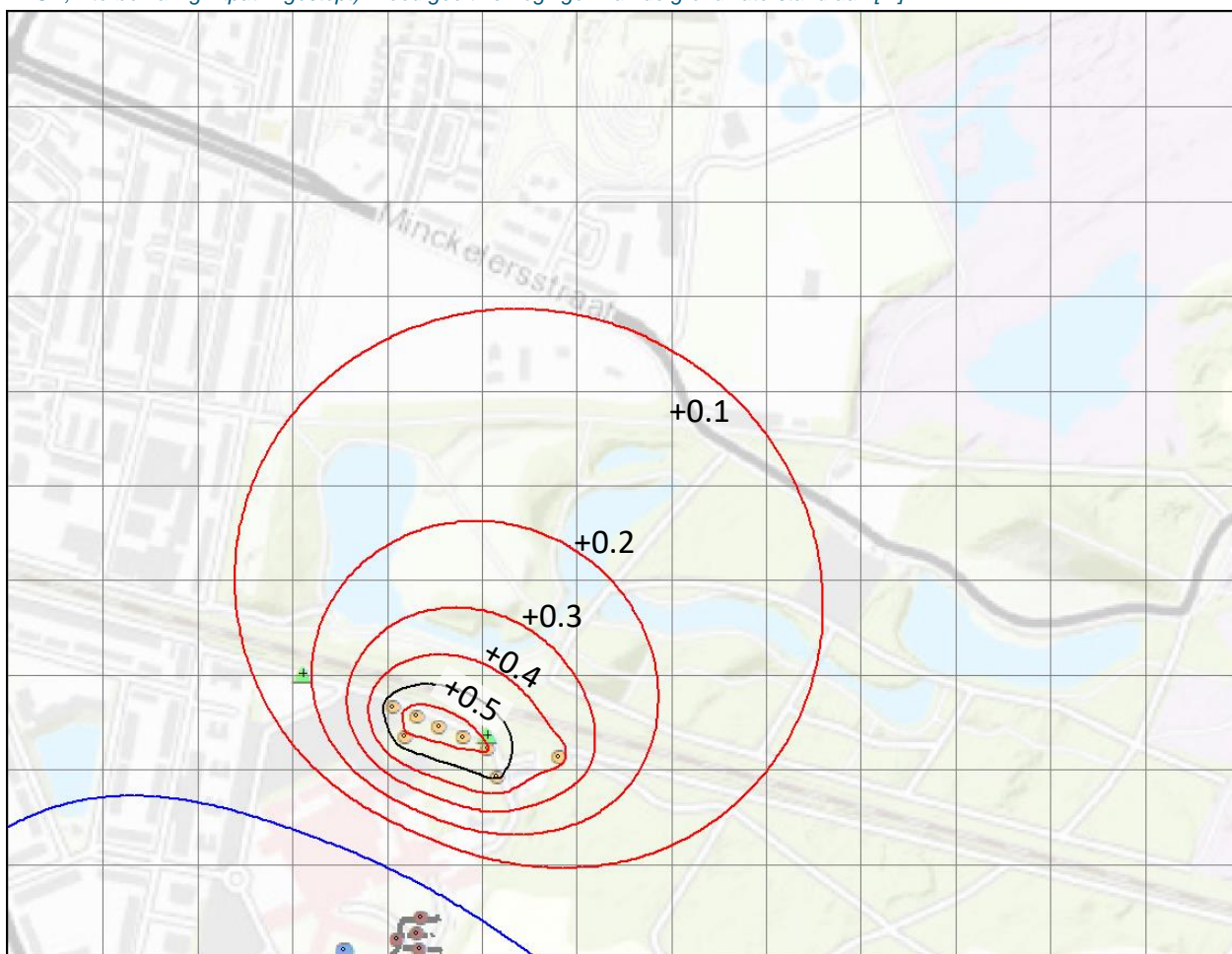


Berekende effecten rond retourveld Noord

Onderstaande figuur toont de berekende veranderingen van de grondwaterstand op het moment met de grootste debieten (eind periode 24, circa 28 april, 60% retourbemaling in retourveld Noord, 230 m³/uur). De effecten zijn berekend met het model dat is gekalibreerd voor dit retourveld. Uit de berekening volgt dat de grootste verhoging van de grondwaterstand circa 0,6 m bedraagt. Dat betekent dat in een natte situatie (natuurlijke grondwaterstand NAP+1,4 m) een grondwaterstand wordt bereikt van NAP+2,0 m. Daarmee blijft de grondwaterstand ruim onder de maximaal toelaatbare grondwaterstand bij het spoor van NAP+2,7 m.

Als bij retourveld Zuid grenswaarden zouden worden overschreden is een verdere verhoging van het debiet in retourveld Noord mogelijk zonder de grenswaarde te overschrijden. Of het technisch mogelijk is (leidingweerstand, putweerstand etc.) zal door de aannemer in de praktijk moeten worden vastgesteld.

Figuur 25 Veranderingen van de grondwaterstand rond retourveld Noord, op de dag met de grootste effecten (bemaling in bouwdeel ABCD, filterbemaling liftput D gestopt). Rood geeft verhogingen van de grondwaterstand aan [m].



Berekende effecten rond retourveld Zuid

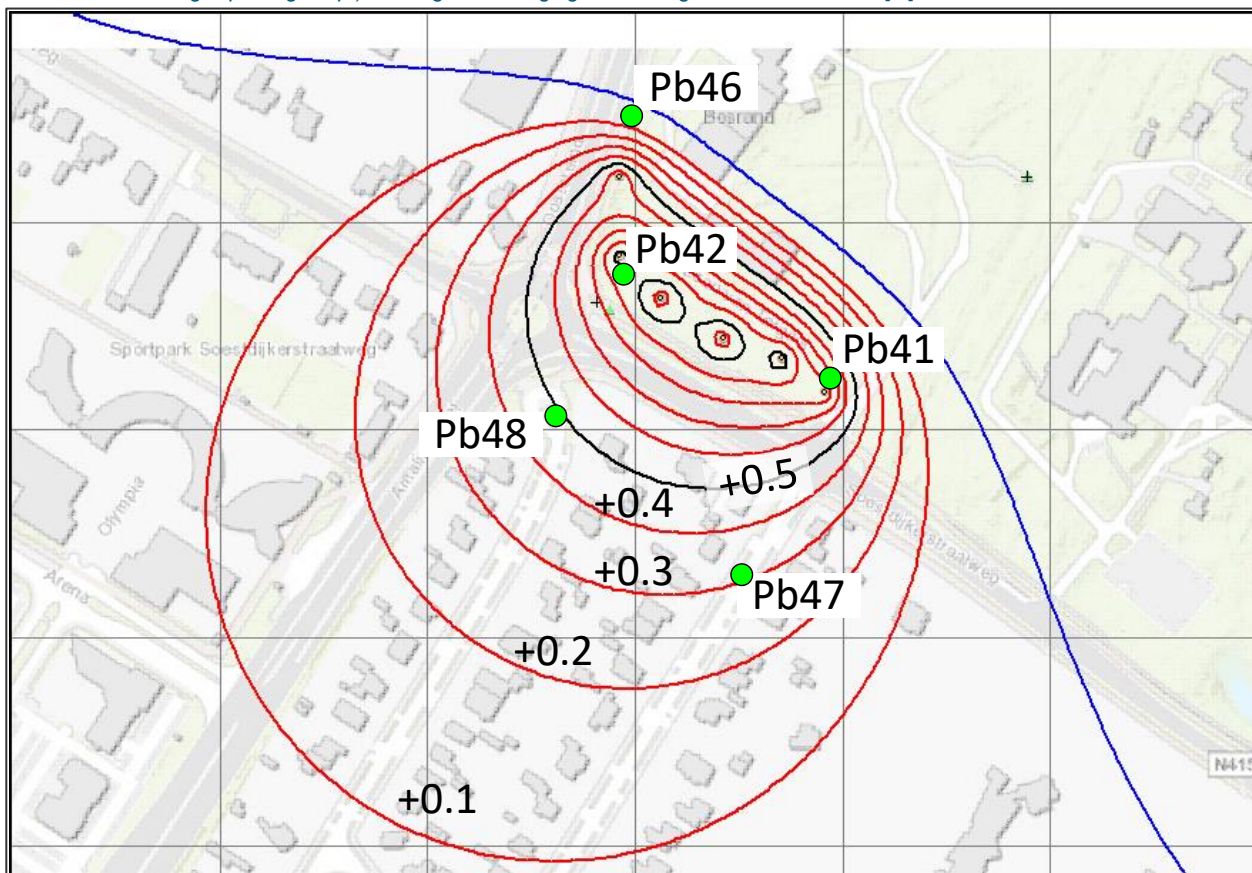
Onderstaande figuur toont de berekende veranderingen van de grondwaterstand op het moment met de grootste debieten (eind periode 24, circa 28 april, 40% retourbemaling in retourveld Zuid, 150 m³/uur). De effecten zijn berekend met het model dat is gekalibreerd voor retourveld Zuid, aan de peilbuizen Pb47 en Pb48. Uit de berekening volgt dat de grootste verhogingen van de grondwaterstand op korte afstand van het retourveld circa 0,9 m bedraagt. Uitgaande van een natuurlijke grondwaterstand van NAP+1,4 m wordt de maximale grondwaterstand dan NAP+2,3 m. Voor korte afstanden van de retourputten is dit waarschijnlijk een overschatting (zie paragraaf 3.4.8). Het is onder de grenswaarden die zijn gesteld voor de wegen en de Amaliatunnel (NAP+2,7 m).

Volgens de modelberekening worden de grenswaarden bij de peilbuizen niet overschreden:

- Amaliatunnel, Pb46: grenswaarde NAP+2,7 m. Verwachte maximale grondwaterstand NAP+1,5 m.
- Amaliatunnel, Pb42: grenswaarde NAP+2,7 m. Verwachte maximale grondwaterstand NAP+2,3 m
- Overzijde Soestdijkerstraatweg, Pb48: grenswaarde NAP+2,0 m. Verwachte maximale grondwaterstand NAP+1,9 m
- Overzijde Soestdijkerstraatweg, Pb47: grenswaarde NAP+2,0 m. Verwachte maximale grondwaterstand NAP+1,7 m.

Het maximaal toelaatbare debiet in retourveld Zuid is 50% van het maximumdebiet uit de deepwells: circa 190 m³/uur. Bij infiltratie van 60% (230 m³/uur) wordt bij peilbuizen Pb47 en Pb48 de grenswaarde overschreden, dus dat zal moeten worden voorkomen.

Figuur 26 Veranderingen van de grondwaterstand rond retourveld Zuid, op de dag met de grootste effecten (bemaling in bouwdeel ABCD, filterbemaling liftput D gestopt). Rood geeft verhogingen van de grondwaterstand aan [m]



4.6 Beheersmaatregelen tegen overschrijding van de maximale grondwaterstanden en andere onvoorziene gebeurtenissen

De herberekende debieten via de deepwellbemaling kunnen geïnfiltreerd worden in het noordelijke en zuidelijke veld. Hierbij zal afhankelijk van de fase steeds het noordelijke veld worden benut en het zuidelijke veld minimaal. In de periode maart en april zullen beide velden wel maximaal benut moeten worden. Het maximaal toelaatbare debiet per retourveld is in die periode:

- retourveld Zuid 50%: circa 190 m³/uur.
- retourveld Noord: meer dan 60% (>230 m³/uur). Of het technisch mogelijk is meer in Noord te infiltreren (leidingweerstand, putweerstand etc.) zal door de aannemer in de praktijk moeten worden vastgesteld.

Gedurende de bemalingsperiode zullen de grenswaarden van de Amaliatunnel (NAP+2,7 m), de kelders van woningen aan de overzijde van de Soestdijkerweg (NAP+2,0 m) en de spoorbaan (NAP+2,7 m) worden gemonitord. De peilbuizen incl. monitoring zijn geplaatst.

Bij een maximale infiltratie in combinatie met een hoge natuurlijke grondwaterstand als gevolg van regenval, wordt de volgende maximale grondwaterstanden verwacht:

- bij de Amaliatunnel NAP+2,0 m
- aan de overzijde van de Soestdijkerweg: NAP+1,9 m
- bij de spoorbaan: NAP+2,0 m

Beheersmaatregelen bij overschrijding van de grenswaarden:

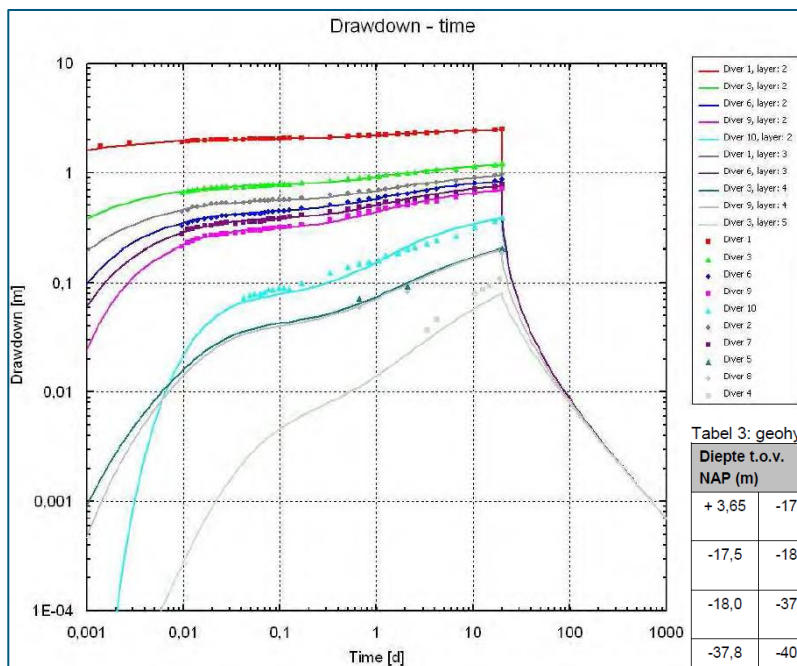
- Herverdeling van de retourdebieten over het noordelijke en zuidelijke retourveld
- Ontlasten van deepwellbemaling en de retourbemaling, door extra filterbemaling in bouwput D te plaatsen, hiermee 50 m³ te onttrekken en te lozen op het gemeenteriool bij de Amaliatunnel
- Ontlasten van de retourbemaling door een deel van het onttrokken grondwater te lozen d.m.v. maaiveldinfiltratie op eigen terrein
- De volledige bemaling afvoeren via het gemeente-riool naar de vijvers van de Anna's Hoeve, alwaar het water infiltreert.

Bijlage 1: Eerder gehanteerde bodemparameters

Pompproef Amaliatunnel (Spaans Watermanagement B.V. Bemalingsadvies ten behoeve van de aanleg van een half open tunnel op de kruising Soestdijkerstraatweg en Oostereind te Hilversum, PHS/8103 2 19-08-2009).

- pompproef met diepwell met filter van NAP-7,5 m tot NAP-17,5 m, debiet 50 m³/uur, duur 20 dagen
- peilbuizen op afstanden 2, 10, 19,5, 29,4 en 99,7 m, met filters op circa NAP-4, NAP-9, NAP-24 en NAP-84 m
- goede overeenkomst tussen gemeten en met analytisch model MLU gesimuleerde verlagingen. Wij achten de resultaten betrouwbaar.

Resultaten:



Tabel 3: geohydrologische parameters op basis van de pompproef

Diepte t.o.v. NAP (m)	Grondsoort	Benaming Laagaanduiding	Geohydrologische parameters
+ 3,65	-17,5	Zand, matig tot grof	Freatisch pakket S2 K = 13,0 m ² /dag μ = 0,15 (-)
-17,5	-18,0	-	Weerstandslaag ¹ C3 c = 0,50 dagen
-18,0	-37,8	Zand, matig tot grof	Freatisch pakket S3 KD = 560 m ² /dag μ = 1,5*10 ⁻³ (-)
-37,8	-40,0	Klei	Scheidende laag kleilenzen C4 c = 90 dagen
-40,0	-50,0	Zand, matig tot grof	1 ^e W.V.P. S4 KD = 320 m ² /dag μ = 2,0*10 ⁻⁴ (-)
-50,0	-54,0	Klei, licht grindig	Scheidende laag klei C5 c = 100 dagen
-54,0	-140,0	Zand, fijn tot grof	2 ^e W.V.P. S5 KD = 1720 m ² /dag μ = 1,0 * 10 ⁻³ (-)
-140,0		Klei	Geohydrologische basis c = oneindig

¹: weerstandslaag ter modellering van de onvolkomenheid van de bron

Layers
Number of aquifers
5
Top layer elevation
4

Boundary conditions
☐ Top aquitard present
☒ Bottom aquitard present
☐ Impervious
☒ Impervious
☐ Leaky
☐ Leaky

Aquifer	Base [m]	Thickness [m]	Kh [m/d]	Code	T [m²/d]	#	Code	S' [-]	#
1	-5	9	13	T1	117		S1	0.2	
	-5.1	0.1	1	c2	0.1		S'2	0	
2	-17.5	12.4	13	T2	161.2		S2	0.2	
	-18	0.5	1	c3	0.5		S'3	0	
3	-37.8	19.8	28.28283	T3	560		S3	0.001	
	-40	2.2	0.024444	c4	90		S'4	0	
4	-50	10	32	T4	320		S4	0.001	
	-54	4	0.04	c5	100		S'5	0	
5	-140	86	20	T5	1720		S5	0.001	
	-150	10	0.01	c6	1000		S'6	0	