



Gemeente Rotterdam

Gemeentewerken

Ingenieursbureau

Grondwater Stationsplein

**verandering in grondwaterstand door
realisatie van ondergrondse objecten**

Documentcode

R.2009.032.RC

Datum

6 juli 2010

Versie

definitief

Opsteller

G. van der Hout

Paraaf

Coordinator Geotechniek

G. Hannink

Paraaf



Inhoudsopgave

1.	Inleiding	5
2.	Situatiebeschrijving	7
2.1	Nulsituatie, vóór aanvang werkzaamheden RandstadRail/Rotterdam CS	7
2.2	Huidige situatie, na realisatie van CRS, MCS en WT	8
2.3	Beschikbare meetgegevens	9
3.	Aanpak modelberekeningen	11
3.1	Uitgangspunten	11
3.2	Modelbeschrijving	12
3.3	Aanpassingen aan bestaand MCS-model	13
3.4	Modelinvoer	14
4.	Modelberekeningen	17
4.1	Afregelen van het model	17
4.2	Fase 0: nulsituatie	17
4.3	Fase 1: huidige situatie, na realisatie CRS, MCS en WT	18
4.4	Fase 2: na overkapping NS-emplacement, geen grondwateraanvulling	19
4.5	Fase 2a: na overkapping NS-emplacement, geringe grondwateraanvulling	20
4.6	Fase 3: na Kruispleingarage, Verbindingstunnel en fietsenstalling	20
4.7	Fase 4: na ontwikkelingen Rotterdam Central District	20
5.	Aanvullende berekeningen	21
5.1	Maatregelen ter compensatie van freatische grondwaterstands dalingen	21
5.2	Lage freatische grondwaterstanden Weena/zuidzijde Stationsplein	22
6.	Conclusies en aanbevelingen	25
7.	Referenties	27



Bijlage 1: Overzicht gemeten freatische peilbuizen

Bijlage 2: Gemeten freatische grondwaterstanden

Bijlage 3: Beschrijving gemeten freatische grondwaterstanden en effect van bouwwerkzaamheden

Bijlage 4: Overzicht jaargemiddelde freatische grondwaterstanden

- a. Jaargemiddelde grondwaterstand 2003 (nulsituatie)
- b. jaargemiddelde 2009 (huidige situatie)
- c. verschil 2003-2009 per peilbuis

Bijlage 5: Modelresultaten

- 5-1 modelresultaten fase 0 (nulsituatie)
- 5-2 modelresultaten fase 1 (huidige situatie)
- 5-3 verschil modelresultaten fase 0 -1
- 5-4 modelresultaten fase 2
- 5-5 verschil modelresultaten fase 1 en 2
- 5-6 modelresultaten fase 2a
- 5-7 verschil modelresultaten fase 1 en 2a
- 5-8 modelresultaten fase 3
- 5-9 verschil modelresultaten fase 2 - 3
- 5-10 modelresultaten fase 4
- 5-11 verschil modelresultaten fase 3 - 4

Bijlage 6: Dwarsprofielen over NS-emplacement

Bijlage 7: Modelresultaten met drainerend gebied

- 7-1 modelresultaten drainerend gebied fase 0 (nulsituatie)
- 7-2 modelresultaten drainerend gebied fase 1 (huidige situatie)
- 7-3 verschil modelresultaten drainerend gebied fase 0 -1
- 7-4 verschil modelresultaten drainerend gebied fase 1 en 2
- 7-5 verschil modelresultaten drainerend gebied fase 2 - 3
- 7-6 verschil modelresultaten drainerend gebied fase 3 - 4

Bijlage 8: Achtergrondinformatie BIO-diep model

Bijlage 9: Vergelijking met eerdere modelresultaten

Bijlage 10: Rioolkaart Stationsplein e.o.

1. Inleiding

Door de vele werkzaamheden op en rond het Stationsplein in Rotterdam is de freatische grondwaterstand aan voortdurende verandering onderhevig.

Zo is bijvoorbeeld de freatische grondwaterstand in de Conradstraat ten zuiden van de bouwput Conradstraat (hierna CRS) sinds augustus 2005 significant verlaagd. Ten noorden van de bouwput is, na een kortdurende verhoging, de freatische grondwaterstand ongeveer gelijk gebleven. De verlaging is vermoedelijk het gevolg van bouwactiviteiten ter plaatse, met name van de barrièrewerking van de ontvangtschacht voor de boortunnel en de aansluitende combiwanden.

Er is sprake van barrièrewerking als de bestaande freatische grondwaterstroming wordt belemmerd door ondergrondse bouwwerken. Deze constructies functioneren als ondoorlatende objecten in de bodem. Hierdoor kan stroomopwaarts van de constructies de freatische grondwaterstand gaan stijgen, terwijl stroomafwaarts juist een daling kan optreden. De mate van invloed wordt bepaald door de verticale ligging en de verticale afmetingen van de constructie (m.a.w. geheel of gedeeltelijk afsluiten van de bodemlaag waar freatische grondwaterstroming plaatsvindt) en de oriëntatie t.o.v. de stromingsrichting.

Voor zo ver thans valt te overzien, zouden de veranderingen van de freatische grondwaterstand op en rond het Stationsplein vanwege de vele bouwactiviteiten wel eens een permanent karakter kunnen hebben. De bouwkuipwanden van Conradstraat en het Metrostation CS (hierna MCS) en deels van de Weenatunnel blijven permanent in de ondergrond achter. De komende jaren zullen er nog veel bouwactiviteiten op en rond het Stationsplein worden uitgevoerd die invloed zullen hebben op de freatische grondwaterstand

De veranderingen van de freatische grondwaterstand hebben de afgelopen jaren enkele malen geleid tot wateroverlast in de kelder van het voormalige NS-station Rotterdam CS. Aan de zuidzijde van het Stationsplein worden aanhoudend lage freatische grondwaterstanden gemeten, wat problemen gaf met de vergunningseisen voor de bemalingen voor de Weenatunnel en MCS. Ook is er mogelijk een verband tussen de lage freatische grondwaterstanden en de opgetreden zetting van de noordoosthoek van het Groothandelsgebouw.

Gelet op bovenstaande ontwikkelingen kunnen de volgende vragen geformuleerd worden:

- Zijn de veranderingen in de freatische grondwaterstand, die gemeten zijn rond het Stationsplein, veroorzaakt door barrièrewerking van de ondergrondse objecten die in het kader van RandstadRail en Rotterdam Centraal al zijn gerealiseerd (Conradstraat, MCS, Weenatunnel)?
- Zijn er nog meer effecten op de freatische grondwaterstand te verwachten door geplande toekomstige ontwikkelingen (de fietsenkelder, overkapping van het NS-emplacement en ontwikkelingen in het kader van Rotterdam Central District)?
- Zijn er maatregelen te ontwikkelen die kunnen leiden tot herstel van het freatisch grondwaterniveau in het gebied ten zuiden van het NS-emplacement?

In 2006 zijn modelberekeningen gedaan om het opstuwings­effect van de bouwkuipen op de freatische grondwaterstand te onderzoeken. Daarbij is gebruik gemaakt van het grondwatermodel MCS, wat destijds is opgesteld voor het onderzoek naar de pleistocene grondwaterstromingen rondom het vrieslichaam. Dit model is inmiddels verder verbeterd op basis van ervaring die is opgedaan bij de pompproef en de controleproef voor MCS. Met het verbeterde model zijn opnieuw berekeningen uitgevoerd om de oorzaak van de huidige lage freatische grondwaterstanden beter te kunnen analyseren. Daarnaast is ook vooruit gekeken naar de toekomstige situatie.

In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt het freatisch grondwatersysteem beschreven vóór aanvang van de werkzaamheden, alsmede de werkzaamheden die in het kader van CRS, MCS en WT hebben plaatsgevonden. Aan de hand van gemeten freatische grondwaterstanden wordt geanalyseerd welke veranderingen in freatische grondwaterstanden hierdoor zijn opgetreden. Hoofdstuk 3 beschrijft de aanpak van het modelonderzoek. In hoofdstuk 4 worden de resultaten beschreven. Hoofdstuk 5 gaat in op aanvullende berekeningen, voor onder andere maatregelen voor herstel van de grondwaterstand. In hoofdstuk 6 worden conclusies en aanbevelingen gegeven.

2. Situatiebeschrijving

2.1 Nulsituatie, vóór aanvang werkzaamheden RandstadRail/Rotterdam CS

In de situatie voor aanvang van de werkzaamheden voor RandstadRail en Rotterdam Centraal, stroomt het freatische grondwater vanuit het hoger gelegen zandpakket onder het NS-emplacement zowel in noordelijke als zuidelijke richting af. Dit is in [1] onderbouwd met meetreeksen van peilbuizen uit het achtergrondmeetnet.

Onder het inmiddels gesloopte stationsgebouw van NS bevonden zich een reizigerstunnel en de fietstunnel, met de bovenkant van de vloer op een vergelijkbaar niveau als het omringende maaiveld (NAP +0,5 m). Gezien de hoogte van het NS-emplacement (perronniveau ca. NAP + 4,2 m) en het grondwaterpeil ter plaatse (NAP -1,4, zie bijlage 2, tabel B2-10) lagen deze waarschijnlijk geheel boven het freatisch grondwater, waardoor er geen sprake is van barrièrewerking door deze objecten. Bovendien is de oriëntatie van deze tunnels loodrecht op de grondwaterstromingsrichting.

De inmiddels gesloopte fietsenkelder onder het oude stationsgebouw had een niveau van onderkant vloer van ca. NAP -3,1 m. Gezien de dikte van het zandpakket onder het NS-emplacement (ca. 10 m) sloot dit object de freatische grondwaterstroom gedeeltelijk af.

Echter direct langs het NS-emplacement bevinden zich in de nulsituatie (parkeer)kelders onder de IJshal, het Groothandelsgebouw en het Postgebouw, die het freatische pakket aan de bovenzijde afsluiten. Mogelijk bevindt zich onder deze gebouwen een met water gevulde spleet als gevolg van het nazakken van grond, waardoor er toch nog enige freatische grondwaterstroming kan plaatsvinden, maar dit is moeilijk te verifiëren. Ook het oude ondergrondse metrostation (met het staartspoor) vormde in deze situatie een barrière en sloot het freatische pakket gedeeltelijk af. De bovenzijde van het oude station lag op NAP -2,5 m, wat betekent dat er gezien de freatische grondwaterstand geen stroming over de tunnel heen mogelijk was. Ook in dit geval geldt dat er mogelijke freatische grondwaterstroming plaatsvond via een spleet onder het metrostation door.

De oude Weenatunnel vormde in de nulsituatie ook een barrière, gezien de geringe gronddekking op het gesloten deel van de tunnel.

Verder zijn er parkeerkelders onder het gebouw van Nationale Nederlanden en van Unilever. Bij beide gebouwen ligt de vloer van de parkeerkelder direct op het dak van de metrotunnel, zodat geen freatische grondwaterstroming mogelijk is. Ook hier wordt het gehele freatische pakket geblokkeerd.

Zuidelijk van het Weena bevinden zich kelders onder een deel van de gebouwen van het Bouwcentrum, onder het Westin hotel, onder het Plaza en onder het Schouwburgplein.

De diepte van de genoemde constructies is beperkt tot ca. 4 m (zie tabel 5), waaruit geconcludeerd kan worden dat er in de nulsituatie geen sprake is van barrièrewerking in het eerste watervoerende pakket.

2.2 Huidige situatie, na realisatie van CRS, MCS en WT

In de afgelopen jaren is rond het Stationsplein gewerkt aan het Statenwegtracé in de Conradstraat (onderdeel van RandstadRail), aan de verbouwing van Metrostation CS (eveneens onderdeel van RandstadRail) en aan een nieuwe dubbele Weenatunnel (onderdeel van Rotterdam Centraal).

In de Conradstraat is deels gebruik gemaakt van een diepwandconstructie voor de ontvangtschacht voor de tunnelboormachine en deels van combiwanden voor de aansluiting aan het Metrostation CS. Beide constructies sloten het ophoogpakket af en ook de permanente constructie reikt tot boven de freatische grondwaterstand. Er is een jetgroutwand gerealiseerd, die aansluit op de combiwand van de Conradstraat aan de ene zijde en de parkeergarage onder de Weenahal aan de andere zijde. De bovenkant van de jetgroutkolommen begint echter enkele meters onder de bovenkant van het Holoceen. Aangenomen wordt dat de doorlatendheid van het freatische pakket hierdoor niet verminderd wordt.

Voor de verbouwing van MCS is voor de bouwput grotendeels gebruik gemaakt van een diepwandconstructie tot NAP -38 m, die zowel het freatische ophoogpakket, als het eerste watervoerende pakket geheel afsluit.

De bouwput voor de nieuwe Weenatunnel is grotendeels gevormd door combi- en damwanden. Voor de zuidelijke tunnel is deels gebruik gemaakt van diepwanden tot NAP -41 m, in verband met de aansluiting op de nog te bouwen parkeergarage Kruisplein. Dit diepwandgedeelte vormt een barrière voor zowel de freatische grondwaterstroming als voor de stroming in het eerste watervoerende pakket. Freatische grondwaterstroming over de tunnel heen is in de nieuwe situatie niet mogelijk.

In tabel 1 en 2 is het tijdsplan van de voor de grondwaterstand belangrijkste werkzaamheden aangegeven, met name de verschillende bemalingen.

Tabel 1: Data bemalingen rond Stationsplein

startdatum	einddatum	type	onderdeel	totaal [m ³]
1-6-2005	1-7-2005	freatisch	riolering Conradstraat	68
17-7-2005	26-8-2005	spanning	suppletiewater Conradstraat	18.000
7-3-2006	10-1-2007	spanning	bouwkuipen Conradstraat	1.742.287
16-1-2007	19-1-2007	spanning	ankers IJshal	28.000
26-8-2005	19-1-2007	freatisch	bouwkuipen Conradstraat	p.m.
22-1-2007	13-7-2009	spanning	Weenatunnel	2.936.037
22-1-2007	13-7-2009	freatisch	Weenatunnel	p.m.
14-5-2007	23-9-2009	freatisch	open bemaling MCS	19.776
10-5-2007	23-8-2007	spanning	spielgelbronnen tbv vrieswand	113.932
17-7-2007	23-10-2008	spanning	MCS onttrekkingsbron 1 en 2 tpv moot 12	81.919
30-7-2007	19-2-2009	spanning	MCS onttrekkingsbron 3 en 4 tpv moot 5/6	181.848
27-12-2007	1-4-2008	spanning	GHG tbv lekkage diepwand CS	122.640
21-8-2008	3-3-2009	spanning	MCS bouwkuip B	171.527
21-1-2009	3-3-2009	spanning	MCS RET-terrein naar Weenatunnel	36.040



3. Aanpak modelberekeningen

3.1 Uitgangspunten

Gelet op de onderzoeksvragen zijn de volgende situaties doorgerekend:

- fase 0: nulsituatie, voordat er werkzaamheden waren rondom het station;
- fase 1: situatie waarin het Statenwegtracé, de uitbreiding van het Metrostation CS en de nieuwe Weenatunnel zijn gerealiseerd (huidige situatie);
- fase 2: de situatie dat, na fase 1, ook het NS-station inclusief overkapping is gerealiseerd. Hierbij is een subvariant doorgerekend waarbij geen regenwater aan het freatische grondwater ten goede komt en een subvariant waarbij 25% van het regenwater als grondwateraanvulling dient. Beide varianten worden bekeken omdat nog niet duidelijk is hoe het regenwater dat op de overkapping valt, zal worden afgevoerd;
- fase 3: de situatie waarbij ook de ondergrondse fietsenstalling tussen MCS en de Weenatunnel en de parkeergarage Kruisplein, inclusief verbindingstunnel, zijn gerealiseerd;
- fase 4: de situatie waarbij het plan Rotterdam Central District geheel is gerealiseerd. Dit omvat hoogbouw met meerlaagse ondergrondse parkeergarages op de locaties Schaatsbaan, Conradstraat (noordzijde), Weenapoint, Delftseplein en Schiekade (zie par. 3.4).

Voor de nulsituatie zijn de modelresultaten vergeleken met de jaargemiddelde freatische grondwaterstanden gemeten in het achtergrondmeetnet in 2003. Voor fase 1 zijn de modelresultaten vergeleken met de gemeten freatische grondwaterstanden gemiddeld over het jaar 2009. Hiermee is het model voor beide situaties gekalibreerd. Daarna zijn ook de verschillen tussen de gemeten freatische grondwaterstanden in 2003 en 2009, vergeleken met de verschillen tussen de modelresultaten van fase 0 en fase 1. Doel hiervan is om te onderzoeken of de gemeten veranderingen in de freatische grondwaterstand ook terug te vinden zijn in de modelresultaten en veroorzaakt worden door de barrièrewerking van ondergrondse objecten. Fase 2 t/m 4 zijn daarna doorgerekend om na te gaan of toekomstige ontwikkelingen de freatische grondwaterstand nog verder zullen beïnvloeden.

Hoewel er ook sprake is van barrièrewerking in het eerste watervoerende pakket, zal dit naar verwachting veel minder consequenties hebben. Bij de modelberekeningen is hier wel rekening mee gehouden, door ondoorlatende objecten indien aanwezig ook in diepe lagen te modelleren.

Bemalingen in het freatische of eerste watervoerende pakket zijn niet meegenomen in het model, zodat alleen de invloed van barrièrewerking op de freatische grondwaterstand wordt berekend.

Het onderzoek is gericht op het gebied ten zuiden van het NS-emplacement. Na afronding hiervan kan het model worden uitgebreid, om effecten voor het gebied ten noorden het station te onderzoeken.

In 2006 zijn er ook modelberekeningen met het MCS-model gedaan om het opstuwingseffect van de bouwputten/eindsituatie op de freatische grondwaterstand te onderzoeken [3]. De uitkomsten verschilden aanzienlijk van de huidige modelresultaten. Dit is nader toegelicht in bijlage 9.

3.2 Modelbeschrijving

Als uitgangspunt is het MicroFem-model 'MCS met donk' (17-2-2009) gebruikt. Dit model is opgezet voor de bepaling van de pleistocene grondwaterstroming rond de vrieswand van het Metrostation CS. Voor het gebied rondom het Stationsplein wordt in dit model globaal de bodemopbouw gehanteerd zoals weergegeven in tabel 4.

Tabel 4: Bodemopbouw in MCS-model

	Bovenkant [m t.o.v. NAP]	Dikte [m]	k [m/dag]	kD [m ² /dag]	weerstand [dagen]
Antropogeen	-0,75	3,25	2	7	
Holoceen	-4,0	13			6.300
Pleistoceen	-17,0	18	50	900	
Kedichem	-35,0	17			4.300
2 ^e wvp	-52,0	185	ca.. 10	1750	

De geohydrologische parameters zijn deels overgenomen uit het BioDiep model, wat is onderbouwd in bijlage 8. Voor de deklaag is de dikte overgenomen uit Regis (versie 3.2). De weerstand is gebaseerd op geologische kaarten ([bron:TNO-NITG, 1998]. Bij de kalibratie is aan de hand van een groot aantal peilbuizen uit het achtergrondmeetnet van Gemeentewerken Rotterdam de weerstand geoptimaliseerd. De c-waarde van de deklaag in het gebruikte model varieert ruimtelijk tussen 500 (dicht bij de rivier) en 11.500 dagen. Voor het eerste watervoerende pakket is de dikte overgenomen uit Regis. De doorlatendheid van het eerste waterwatervoerende pakket is afgeleid uit pompproeven in het gebied [bron: Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond (DINO), TNO en pompproeven uitgevoerd door IGWR]. Met de waarden uit de pompproeven is een gebiedsdekkende interpolatie gemaakt, waarbij gelet is op de wordingsgeschiedenis van de pleistocene zanden. De k-waarden in het gebruikte model variëren ruimtelijk tussen 40 en 60 m/dag. De Formatie van Kedichem (thans: Waalre) is voor zowel de laagdikte als de weerstand gebaseerd op Regis. Bij de kalibratie met beschikbare peilbuismetingen is de weerstand aangepast op basis van beschikbare gebiedsinformatie. De c-waarden variëren in het gebruikte model tussen 1.500 en 8.000 dagen.

Naast de regionale kalibratie is het model gekalibreerd voor het specifieke gebied rondom het Stationsplein en zijn de invloed van de donk en het voormalig zandkanaal van de metro meegenomen. Met de gegevens uit de controleproef zijn daarna de parameters voor de tussenzandlaag aangepast.

3.3 Aanpassingen aan bestaand MCS-model

Het MCS-model was opgezet voor grondwaterstroming in het Pleistoceen, en niet voor modellering van freatische grondwaterstromen. Ten behoeve van het voorliggende onderzoek is het model op een aantal punten aangepast, nl:

- Er is tijdsafhankelijk gerekend met een zogenaamde freatisch top-systeem. Het doorlaatvermogen (kD) van de toplaag (de bovenste modellaag) is bij dit systeem afhankelijk van de freatische grondwaterstand, omdat alleen met de dikte van het watervoerende deel van de toplaag wordt gerekend. De bovenste modellaag mag hierbij niet droog komen te staan. Om dit te voorkomen is in het gehele model op locaties met een dunne antropogene laag (aquifer modellaag 1 < 1,5 m) deze 1 m dikker gemaakt, waarbij de deklaag (aquitard modellaag 2) 1 m dunner is gemaakt. Zodoende behouden modellaag 1 en 2 tezamen dezelfde dikte.
- De dikte van het antropogene pakket op het NS-emplacement en de gebieden rondom het Stationsplein is aangepast aan de hand van de beschikbare informatie;
- Het doorlaatvermogen van de ondergrond ter plaatse van ondergrondse objecten is op 0 m/dag gesteld. Om de contouren van deze objecten beter te kunnen volgen, is het rekengrid aangepast en waar nodig verfijnd;
- De neerslag op het NS-emplacement en het omliggende gebied is aangepast aan reële waarden;
- In het bestaande model was op het Stationsplein en de directe omgeving daarvan een drainagesysteem ingevoerd. In de toplaag wordt dan modelmatig freatisch grondwater onttrokken (gedraineerd), waarbij een opgegeven drainageniveau en een intreeweerstand worden gehanteerd. De berekende freatische grondwaterstand ligt dan dicht bij het drainageniveau. In het interessegebied (Stationsplein en directe omgeving), is in het nieuwe model geen drainagesysteem ingevoerd, omdat bij het bouwrijpmaken van het Stationsplein en omgeving de mogelijk drainerende systemen en riolering zijn verwijderd. De riolering die nog wel aanwezig is, is recent vernieuwd (zie bijlage 10) en zal geen drainerende werking hebben;
- De drainageniveau's van de gebieden ten noorden en zuiden van het NS-emplacement zijn aangepast aan de gemeten freatische grondwaterstanden, deze zijn iets lager dan het heersende polderpeil. Mogelijk wordt hier de freatische grondwaterstand beïnvloed door lekkage van oude riolering. Dit onderbouwt het invoeren van een drainagesysteem in het model op deze locaties. De drainageweerstand zijn in deze gebieden aangepast tot meer reële waarden.
- De Westersingel is toegevoegd als open water (peil: NAP -2,4 m);
- In het zandkanaal van de metro is anisotropie ingevoerd.

3.4 Modelinvoer

Bodemopbouw

- Ter plaatse van het NS-emplacement is de dikte van het antropogene pakket in het model ca. 10 m, in de Provenierswijk ca. 2 m en ter plaatse van het Stationsplein (buiten de invloedssfeer van het oude metrostation en de bestaande Weenatunnel) ca. 4 m.
- De doorlatendheid (k-waarde) van het freatisch pakket (de antropogene ophooglaag) is gevarieerd bij het afregelen van het model. De beste overeenkomst tussen berekende en gemeten waarden is een k-waarde van 1,5 m/dag op het NS-emplacement en een k-waarde van 2 m/dag buiten het NS-emplacement. Dit kan worden onderbouwd door het feit dat er buiten het NS-emplacement meer puin aanwezig is in het antropogene pakket.
- De metro is ingevoerd als 'zandkanaal', waarbij lokaal het freatisch pakket dikker is dan in de omgeving. Het freatisch pakket reikt hier vanaf maaiveld tot aan de onderzijde van de metrobus op ca. NAP -13 m. Als k-waarde is 1 m/dag aangehouden, als gemiddelde van het doorlatende zand boven en onder de metrobus en de ondoorlatende metrobus zelf. In het zandkanaal is een anisotropie aangehouden van 1:10 in breedte:lengterichting; de horizontale doorlatendheid dwars op het kanaal is slechts 10% van de horizontale doorlatendheid in de lengterichting van het kanaal.

Neerslag

Voor de effectieve neerslag (grondwateraanvulling) zijn de volgende modelparameters gebruikt:

- 1,5 mm/dag op het NS-emplacement (70% van de gemiddelde jaarlijkse neerslag van 800 mm/jaar). In de huidige situatie zijn alleen de perrons deels overkapt, het water dat hier op valt, wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. De hoeveelheid neerslag is gevarieerd bij het afregelen van het model;
- 0,05 mm/dag voor het gebied op en direct rond het Stationsplein (vrijwel alle neerslag wordt afgevoerd van het verharde gebied; slechts 2,5% werkt als grondwateraanvulling);
- 0,1 mm/dag rond het NS-emplacement.

In fase 2 is de kapconstructie van de OV-terminal en de overkapping over de sporen ingevoerd in het model. Uitgangspunt hierbij is dat er onder de kapconstructie geen grondwateraanvulling uit neerslag plaatsvindt, de effectieve neerslag is 0 mm/dag. Er is ook een variant doorgerekend waarbij 25% van de neerslag (0,375 mm/dag) als grondwateraanvulling dient.

Drainageniveau's en weerstanden

In het model is rondom het NS-emplacement drainage in het topsysteem ingevoerd:

- Provenierswijk drainageniveau NAP -2,7 m, intreeweerstand 500 dagen
- Oude Westen drainageniveau NAP -2,6 m, intreeweerstand 500 dagen
- Lijnbaankwartier drainageniveau NAP -2,7 m, intreeweerstand 500 dagen
- Overig daaromheen drainageniveau NAP -2,7 m, intreeweerstand 1000 dagen

Grondwateronttrekkingen

In de modelberekeningen zijn geen grondwateronttrekkingen ingevoerd. Het effect van (spannings)bemalingen op de freatische grondwaterstand is dus niet zichtbaar in de resultaten.

Ondergrondse objecten

Ter plaatse van de ondergrondse objecten is de doorlatendheid van de ondergrond 0 m/dag. Voor de meeste objecten is dit alleen ingevoerd in het freatisch pakket. De diepe objecten (CRS, MCS, Weenatunnel, Kruispleingarage en plot 5 en 6) zijn ook geheel of gedeeltelijk ingevoerd in de Holocene deklaag en het eerste watervoerend pakket. Ook voor de diepe damwanden en diepwanden is een doorlatendheid aangehouden van 0 m/dag.

Ter plaatse van de Statentunnel is de doorlatendheid van het freatische pakket gehalveerd ten opzichte van de waarde op het NS-emplacement. Deze tunnel loopt onder het emplacement door en sluit het pakket gedeeltelijk af.

Tussen de combiwand van de bouwput Conradstraat en de parkeergarage onder de Weenahal is een ondoorlatende jetgroutwand ingevoerd tot enkele meters in het eerste watervoerend pakket.

In tabel 5 zijn de afmetingen van de ondergrondse objecten weergegeven.

Tabel 5: Ondergrondse objecten

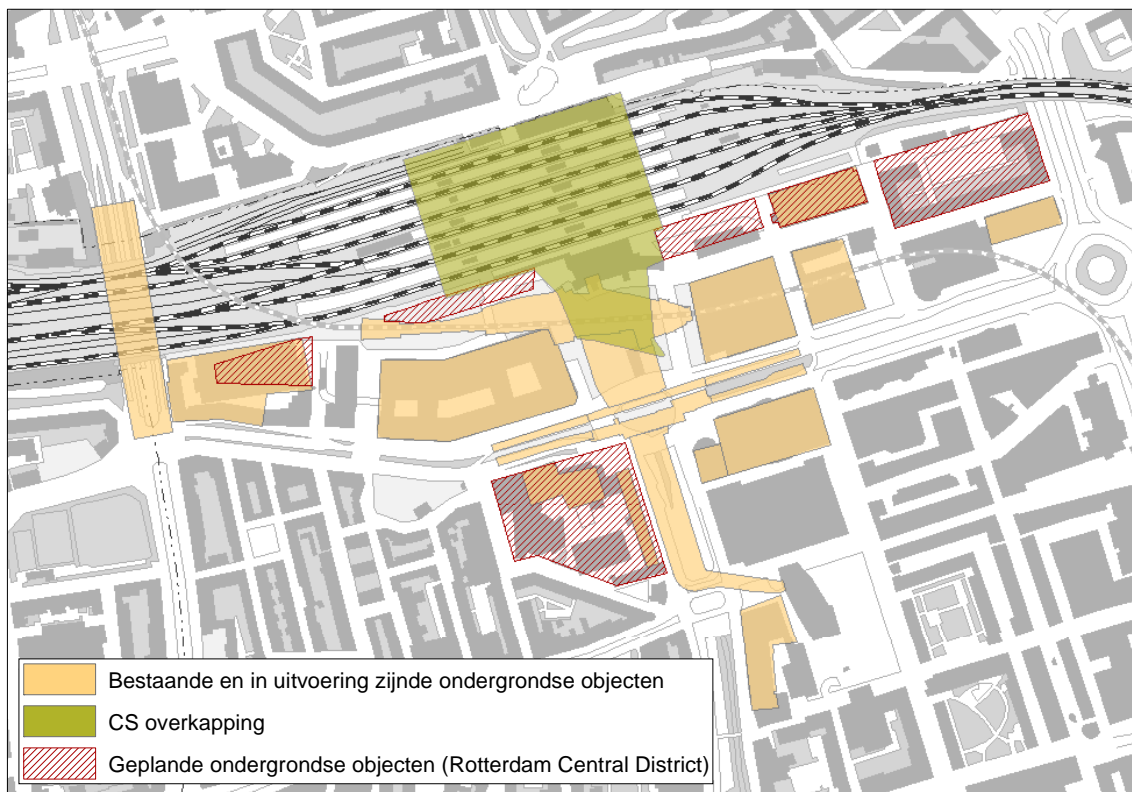
Objecten	Oppervlakte* (m ²)	Diepte** (m t.o.v. maaiveld)	Aanwezig in fase
Parkeergarage Weenahal	10.000	-3/-3,85	0
Parkeergarage Groothandelsgebouw	16.000	-4	0
Parkeergarage gebouw Nationale Nederlanden	8.000	-3,6	0
Parkeergarage gebouw Unilever	5.000	-3,6	0
Parkeergarage Weena	2.000	-3,2	0
Parkeergarage Plaza	6.000	-6,3	0
(Parkeer)kelder Central Post gebouw	3.400	-7	0
Kelders Bouwcentrum gebouwen	5.000	-4	0
Statentunnel	5.000	variabel tot ca -4	0
RandstadRail (Conradstraat)	2.500	-15 (-25)	1
Uitbreiding metrostation CS	10.000	-14 (-39)	1
Verbreding Weenatunnel	5.000	-10 (-28)	1
Parkeergarage Calypso	4.700	-4	3
Parkeergarage Kruisplein	1.500	-21,5 (-43)	3
Fietsenstalling Stationsplein	5.500	-7	3
Plot 1 RCD Schaatsbaanlocatie	4.000	-7	4
Plot 2 RCD Conradstraat	3.512	-10,5	4
Plot 3 RCD Delftseplein	3.105	-10,5	4
Plot 5 RCD Schiekadeblok	23.978	-21,5	4
Plot 6 RCD Weenapoint	23.000	-17,5	4

*Globale schatting vanaf topografische kaart

** Diepte is niveau van onderkant van het object. Indien bekend en van toepassing is tussen haakjes het niveau van de onderkant van permanent achterblijvende dam- of diepwanden aangegeven, wat de werkelijke barrièrewerking bepaalt.

Een aantal objecten die zich in de huidige situatie op het NS-emplacement bevinden, maar inmiddels gesloopt zijn (fietsenstalling, oude en nieuwe voetgangerstunnel) zijn niet in het model ingevoerd. Deze objecten liggen geheel of gedeeltelijk boven de grondwaterspiegel en sluiten, door de grote dikte van de ophooglaag onder het NS-emplacement, het freatisch pakket niet af. Ook de jetgroutwand tussen de bouwkuip in de Conradstraat en de parkeergarage onder de IJshal maken het freatisch pakket niet minder doorlatend en zijn daarom niet meegenomen in het model.

Voor de nieuwe OV-terminal zal een integrale kapconstructie worden gerealiseerd van 140 bij 250 m², deels over het NS-emplacement. In figuur 1 is de locatie van de kap weergegeven, evenals de locatie van de ondergrondse objecten. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de huidige en de toekomstige situatie.



Figuur 1: Ondergrondse objecten in het Stationsgebied

4. Modelberekeningen

4.1 Afregelen van het model

Allereerst is met het grondwatermodel de nulsituatie doorgerekend, d.w.z. de situatie vóór aanvang van de werkzaamheden. De berekende freatische grondwaterstanden zijn vergeleken met de metingen in peilbuizen, gemiddeld over het jaar 2003. Hierbij is in eerste instantie gekeken naar de freatische grondwaterstand op het NS-emplacement, die is afgeregeld door de doorlatendheid van het freatisch pakket en de effectieve neerslag op het emplacement te variëren. Daarnaast is ook op het Stationsplein de effectieve neerslag gevarieerd. Een afwijking in de orde van 0,2 à 0,3 m tussen berekende en gemeten waarden wordt acceptabel geacht, aangezien de onderlinge verschillen tussen gemeten freatische grondwaterstanden van nabijgelegen peilbuizen ook in deze orde van grootte kunnen liggen.

Vervolgens is de huidige situatie doorgerekend. Daarbij is in eerste instantie vooral gelet op de effecten in de Conradstraat; in de metingen bleek ten zuiden van de bouwkuip een grote verlaging op te treden (ca. 1,3 m), terwijl er aan de noordzijde nauwelijks opstuwning zichtbaar was (orde 0,1 à 0,2 m). De doorlatendheid van het freatische pakket op zowel het NS-emplacement als direct daarbuiten is daarna nog wat aangepast om een grotere verlaging ten zuiden van de bouwkuip CRS te berekenen, overeenkomstig de metingen. Met deze waarden is de nulsituatie nogmaals doorgerekend, en zijn de neerslaghoeveelheden nogmaals aangepast.

4.2 Fase 0: nulsituatie

De resultaten van de berekening zijn weergegeven in bijlage 5-1. Uit de figuur blijkt dat op het NS-emplacement de berekende freatische grondwaterstand maximaal NAP -1,3 m is. Deze neemt af in zuidelijke richting tot ca. NAP -2,5 m in het Oude Westen en in noordelijke richting tot ca. NAP -2,6 m in de Provenierswijk.

De berekende freatische grondwaterstanden zijn vergeleken met de jaargemiddelde freatische grondwaterstanden van 2003. Voor de meeste peilbuizen zijn de verschillen in de orde van enkele decimeters. Er worden niet consequent te hoge of te lage waarden gemeten.

In de Provenierswijk, in het Oude Westen en rond de Kruiskade zijn de overeenkomsten bij de meeste peilbuizen goed. Als er grote afwijkingen zijn tussen gemeten en berekende waarden, betreft dit peilbuizen die een afwijkende grondwaterstand laten zien ten opzichte van de omgeving.

Ook aan de zuidzijde van het NS-emplacement zijn de overeenkomsten tussen gemeten en berekende waarden goed, in de orde van 0,2 m afwijking. In de Conradstraat zijn de verschillen wat groter (gemeten grondwaterstand 0,3 m en 0,8 m lager dan berekend).

Direct ten zuiden van de Weenatunnel zijn de verschillen groot; de gemeten waarden liggen ca. 2 m lager dan de berekende freatische grondwaterstanden. Verder westelijk langs het Weena (noordelijk van Plaza) zijn de gemeten grondwaterstanden 0,4 à 0,5 m lager dan de berekende waarden.

Over het algemeen zijn de uitkomsten van het model goed te noemen, alleen direct ten zuiden van de Weenatunnel zijn de gemeten freatische grondwaterstanden veel lager dan berekend.

In bijlage 6 is de freatische grondwaterstand in een dwarsprofiel gegeven over het NS-emplacement; beginnend aan de noordgrens van het NS-emplacement en tot aan het MCS. De locatie van het dwarsprofiel is weergegeven in bijlage 6-1. In het dwarsprofiel (bijlage 6-2) is duidelijk het verloop van de freatische grondwaterstand zichtbaar. Op het NS-emplacement is deze ca. 0,4 m hoger dan op het Stationsplein, ten noorden van het oude metrostation.

4.3 Fase 1: huidige situatie, na realisatie CRS, MCS en WT

Voor fase 1 worden in bijlage 5-2 en 5-3 de berekende freatische grondwaterstanden gegeven. In bijlage 5-3b is vanwege de leesbaarheid ingezoomd op de directe omgeving van het Stationplein. In deze bijlagen zijn op de locaties van de peilbuizen (gemeten in 2009) de verschillen tussen berekende en gemeten freatische grondwaterstanden gegeven.

Op het emplacement zijn de overeenkomsten tussen berekende en gemeten waarden goed, evenals in de Provenierswijk, het Oude Westen en rond de Kruiskade. De uitzonderingen blijken ook in deze fase peilbuizen die ten opzichte van de omgeving afwijkende waarden geven.

Direct ten zuiden van het NS-emplacement blijken de berekende waarden ten noorden van de bouwkuip CRS iets te laag (0,2 m) of zelfs te hoog (-0,6 m) te zijn. Ter plaatse van het oude stationsgebouw, zijn de berekende freatische grondwaterstanden 0,4 tot 1 m te laag.

Aan de zuidzijde van de Conradstraat en op het Stationsplein worden freatische grondwaterstanden berekend rond NAP -2,0 m. De gemeten freatische grondwaterstanden zijn hier tussen NAP -3,5 à -4 m. De verschillen tussen gemeten en berekende waarden zijn hier dus groot; deze liggen tussen 1,1 m en 2 m.

Rond het gebouw Delftse Poort zijn de overeenkomsten tussen berekende en gemeten freatische grondwaterstanden goed; de meeste afwijkingen zijn kleiner dan 0,2 m. Direct ten zuiden van de Weenatunnel zijn de overeenkomsten ook goed; hier wordt een freatische grondwaterstand van rond NAP -2,5 m berekend, wat ca. 0,3 m hoger is dan gemeten.

Uit het dwarsprofiel in bijlage 6-3 blijkt dat de freatische grondwaterstand op het NS-emplacement vrijwel gelijk is aan de freatische grondwaterstand op het Stationsplein. De opbolling op het NS-emplacement is afgenomen; door de aanwezigheid van de ondergrondse objecten stroomt er meer freatisch grondwater in noordelijke richting.

In bijlage 5-3 worden de verschillen getoond tussen de huidige situatie (fase 1) en de nulsituatie (fase 0). In deze figuur zijn op de locaties van de peilbuizen de gemeten verschillen tussen 2003 en 2009 gegeven. Er zijn alleen waardes gegeven als van dezelfde peilbuis metingen uit zowel 2003 als 2009 beschikbaar zijn. In de directe omgeving van het Stationsplein zijn door werkzaamheden vrijwel alle peilbuizen verloren gegaan, daar zijn dus geen verschilwaarden beschikbaar.

Uit bijlage 5-3 blijkt dat volgens de modelberekeningen in de Provenierswijk, het Oude Westen en rond de Kruiskade nauwelijks verschillen zijn tussen fase 0 en 1 (< 0,1 m). Dit komt goed overeen met de veranderingen die in de peilbuizen zijn gemeten. Op het NS-emplacement is berekende verhoging op het zuidelijke deel tussen 0,1 en 0,2 m, voor het overige deel minder dan 0,1 m. Direct ten noorden van de bouwkuipen aan de Conradstraat en MCS treedt een opstuwingsop van ca. 0,2 m. Tussen de bouwkuipen aan de Conradstraat en het Groothandelsgebouw is de verlaging volgens de modelberekeningen maximaal 0,5 m. Als de gemeten waarden van de verschillende peilbuizen met elkaar vergeleken worden (tabel 3 en bijlage 2, tabel B2-4) blijkt de

verlaging aan de zuidzijde van de Conradstraat ca. 1,3 m te zijn. De gemeten opstuwing aan de noordzijde van de bouwkuip MCS (0,1 à 0,2 m) komt goed overeen met de berekende waarde. Rond gebouw Delftse Poort is de berekende verlaging gering, ca. 0,1 m, overeenkomstig de metingen.

Op het Stationsplein zelf, tussen de bouwkuipen van MCS en de Weenatunnel, is de afname van de freatische grondwaterstand ca. 0,4 m. De gemeten freatische grondwaterstandsdeling is hier waarschijnlijk ca. 0,8 m (weinig meetgegevens beschikbaar).

Geconcludeerd kan worden dat de *locaties* van de verlagingen en verhogingen die zijn berekend met het model, goed overeen komen met de gemeten veranderingen. Hieruit blijkt dat de veranderingen voor een groot deel worden veroorzaakt door barrièrewerking van de ondergrondse objecten, met name de bouwkuipen CRS en MCS.

De berekende *grootte* van de verandering is met name ten zuiden van de Conradstraat en op het Stationsplein kleiner dan gemeten. Aan de zuidzijde van de Conradstraat blijkt uit metingen de freatische grondwaterstand 1,3 m gedaald te zijn; met het model wordt een grondwaterstandsdeling berekend van ca. 0,5 m.

De opbolling op het NS-emplacement is afgenomen; door de aanwezigheid van de ondergrondse objecten stroomt er meer freatisch grondwater in noordelijke richting.

4.4 **Fase 2: na overkapping NS-emplacement, geen grondwateraanvulling**

In fase 2 is een groot deel van de sporen overkapt en vindt er onder de kap geen grondwateraanvulling plaats. De hoogste freatische grondwaterstand op het emplacement daalt volgens de berekeningen van ca. NAP -1,2 m naar NAP -2,1 m (bijlage 5-4). De verlaging van de freatische grondwaterstand ten opzichte van de huidige situatie (verschil tussen fase 1 en 2) op het NS-emplacement is maximaal 0,9 m (bijlage 5-5). Aan de oost- en westrand van de kap is de daling ca. 0,5 m. Vanaf deze randen is de verandering in de freatische grondwaterstand niet meer merkbaar op 200 m aan de zuidzijde en op 100 m aan de noordzijde van het emplacement. Direct ten noorden van het emplacement en de overkapping is de daling ten opzichte van fase 1 ca. 0,25 m. Ter hoogte van de panden aan de Stationssingel en de Proveniersstraat is de daling afgenomen tot 0,15 à 0,1 m. De modelresultaten worden in dit gebied vooral bepaald door het ingevoerde drainagesysteem.

Aan de zuidzijde van het emplacement, ten noorden van de bouwputten, daalt de freatische grondwaterstand onder het stadse deel van de kap volgens de berekeningen met ca. 0,7 à 0,8 m ten opzichte van fase 1. Ten zuiden van de bouwputten van MCS en Conradstaat is er geen verandering van de freatische grondwaterstand zichtbaar.

In het dwarsprofiel in bijlage 6-4 is de afname van de freatische grondwaterstand op het emplacement duidelijk zichtbaar. In deze situatie is in dit dwarsprofiel geen sprake meer van opbolling op het NS-emplacement; de freatische grondwaterstand neemt vanaf MCS af in noordelijke richting.

4.5 **Fase 2a: na overkapping NS-emplacement, geringe grondwateraanvulling**

In fase 2a dient 25% van de neerslag uit fase 0 als grondwateraanvulling. De berekende daling van de grondwaterstand ten opzichte van fase 1 wordt in deze variant maximaal 0,6 m op het NS-emplacement (bijlage 5-6 en 5-7). Direct ten noorden van het emplacement is de daling ca. 0,20 m. Ter hoogte van de panden aan de Stationssingel en de Proveniersstraat is de daling tot 0,1 m ten opzichte van de huidige situatie.

Aan de zuidzijde van het emplacement, ten noorden van de bouwputten, is de daling van de grondwaterstand 0,55 m ten opzichte van fase 1.

4.6 **Fase 3: na Kruispleingarage, Verbindingsstunnel en fietsenstalling**

In fase 3 zijn de Kruispleingarage met de Verbindingsstunnel en de ondergrondse fietsenstalling op het Stationsplein gerealiseerd (bijlage 5-8 en 5-9). De verschillen met fase 2 zijn minimaal, omdat deze objecten allemaal ten zuiden van de bouwkuip MCS ('stroomafwaarts') liggen. Slechts tussen de fietsenstalling en het Groothandelsgebouw is een geringe verlagings (ca. 0,1 m) te zien.

In het dwarsprofiel in bijlage 6-5 is een geringe afname van de freatische grondwaterstand (<0,1 m) op het emplacement zichtbaar. In deze situatie is in dit dwarsprofiel geen sprake meer van opbolling op het NS-emplacement; de freatische grondwaterstand neemt vanaf MCS af in noordelijke richting.

4.7 **Fase 4: na ontwikkelingen Rotterdam Central District**

De berekende grondwaterstanden zijn weergegeven in bijlage 5-10, de verschillen ten opzichte van fase 3 in bijlage 5-11. De freatische grondwaterstanden zijn in fase 4 vergelijkbaar met die in fase 3. Alleen rond de ondergrondse bebouwing op het Delftseplein en het Schiekadeblok (beide direct zuidelijk van het NS-emplacement, resp. ten westen en ten oosten van het Postgebouw) zijn verschillen te zien. Gezien de korte afstand van het spooremplacement is sprake van barrièrewerking, waardoor aan de noordzijde van beide gebouwen de freatische grondwaterstand stijgt met ca. 0,2 m. Aan de zuidzijde van het bouwplot Delftseplein daalt de freatische grondwaterstanden met ca. 0,3 m. Dit effect is echter zeer lokaal en alleen zichtbaar tussen de parkeerkelder en gebouw de Delftse Poort. Ten zuiden van het Schiekadeblok is een geringe daling van de freatische grondwaterstand te zien (< 0,2 m).

Geconcludeerd kan worden dat de effecten van de ontwikkelingen in het kader van Rotterdam Central District op de freatische grondwaterstand gering zijn.

5. Aanvullende berekeningen

5.1 Maatregelen ter compensatie van freatische grondwaterstands dalingen

Er zijn berekeningen uitgevoerd om te onderzoeken of met maatregelen de freatische grondwaterstandsdaling gecompenseerd kan worden. Hierbij is alleen gekeken naar het gebied waar de Gemeente Rotterdam eigenaar van de openbare ruimte is. Het NS-emplacement is dus niet meegenomen.

Een mogelijke maatregel is het infiltreren van water op plaatsen waar een grote verlaging van de freatische grondwaterstand is opgetreden. In het model zijn hiervoor infiltratiebronnen ingevoerd in de eerste modellaag, aan de noordwestzijde van het Groothandelsgebouw.

Voor fase 1 blijkt uit de berekening dat, om de berekende verlagingen van de freatische grondwaterstand van 0,5 m te compenseren, het plaatsen van 5 infiltratiebronnen met een infiltratiedebiet van elk ca. 1 m³/dag ruimschoots voldoet.

In de praktijk is er momenteel een infiltratiesysteem werkzaam in de Conradstraat. Het debiet dat dagelijks wordt geïnfiltrerd is aanzienlijk hoger dan is berekend, nl. gemiddeld 25 m³/dag. Dit blijkt een stijging van de freatische grondwaterstand op te leveren in de Conradstraat van enkele decimeters. Dat het debiet in de praktijk groter blijkt dan berekend, kan deels worden verklaard uit het feit dat de gemeten verlaging groter is dan de berekende verlaging, waardoor een groter debiet benodigd is om de werkelijke verlaging te compenseren. Het kan ook een indicatie zijn dat er in de omgeving van het Groothandelsgebouw mogelijk ergens freatisch grondwater wordt onttrokken door een onbekend drainagesysteem.

Er is ook een berekening uitgevoerd voor fase 4, waarin alle toekomstige ontwikkelingen zijn gerealiseerd. Er kan dan worden volstaan met minder infiltratiebronnen en een kleiner infiltratiedebiet, omdat door de realisatie van de fietsenstalling er geen afstroming in de richting van het Stationsplein meer is. Een totaal debiet van 1,5 m³/dag is volgens de berekeningen voldoende om de verlagingen in de Conradstraat en de westzijde van het Stationsplein op te heffen. Het infiltreren van water heeft het meeste effect als het aan de noordzijde van het Groothandelsgebouw plaatsvindt, omdat de stroming van het freatische grondwater vanaf het NS-emplacement in zuidelijke richting is.

5.2 Lage freatische grondwaterstanden Weena/zuidzijde Stationsplein

Uit de langjarige meetreeksen van de freatische grondwaterstand is gebleken dat er in de buurt van het Weena, aan de zuidzijde van het Stationsplein nabij het Groothandelsgebouw, lage freatische grondwaterstanden (ca. NAP -4 m) gemeten worden (zie bijlage 3, figuur B3-10). Aangezien de oorzaak hiervan niet bekend is, is er voor de modelberekeningen geen drainage of onttrekking op het Weena ingevoerd in het model. Met deze keuze ligt dan echter al vast dat de berekende freatische grondwaterstanden niet lager zullen worden dan het opgegeven drainageniveau van NAP -2,6 m ten zuiden van het Stationsplein (Oude Westen). In het model wordt namelijk uitgegaan van een jaargemiddelde situatie met een neerslagoverschot, waardoor er altijd grondwateraanvulling plaats zal vinden. De lage freatische grondwaterstanden nabij het Weena/Groothandelsgebouw, maar ook de grote verlaging ten zuiden van de Conradstraat, zullen niet door het model berekend kunnen worden.

Er is daarom een aanvullende serie berekeningen gedaan, waarin wel een drainerend gebied is ingevoerd in het freatische grondwatermodel. Op basis van de gemeten freatische grondwaterstanden is dit gebied geplaatst juist ten noorden van de oude Weenatunnel, aan de zuid-westzijde van het Stationsplein.

In een aantal cellen van het rekenmodel (totale oppervlakte ca. 200 m) is een 'drainerend gebied' ingevoerd met de volgende kenmerken:

- drainageniveau NAP -4,2 m
- intreeweerstand 10 dagen

Deze waarden zijn een aanname waarbij globaal is gekeken naar de gemeten freatische grondwaterstanden. Er is geen gevoeligheidsanalyse gedaan waarbij de locatie van het drainerende gebied, het drainageniveau en de intreeweerstand zijn gevarieerd om de freatische grondwaterstanden in de nulsituatie en de huidige situatie zo goed mogelijk te berekenen. Zolang de oorzaak van de lage freatische grondwaterstanden onbekend is, kunnen de parameters immers niet goed onderbouwd bepaald worden.

Doel van deze extra berekeningen is om te onderzoeken of het invoeren van een drainerend gebied op het Weena de barrièrewerking van ondergrondse objecten uit de fasen 2 t/m 4 verandert, m.a.w. of de nog te verwachten veranderingen van de freatische grondwaterstand als gevolg van toekomstige werkzaamheden veranderen, ten opzichte van deze situaties zonder drainerend gebied. Er is vooral gelet op de verschillen tussen de doorgerekende fasen. Deze zijn vergeleken met de berekende verschillen tussen de fasen als er geen drainagesysteem wordt ingevoerd.

In de nulsituatie (situatie voor aanvang van de werkzaamheden) die is weergegeven in bijlage 7-1, worden lagere freatische grondwaterstanden berekend op het Stationsplein en omgeving dan in het model zonder drainerend gebied. De lage grondwaterstanden in de Conradstraat worden beter benaderd en ook op het Stationsplein zijn de overeenkomsten tussen de gemeten en berekende waarden beter. Ten zuiden van de Weenatunnel zijn de berekende waarden ook met dit model fors hoger dan gemeten.

De resultaten van fase 1 zijn weergegeven in bijlage 7-2. Hieruit blijkt dat ten noorden van de bouwkuip van MCS, ten zuiden van de bouwkuip CRS en ten zuiden van de bouwkuip WT de berekende freatische grondwaterstanden hoger zijn dan de gemeten waarden. De verschillen tussen de gemeten en berekende waarden zijn wel kleiner geworden dan bij het model zonder drainerend gebied. Met name op het Stationsplein zijn er betere overeenkomsten tussen de gemeten waarden en de modelresultaten.

In bijlage 7-3 worden de verschillen tussen fase 0 en 1 weergegeven. De verlaging in de Conradstraat is volgens deze berekeningen maximaal 1,1 m en is het grootst aan de zijde van het Stationsplein. Dit komt goed overeen met de gemeten verlagingen. Ten noorden van de bouwkuip van MCS wordt echter een grotere opstuwing berekend (0,4 m) dan wordt gemeten (0,15 m).

In fase 2 zijn de berekeningsresultaten gelijk aan de resultaten zonder drainerend gebied, nl. een verlaging ten noorden van de bouwkuip MCS van 0,9 m ten opzichte van fase 1 (bijlage 7-4).

In fase 3 wordt ten westen van de fietsenstalling op het Stationsplein, voor het Groothandelsgebouw, een verlaging berekend van 0,3 m ten opzichte van fase 2 (bijlage 7-5). Aan de oostzijde van de fietsenstalling op het Stationsplein wordt een grote opstuwing berekend van ca. 1,0 m ten opzichte van fase 1 en 2. Dit wordt veroorzaakt doordat de fietsenstalling een barrière gaat vormen richting het drainerende gebied aan de westzijde.

Fase 4 laat dezelfde resultaten zien als de berekening zonder drainerend gebied.

Geconcludeerd kan worden dat het invoeren van een drainerend gebied aan de noordwestzijde van de Weenatunnel in de berekeningsresultaten (vergeleken met berekeningen zonder drainerend systeem):

- leidt tot een iets betere berekening van de lage freatische grondwaterstanden in fase 0 en 1;
- in fase 1 een freatische grondwaterstandverlaging aan de zuidzijde van de Conradstraat wordt berekend die meer in de buurt ligt van wat is gemeten (1,1 m), echter de absolute waarde van de freatische grondwaterstand ligt nog te hoog;
- in de fasen 2 t/m 4 alleen bij de fietsenstalling andere effecten laat zien; er wordt dan een iets grotere verlaging tussen het Groothandelsgebouw en de fietsenstalling berekend (0,2 m i.p.v. 0,1 m) en een veel grotere opstuwing van de freatische grondwaterstand aan de oostzijde van de fietsenstalling (ca 1,0 m i.p.v. geen verandering).

Bij het doorrekenen van maatregelen ter compensatie van de lage grondwaterstanden, door het infiltreren van water aan de noordzijde van het Groothandelsgebouw, wordt door het invoeren van een drainerend gebied een veel groter debiet berekend dan met het model zonder drainerend gebied.



6. Conclusies en aanbevelingen

In dit rapport zijn berekeningen gepresenteerd van de veranderingen van de freatische grondwaterstand in het gebied rond het Stationsplein, die het gevolg zijn van de diverse reeds uitgevoerde en nog uit te voeren bouwwerkzaamheden. De studie heeft zich vooral gericht op het gebied ten zuiden van het stationsemplacement.

Als wordt gekeken naar de verschillen tussen de nulsituatie (vóór de werkzaamheden) en de huidige situatie (met de aanwezigheid van de metrotunnel in de Conradstraat, een uitgebreid Metrostation CS en de nieuwe Weenatunnel), dan kan worden geconcludeerd dat de berekende verlagingen en verhogingen van de freatische grondwaterstand voor wat betreft de ruimtelijke verdeling goed overeenkomen met de gemeten veranderingen. De veranderingen worden voor een groot deel veroorzaakt door barrièrewerking van ondergrondse objecten, vooral de bouwkuipen in de Conradstraat en voor de bouw van Metrostation CS.

De berekende veranderingen van de freatische grondwaterstand zijn met name ten zuiden van de Conradstraat en op het Stationsplein kleiner dan gemeten. Aan de zuidzijde van de Conradstraat blijkt uit metingen dat de freatische grondwaterstand tussen 1,1 en 2 m gedaald is; met het model is een grondwaterstandsval berekend van ca. 0,5 m.

Met het grondwatermodel zijn de lage freatische grondwaterstanden die ten noorden van de Weenatunnel nabij het Groothandelsgebouw al sinds lang worden gemeten, niet berekend. Omdat de oorzaak hiervan niet bekend is, is er in eerste instantie geen 'drainerend gebied' (een systeem dat de grondwaterstand kunstmatig laag maakt) ingevoerd. Als wél wordt gerekend met een dergelijk drainerend gebied aan de zuidzijde van het Groothandelsgebouw, dan is de berekende verlaging in de Conradstraat veel groter (1,1 m).

Door het infiltreren van water in het freatische pakket kunnen de verlagingen van de freatische grondwaterstand worden gecompenseerd. Het meest effectief blijkt het infiltreren van water in de Conradstraat, aan de noordzijde van het Groothandelsgebouw. Hiervoor zou volgens de modelberekeningen een debiet van ca. 5 m³/dag voldoende moeten zijn. Dit is een kleiner debiet dat wat sinds mei 2009 bij wijze van proef wordt geïnfilteerd (ca. 25 m³/dag).

De berekende opstuwings op het NS-emplacement, aan de noordzijde van de bouwkuipen van Metrostation CS en de metrotunnel in de Conradstraat, is gering (max. 0,2 m). Uit het berekende verloop van de freatische grondwaterstand blijkt dat de opbolling op het NS-emplacement afneemt, waardoor er meer freatisch grondwater in noordelijke richting afstroomt.

Voor wat betreft de te verwachten veranderingen van de freatische grondwaterstand, als gevolg van toekomstige ontwikkelingen rondom het Stationsplein, worden op basis van de gehanteerde uitgangspunten de volgende conclusies getrokken:

1. Aan de noordzijde van het Metrostation CS kan volgens oriënterende berekeningen een aanzienlijke verlaging van de freatische grondwaterstand optreden (0,9 m t.o.v. de huidige situatie) als er geen neerslag meer onder de kap in de grond infiltreert. Deze verlaging is het gevolg van de integrale overkapping van het NS-emplacement.
2. Verdere ontwikkelingen rond het Stationsplein geven naar verwachting geen grote veranderingen van de huidige freatische grondwaterstand. Wel zal door de realisatie van bebouwing op het Delftseplein de elders opgetreden grondwaterstands daling zich in westelijke richting uitbreiden;
3. Er zijn in de nabije toekomst geen freatische grondwaterstandsveranderingen ten zuiden van de Weenatunnel te verwachten;
4. Er zijn in de nabije toekomst geen verdere freatische grondwaterstands dalingen in de Conradstraat te verwachten
5. De situatie met de lage grondwaterstanden bij het Groothandelsgebouw kan niet goed verklaard noch gemodelleerd worden; de lage grondwaterstanden nemen naar verwachting verder af (ca. 0,2 m) door de realisatie van de fietsstalling. Hier worden in de huidige situatie al lage grondwaterstanden (ca. NAP -4,0 m) gemeten;
6. Er zal waarschijnlijk een stijging van de freatische grondwaterstand optreden aan de oostzijde van de nog te realiseren fietsstalling, mogelijk in de orde van 1,0 m (t.o.v. huidige situatie).

Er wordt aanbevolen om:

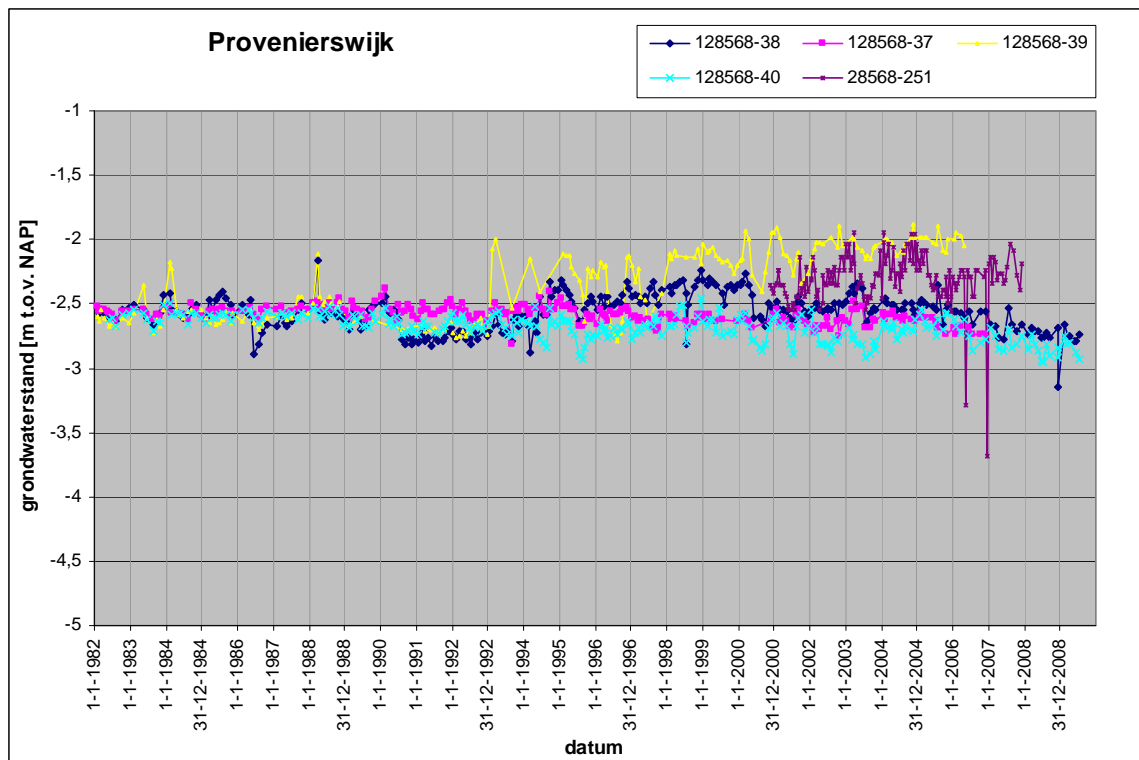
- de toekomstige ontwikkelingen van de freatische grondwaterstanden goed te blijven monitoren met peilbuizen. Aandachtspunt hierbij is dat bij vervanging peilbuizen op dezelfde locatie met eenzelfde filterdiepte worden teruggeplaatst, zodat betrouwbare langjarige meetreeksen verkregen worden;
- verder te gaan met onderzoeken wat de oorzaak zou kunnen zijn van de lage freatische grondwaterstanden ten noorden van het Weena nabij het Groothandelsgebouw (drooghouden van Weenatunnel, drooghouden parkeergarage Groothandelsgebouw, afwijkende bodemparameters in oude bouwkuip Weenatunnel, etc.);
- extra modelonderzoek uit te voeren aan de noordzijde van het NS-emplacement, om de effecten van de bouwprojecten, met name de overkapping, op de freatische grondwaterstanden in de Provenierswijk nauwkeuriger te onderzoeken.
- ten behoeve van de aanleg van de fietsstalling aandacht te besteden aan de verandering van de freatische grondwaterstand en om zo nodig compenserende maatregelen te treffen.

7. Referenties

- [1] Waterhuishoudingsplan Rotterdam CS, 2005
- [2] Notitie 'Freatische grondwaterstand Conradstraat', N.06.01.042.RR.STW.RK, 14 sep 2006
- [3] Conradstraat, wijzigingen grondwaterstanden tgv bouwputten Conradstraat en MCS, 28 juli 2006, R.2006.045.RR
- [4] Effectenstudie betreffende verbreding voetgangerstunnel Rotterdam CS, Fugro, 18 juni 2007
- [5] Notitie 'Freatische grondwaterstand Conradstraat', N.07.06.022.RR.STW.RK, 20 aug 2007
- [6] Notitie 'Problematiek freatische grondwaterstand Stationsplein', N.08.04.049.RR.MCS.VB, 29 april 2008

Bijlage 1 Overzicht gemeten freatische peilbuizen

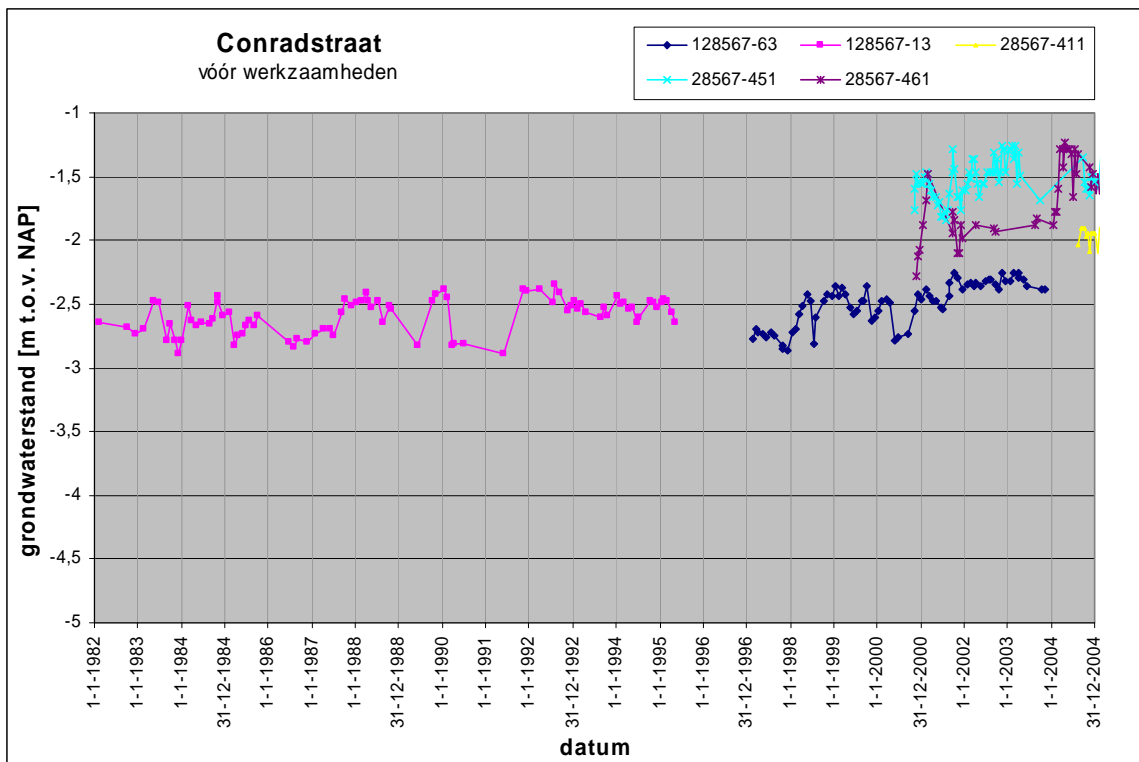
Bijlage 2 Gemeten freatische grondwaterstanden



Figuur B2-1: Freatische grondwaterstanden Provenierswijk

Tabel B2-1: Gemeten freatische grondwaterstanden Provenierswijk

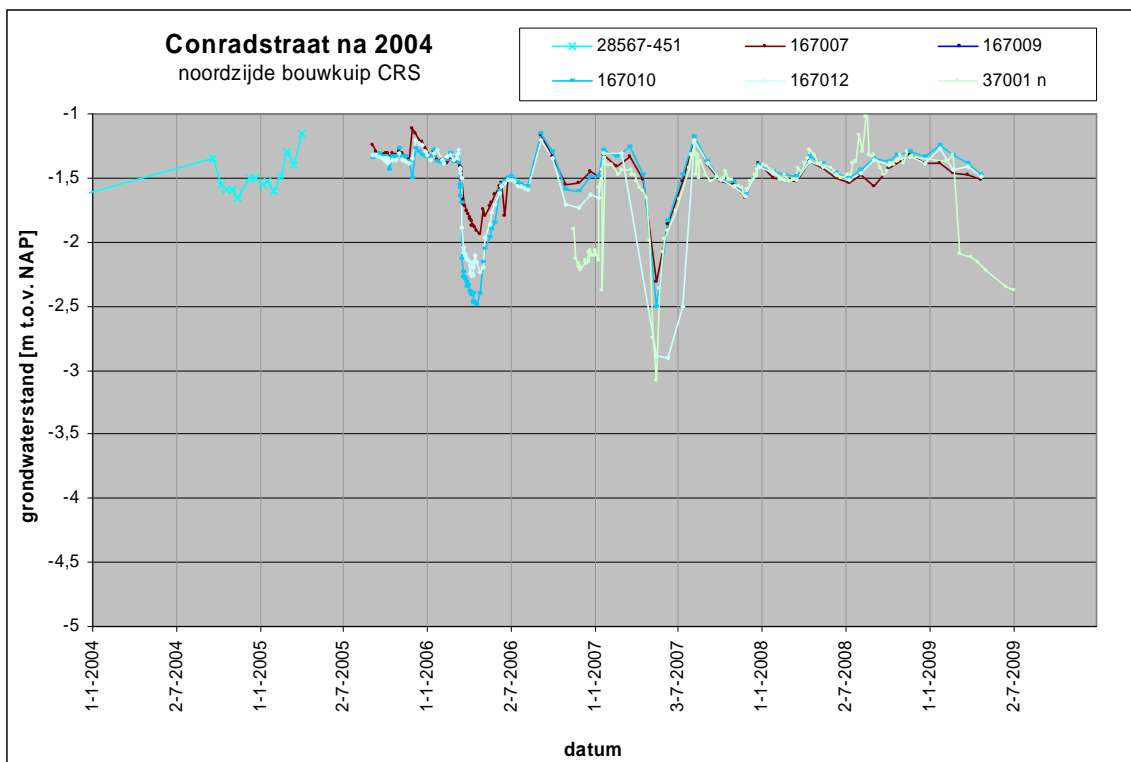
Peilbuis	128568-37	128568-38	128568-39	128568-40	28568-251
gemiddelde	-2,6	-2,6	-2,3	-2,7	-2,3
st dev.	0,06	0,14	0,27	0,10	0,19
aantal metingen	245	289	199	279	158
maximum	-2,82	-3,15	-2,79	-2,95	-3,69
minimum	-2,38	-2,16	-1,88	-2,46	-1,94
5% waarde	-2,69	-2,79	-2,72	-2,87	-2,52
95% waarde	-2,49	-2,34	-1,98	-2,54	-2,04



Figuur B2-2: Freatische grondwaterstanden Conradstraat, voor 1-1-2004

Tabel B2-2: Gemeten freatische grondwaterstanden Conradstraat, voor 1-1-2004

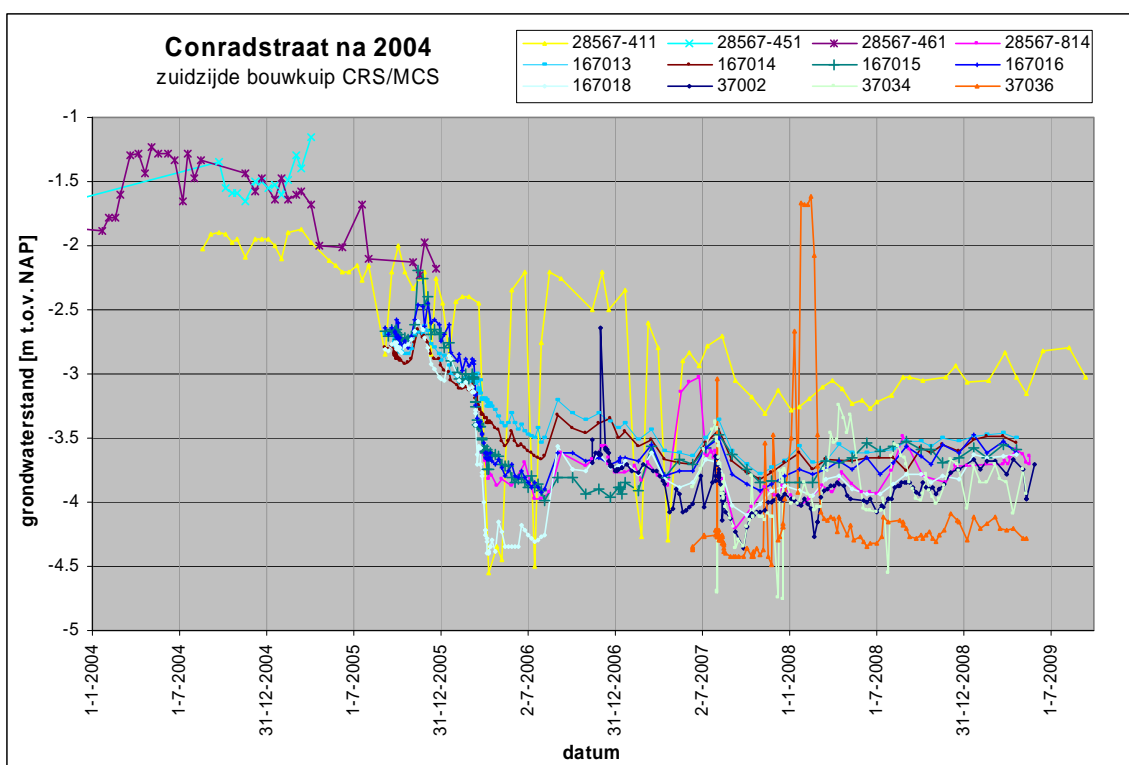
Conradstraat voor 1-1-2005				
peilbuis	128567-63	128567-13	28567-451	28567-461
gemiddelde	-2,5	-2,6	-1,5	-1,7
st dev.	0,17	0,14	0,15	0,30
aantal metingen	74	87	74	36
maximum	-2,87	-2,89	-1,84	-2,28
minimum	-2,25	-2,35	-1,15	-1,23
5% waarde	-2,79	-2,82	-1,77	-2,11
95% waarde	-2,25	-2,35	-1,27	-1,28



Figuur B2-3: Freatische grondwaterstanden Conradstraat noordzijde bouwkuip, na 1-1-2004

Tabel B2-3: Gemeten freatische grondwaterstanden Conradstraat noordzijde bouwkuip, na 1-1-2008

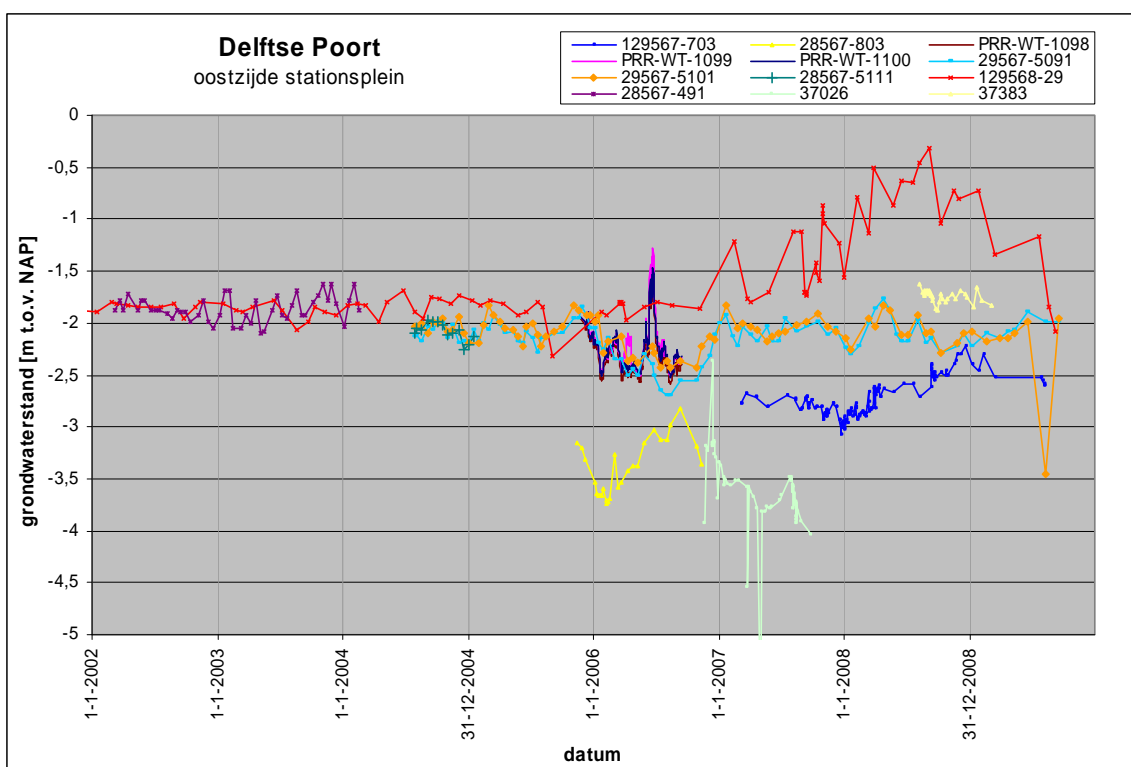
Conradstraat, noordzijde bouwkuip CRS, na 1-1-2008					
peilbuis	167007	167009	167010	167012	37001 n
gemiddelde	-1,5	-1,5	-1,4	-1,4	-1,4
st dev.	0,07	0,09	0,08	0,07	0,13
aantal metingen	17	17	17	17	34
maximum	-1,57	-1,64	-1,50	-1,52	-1,53
minimum	-1,32	-1,38	-1,25	-1,27	-1,02
5% waarde	-1,55	-1,63	-1,49	-1,52	-1,52
95% waarde	-1,36	-1,40	-1,29	-1,32	-1,12



Figuur B2-4: Freatische grondwaterstanden Conradstraat zuidzijde bouwkuip, na 1-1-2004

Tabel B2-4: Gemeten freatische grondwaterstanden Conradstraat zuidzijde bouwkuip, na 1-1-2008

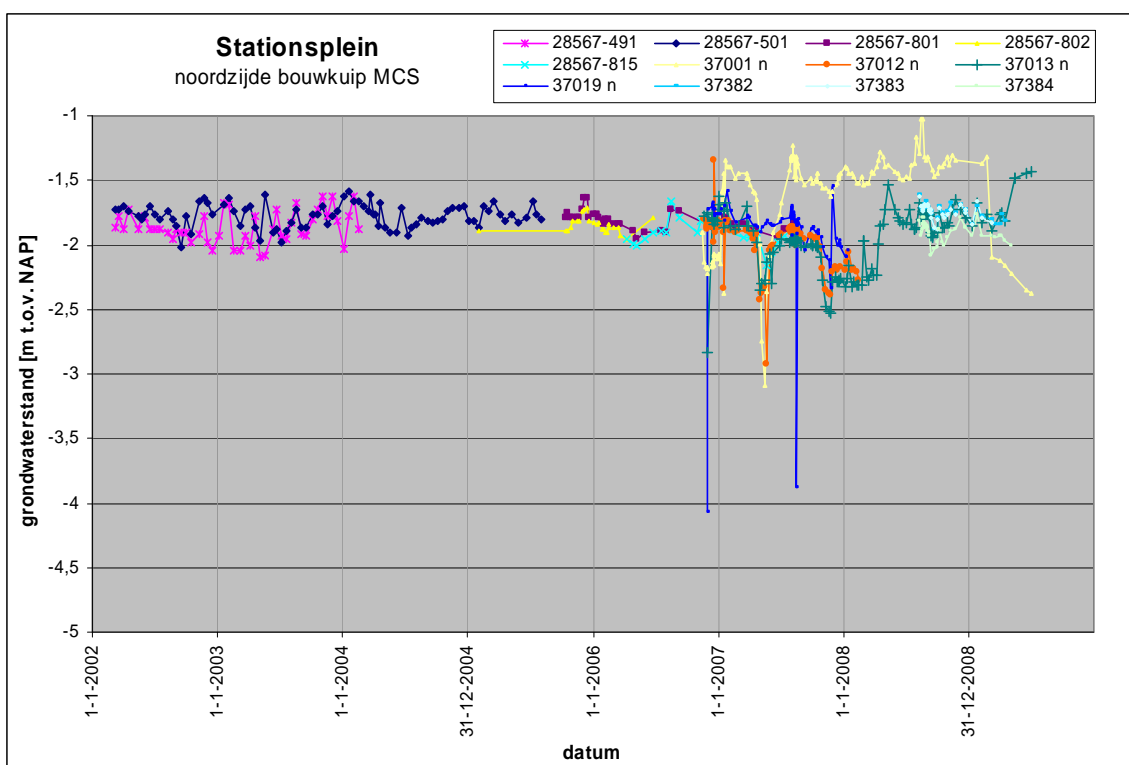
Conradstraat, zuidzijde, na 1-1-2008										na 1-3-2008
peilbuis	28567-411	28567-814	167013	167014	167015	167016	167018	37002	37034	37036
gemiddelde	-3,1	-3,8	-3,6	-3,6	-3,6	-3,7	-3,8	-4,0	-3,8	-4,2
st dev.	0,14	0,14	0,07	0,08	0,09	0,09	0,11	0,10	0,32	0,08
aantal metingen	24	27	17	16	17	17	17	33	32	20
maximum	-3,28	-4,02	-3,69	-3,75	-3,84	-3,78	-3,95	-4,27	-4,55	-4,34
minimum	-2,79	-3,49	-3,46	-3,49	-3,53	-3,47	-3,63	-3,84	-3,24	-4,08
5% waarde	-3,27	-3,96	-3,68	-3,74	-3,84	-3,78	-3,94	-4,15	-4,29	-4,32
95% waarde	-2,82	-3,59	-3,48	-3,49	-3,54	-3,52	-3,63	-3,85	-3,34	-4,12



Figuur B2-5: Freatische grondwaterstanden rond Delfse Poort

Tabel B2-5: Gemeten freatische grondwaterstanden rond Delfse Poort

Delfse Poort										voor 2005		
peilbuis	129567-703	28567-803	PRR-WT-1098	PRR-WT-1099	PRR-WT-1100	29567-5091	29567-5101	28567-5111	28567-491	129568-29	37026	37383
gemiddelde	-2,8	-3,4	-2,3	-2,2	-2,3	-2,2	-2,1	-2,1	-1,9	-2,0	-3,6	-1,7
st dev.	0,17	0,26	0,21	0,22	0,20	0,18	0,20	0,08	0,12	0,12	0,39	0,06
aantal metingen	173	27	280	280	280	94	86	13	48	250	68	34
maximum	-3,07	-3,74	-2,59	-2,51	-2,52	-2,70	-3,45	-2,25	-2,09	-2,20	-5,79	-1,87
minimum	-2,23	-2,83	-1,46	-1,27	-1,46	-1,77	-1,83	-1,97	-1,63	-0,83	-2,37	-1,62
5% waarde	-2,98	-3,72	-2,55	-2,48	-2,48	-2,52	-2,38	-2,23	-2,05	-2,13	-3,93	-1,85
95% waarde	-2,43	-3,00	-1,92	-1,79	-1,89	-1,91	-1,88	-1,98	-1,65	-1,82	-3,16	-1,68



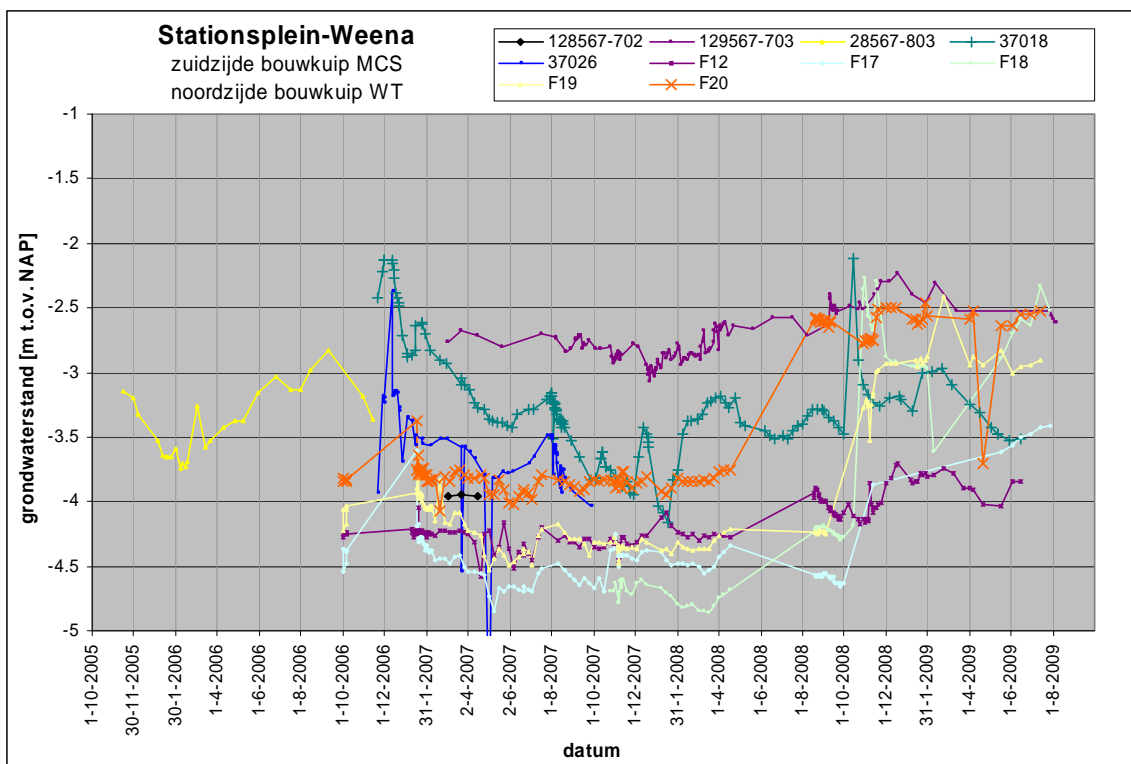
Figuur B2-6: Freatische grondwaterstanden noordzijde bouwkuip MCS

Tabel B2-6a: Gemeten grondwaterstanden noordzijde bouwkuip MCS, voor 1-1-2007

Stationsplein rond stationsgebouw, voor 1-1-2007					
peilbuis	28567-491	28567-501	28567-801	28567-802	28567-815
gemiddelde	-1,9	-1,8	-1,8	-1,8	-1,9
st dev.	0,12	0,09	0,07	0,06	0,10
aantal metingen	48	84	41	25	12
maximum	-2,09	-2,02	-1,96	-1,96	-2,01
minimum	-1,63	-1,58	-1,64	-1,71	-1,66
5% waarde	-2,05	-1,92	-1,91	-1,92	-2,00
95% waarde	-1,65	-1,64	-1,72	-1,72	-1,73

Tabel B2-6b: Gemeten freatische grondwaterstanden noordzijde bouwkuip MCS, na 1-1-2008

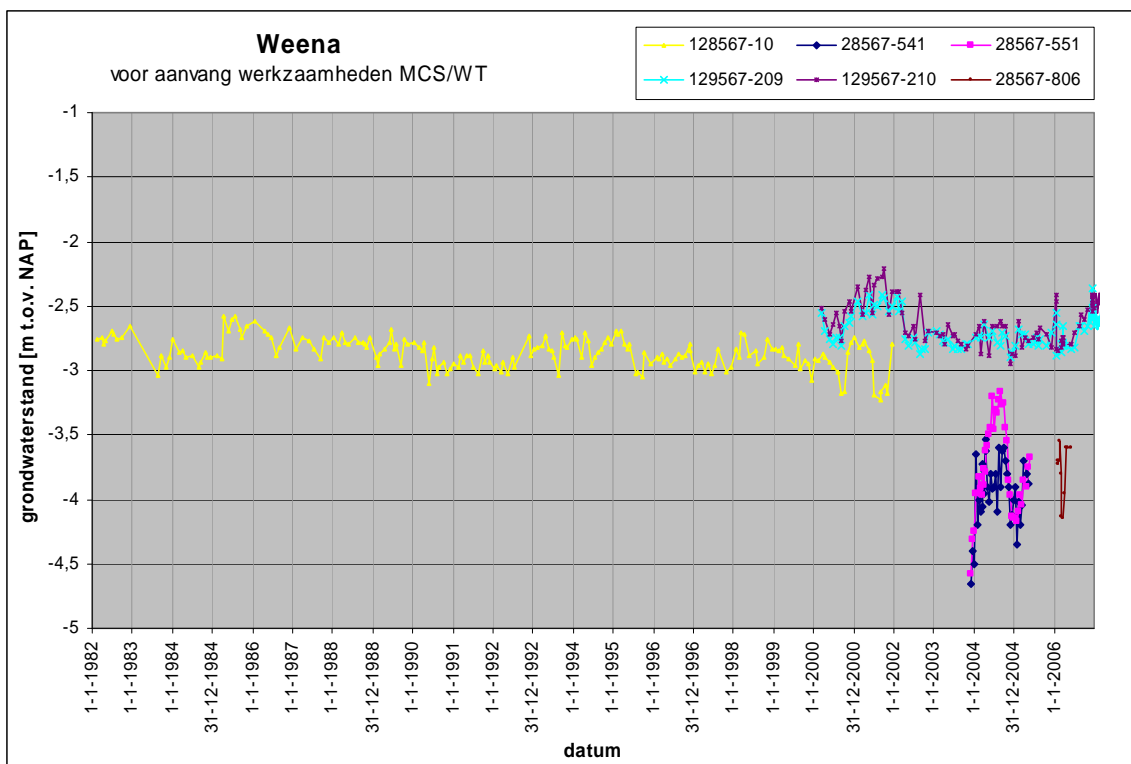
Stationsplein, noordzijde MCS, na 1-1-2008							
peilbuis	37001 n	37012 n	37013 n	37019 n	37382	37383	37384
gemiddelde	-1,4	-2,2	-1,9	-2,1	-1,7	-1,7	-1,9
st dev.	0,13	0,07	0,24	0,04	0,06	0,06	0,08
aantal metingen	34	7	40	2	41	34	41
maximum	-1,53	-2,27	-2,33	-2,09	-1,88	-1,87	-2,09
minimum	-1,02	-2,06	-1,54	-2,04	-1,62	-1,62	-1,77
5% waarde	-1,52	-2,25	-2,31	-2,09	-1,85	-1,85	-2,04
95% waarde	-1,12	-2,08	-1,71	-2,04	-1,68	-1,68	-1,80



Figuur B2-7: Freatische grondwaterstanden Stationsplein, zuid van MCS, noord van WT

Tabel B2-7: Freatische grondwaterstanden Stationsplein, zuid van MCS, noord van WT, na 1-11-2008

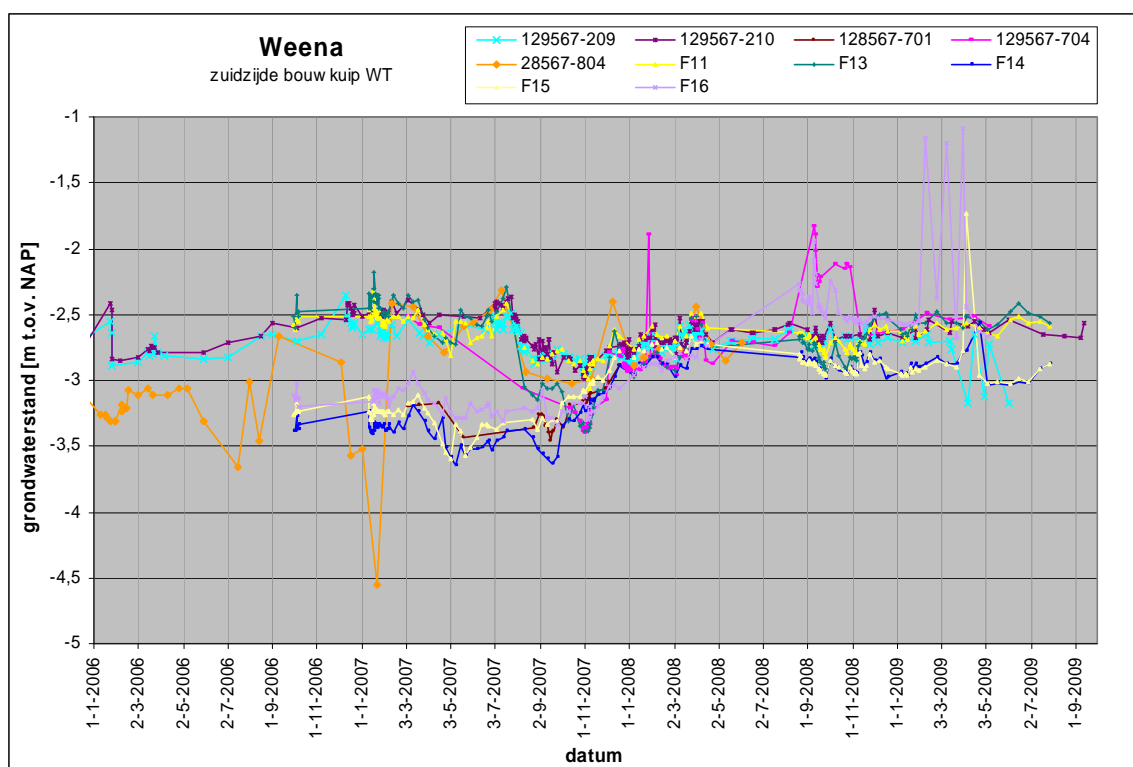
Stationsplein, noordzijde WT, zuidzijde MCS, na 1-11-2008							
peilbuis	129567-703	F12	F17	F18	F19	F20	37018
gemiddelde	-2,4	-3,9	-3,6	-2,8	-3,0	-2,7	-3,3
st dev.	0,13	0,14	0,16	0,28	0,20	0,23	0,18
aantal metingen	14	33	7	26	28	28	18
maximum	-2,61	-4,15	-3,87	-3,61	-3,52	-3,71	-3,53
minimum	-2,23	-3,70	-3,41	-2,29	-2,41	-2,46	-2,97
5% waarde	-2,61	-4,15	-3,79	-2,97	-3,26	-2,76	-3,52
95% waarde	-2,28	-3,73	-3,41	-2,36	-2,85	-2,50	-2,99



Figuur B2-8: Freatische grondwaterstanden Weena, voor 1-1-2007

Tabel B2-8: Gemeten freatische grondwaterstanden Weena, voor 1-1-2007

Stationsplein/Weena voor werkzaamheden MCS/WT (voor 1-1-2007)						
peilbuis	128567-10	129567-209	129567-210	28567-541	28567-551	28567-806
gemiddelde	-2,9	-2,7	-2,6	-3,9	-3,8	-3,8
st dev.	0,12	0,13	0,17	0,26	0,35	0,21
aantal metingen	202	91	91	38	39	11
maximum	-3,23	-2,90	-2,95	-4,65	-4,58	-4,15
minimum	-2,58	-2,36	-2,21	-3,54	-3,17	-3,55
5% waarde	-3,04	-2,85	-2,86	-4,42	-4,26	-4,14
95% waarde	-2,70	-2,45	-2,35	-3,60	-3,23	-3,58



Figuur B2-9: Freatische grondwaterstanden Weena, zuid van bouwkuip WT, na 1-1-2006

Tabel B2-9: Gemeten freatische grondwaterstanden Weena, zuid van bouwkuip WT, na 1-1-2008

Weena zuidzijde bouwkuip WT, na 1-1-2008									
peilbuis	129567-209	129567-210	129567-704	28567-804	F11	F13	F14	F15	F16
gemiddelde	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,9	-2,9	-2,5
st dev.	0,10	0,07	0,30	0,14	0,08	0,14	0,08	0,15	0,34
aantal metingen	101	105	70	8	82	82	82	82	75
maximum	-3,18	-2,81	-2,96	-2,89	-2,83	-2,97	-3,04	-3,02	-2,96
minimum	-2,58	-2,47	-1,83	-2,44	-2,49	-2,42	-2,57	-1,73	-1,09
5% waarde	-2,84	-2,78	-2,92	-2,88	-2,79	-2,91	-3,01	-2,99	-2,88
95% waarde	-2,62	-2,55	-2,07	-2,54	-2,54	-2,49	-2,77	-2,73	-2,05

Tabel B3-10: Gemeten freatische grondwaterstanden door Fugro

Peilbuis	B2	B3
Locatie	Perron 3	Stationsplein
Maaiveld [m t.o.v. NAP]	4,22	0,01
Bovenkant peilbuis [m t.o.v. NAP]	4,17	0,16
Filterafstelling [m t.o.v. NAP]	-3,8 tot -4,8	-2,85 tot -3,85
grondwaterstand [m t.o.v. NAP]		
4-11-2005	-1,3	-1,8
16-11-2005	-1,35	-1,8
23-11-2005	-1,4	-1,85
30-11-2005	-1,35	-1,8
8-12-2005	-1,3	-1,7
17-12-2005	-1,3	-1,75
22-12-2005	-1,4	-1,8
5-1-2006	-1,35	-1,8
25-1-2006	-1,5	
2-2-2006	-1,45	
8-2-2006	-1,45	
gemiddelde	-1,4	-1,8

Figuur B3-10: Gemeten freatische grondwaterstanden peilbuis 128567-12 (1958-1976)

Bijlage 3 Beschrijving gemeten freatische grondwaterstand en effect bouwerkzaamheden

Fase 0: Situatie voorafgaand aan de bouwactiviteiten (voor 2005)

In figuur B3-1 zijn meetreeksen van de grondwaterstand in de Provenierswijk weergegeven. De peilbuis 128568-37 t/m 40 en 251 liggen ten noorden van het NS-emplacement. Peilbuis 128567-39, direct tegen het emplacement aan, geeft een gemiddelde van NAP -2,3 m. De andere laten een gemiddelde waarde zien rond NAP -2,6 m. Aan de westzijde (buis 251) ligt het gemiddelde iets lager (NAP -2,3 m) dan aan de oostzijde (buis 40, NAP -2,7 m).

Voorafgaand aan de grootschalige bouwactiviteiten rond het Stationsplein, is de langjarig-gemiddelde freatische grondwaterstand aan de zuidkant van de Conradstraat rond NAP -2,5 m ligt (figuur B3-2, peilbuis 128567-13 gemiddeld NAP -2,6 m en peilbuis 128567-63 gemiddeld NAP -2,5 m). In de iets noordelijker gelegen peilbuis 128567-461 wordt een grondwaterstand gemeten van NAP -1,7 m. Aan de voet van het NS-emplacement is de gemiddelde grondwaterstand ca. NAP -1,5 m (peilbuis 128567-451). Peilbuis 411 is als projectpeilbuis toegevoegd in 2004 tussen de IJshal en het Groothandelsgebouw. Voorafgaand aan de werkzaamheden is daar een grondwaterstand net onder NAP -2 m gemeten.

Aan de oostzijde van het Stationsplein, is voor het gebouw Delftse Poort een gemiddelde grondwaterstand van NAP -1,9 m gemeten in peilbuis 128567-491 (figuur B2-5). De meer oostelijk gelegen peilbuis 129568-29 geeft een vergelijkbare grondwaterstand in deze fase.

Op het Stationsplein, voor het Stationsgebouw, is voor 2006 een grondwaterstand gemeten van ca. NAP -1,8 m (figuur B2-6, peilbuis 128567-501, 801 en 802). Verder naar het zuiden op het Stationsplein zijn voor 2006 alleen grondwaterstanden gemeten in peilbuis 128567-803. De gemiddelde grondwaterstand ligt hier lager, op ca. NAP -3,3 m.

Langs het Weena wordt in de periode voor 1-1-2007 aan de westzijde in peilbuis 128567-10 een gemiddelde grondwaterstand gemeten van NAP -2,9 m. Peilbuizen 128567-209 en 210 staan aan de oostzijde van de Weenatunnel; hier worden vanaf 2000 grondwaterstanden gemeten van ca. NAP -2,7 m. Direct ten zuiden van de Weenatunnel (peilbuis 128567-541 en 551) worden in 2003-2004 grondwaterstanden gemeten tussen NAP -3,2 m en NAP -4,5 m. Uit archiefgegevens blijkt peilbuis 128567-12, op de hoek van Stationsplein en Weena, in de periode 1958-1962 als laagste jaarlijkse meetwaarde grondwaterstanden rond NAP -3,8 m gemeten te hebben. Vanaf 1965 liggen deze laagste jaarlijkse metingen tussen NAP -4,0 m en NAP -4,3 m (zie figuur B3-10).

Uit de gemeten grondwaterstanden kan worden afgeleid dat het freatische grondwater vanuit het hoger gelegen zandpakket onder het NS-emplacement zowel in noordelijke als in zuidelijke richting afstroomt. De hogere grondwaterstand op het emplacement kan worden verklaard door het feit dat hier veel meer neerslag kan infiltreren dan in de verharde gebieden ten noorden en ten zuiden van het emplacement.

Uit de metingen in de buurt van het Weena (op het zuidelijke deel van het Stationplein zijn slechts beperkt gegevens beschikbaar) blijkt dat de grondwaterstanden hier veel lager zijn dan te verwachten valt op basis van singelpeilen en grondwaterstanden in de omgeving. Er worden voor 2004 waarden gemeten die liggen onder NAP -4 m. Deze lage waarden zijn niet terug te voeren op bemalingen in verband met werkzaamheden voor CRS, MCS of WT. Uit gegevens van de hoogteligging van de riolering blijkt dat een mogelijk drainerend werking van oude riolering niet de oorzaak kan zijn van deze lage grondwaterstanden. Gegevens van pompdebieten van de oude Weenatunnel zijn niet beschikbaar, waardoor het onzeker blijft of het drooghouden van de oude Weenatunnel geleid kan hebben tot deze lage grondwaterstanden.

Fase 1: Grondwaterstanden tijdens en na werkzaamheden CRS, MCS en WT

In de meetreeksen van de peilbuizen direct ten noorden van het NS-emplacement (bijlage 7-3) is de start van de werkzaamheden aan de Conradstraat en voor MCS in 2005 niet terug te zien. De peilbuizen 37, 38 en 39 vertonen vanaf half 2005 een licht dalende trend, orde grootte 0,2 à 0,3 m. Peilbuis 128567-251 laat grote fluctuaties zien, maar vertoont geen dalende of stijgende trend die terug te voeren is op werkzaamheden van RandstadRail.

Tijdens het bouwproces zijn door Fugro grondwaterstanden gemeten op het NS-emplacement zelf [4]. Deze liggen tussen NAP -1,2 en -1,5 m, gemiddeld NAP-1,4 m in de periode 11-05 tot 02-06 (zie tabel B3-10, peilbuis B2).

In de Conradstraat is in verband met RandstadRail de monitoring in de projectpeilbuizen gestart op 8 augustus 2005. Aan de noordzijde van de bouwkuip CRS wordt de grondwaterstand gemeten in peilbuizen 167007 t/m 167012. Na 1-1-2007 wordt ook gemeten met een projectpeilbuis van MCS (37001n). Vanaf de start van de monitoring in september 2005 tot maart 2006 worden waarden gemeten van ca. NAP -1,3 m. In de periode maart-juni 2006 is een daling van ca 1 m gemeten, waarschijnlijk als effect van bemalingen voor CRS (start spanningsbemaling maart 2006). Daarna is de grondwaterstand hersteld tot rond NAP -1,5 m. In mei 2007 is er een nieuwe daling te zien, waarschijnlijk effect van bemalingen voor MCS (start open bemaling mei 2007). Vanaf augustus 2007 liggen de gemeten waarden gemiddeld op ca. NAP -1,4 m, ongeveer 0,2 m hoger dan de meetreeksen uit peilbuis 128567-451 en -461 voor aanvang van de werkzaamheden. De gemeten waarden komen goed overeen met de metingen van Fugro op het NS-emplacement.

Aan de zuidkant van de bouwkuip CRS blijkt uit de peilbuizen 167013 t/m 018 dat de grondwaterstand na start van de werkzaamheden sterk is gedaald (figuur B3-3). Vanaf augustus 2005 is de grondwaterstand gedaald van ca. NAP -2,5 m naar ca. NAP -3,8 m, een daling van 1,3 m. De sterkste daling is te zien in de periode van maart 2006, na de start van de spanningbemaling voor CRS. In peilbuis 128567-411, nabij de Weenahal, is een vergelijkbare afname van de grondwaterstand gemeten, van ca. NAP -2,0 m naar NAP -3,1 m. De aanleg van de bouwkuip van CRS heeft hier waarschijnlijk geleid tot een significante daling van de grondwaterstand.

Aan de oostzijde van het Stationsplein worden na augustus 2004 grondwaterstanden gemeten in de peilbuizen 129567-5091, -5101 en -5111 (figuur B3-5). Deze laten tussen 1-1-2006 en 1-1-2007 een verlaging van ca. 0,4 m zien, maar de grondwaterstand is daarna weer hersteld tot de beginwaarde en ligt op ca. NAP -2,1 m. Uit de meetreeks blijkt geen invloed van de werkzaamheden. De gemeten

waarden liggen iets lager dan gemeten in de buizen 128567-491 en -29, wat gezien zuidelijker ligging ook verwacht kan worden. Opvallend is dat peilbuis 129568-29 een sterke stijging laat zien in 2007 en 2008, wat in 2009 weer lijkt te herstellen tot de oorspronkelijke waarde. De peilbuizen 129567-803, 37026 129567-703 liggen meer in de richting van het Weena en laten een lagere grondwaterstand zien. De meetreeksen zijn te kort om effecten van de bouwwerkzaamheden te kunnen zien.

Op het Stationsplein, aan de noordzijde van de bouwkuip MCS, zijn aan de westzijde van het stationsgebouw de peilbuizen 12857-801, 802 en 815 gemeten vanaf eind 2005 tot begin 2007, tijdens de realisatie van de diepwanden voor MCS (figuur B2-6). De gemiddelde waarden zijn NAP -1,8 m, gelijk aan de gemeten waarden in peilbuis 128567-491 en 501 in de periode voor werkzaamheden. Op het Stationsplein zijn in de periode 11-05 tot 02-06 door Fugro grondwaterstanden gemeten tussen NAP -1,7 en -1,8 m (zie tabel B3-10, peilbuis B3). Na 1-1-2008 liggen de gemiddelde waarden in peilbuis 37013, -82, -83 en -84 nog rond NAP -1,8 m. Ten noorden van MCS lijken de de gemeten grondwaterstanden nauwelijks beïnvloedt door de werkzaamheden voor CRS en MCS. De dalingen in de periode 1-1-2007 tot ongeveer 1-4-2008 zijn waarschijnlijk het effect van (spannings)bemalingen.

Aan de zuidzijde van de bouwkuip MCS en noordelijk van de bouwkuip WT blijken er grote verschillen tussen de gemeten peilbuizen. Op het Stationsplein zelf liggen alleen de buizen 37018 en 37026. Er zijn weinig metingen uit de periode vóór werkzaamheden, waardoor het effect van de bouwwerkzaamheden moeilijk te bepalen is. De meetreeksen van 37018 en 37026 laten beiden een daling zien van ca. 0,8 m tussen begin en eind 2007, maar het is niet met zekerheid te zeggen of de meetwaarden aan het begin van de reeks beïnvloed zijn door bemalingen. De meetreeksen met projectpeilbuizen F12 en F17-F20 zijn gestart toen de diepwanden van MCS al gedeeltelijk gerealiseerd waren. Peilbuis F19 en F20 laten na juli 2008 een sterke stijging van de grondwaterstand zien, mogelijk gerelateerd aan het verminderen van de bemalingen voor MCS en Weenatunnel. Na november 2008 laten de meetreeksen geen grote variaties in de tijd meer zien. De grondwaterstanden zijn aan de westzijde, nabij het Groothandelsgebouw, het laagste en liggen rond NAP -4,0 m. De grondwaterstanden lopen op in oostelijke richting, en liggen nabij Delftse Poort rond NAP -2,5 à -2,7 m. In noord-zuid richting, tussen bouwkuip MCS en WT, zijn de ruimtelijke variaties veel minder groot. In zuidelijke richting nemen de grondwaterstanden iets af.

Aan de zuidzijde van de Weenatunnel ligt de gemeten grondwaterstand na 1-1-2008 in een groot aantal peilbuizen tussen NAP-2,5 m en NAP -3,0 m. Dit komt goed overeen met een aantal buizen die voor aanvang van de werkzaamheden langdurig zijn gemeten (128567-10 en 129567-209 en -210). De lage meetwaarden beneden NAP -4 m, die al voor aanvang van de werkzaamheden werden gemeten, worden niet in de huidige peilbuizen ten zuiden van de Weenatunnel gemeten.

Bijlage 4a Jaargemiddelde grondwaterstanden 2003

Bijlage 4b Jaargemiddelde grondwaterstanden 2009

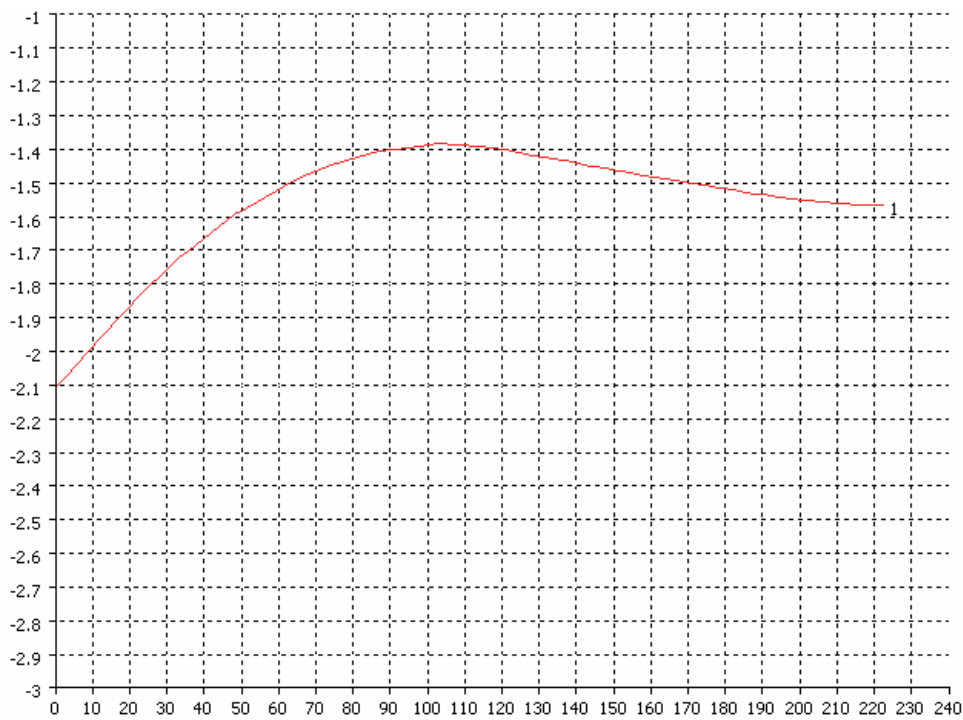
Bijlage 4c Verschil jaargemiddelde freatische grondwaterstanden 2003-2009

Bijlage 5 Modelresultaten

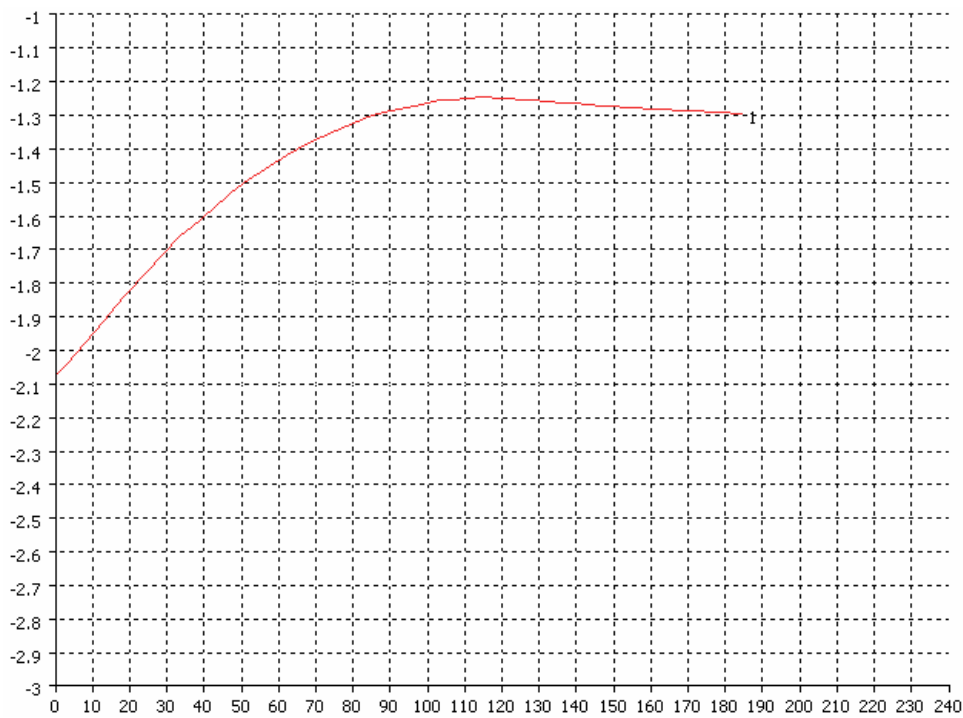
Bijlage 6 Dwarsprofielen NS-emplacement



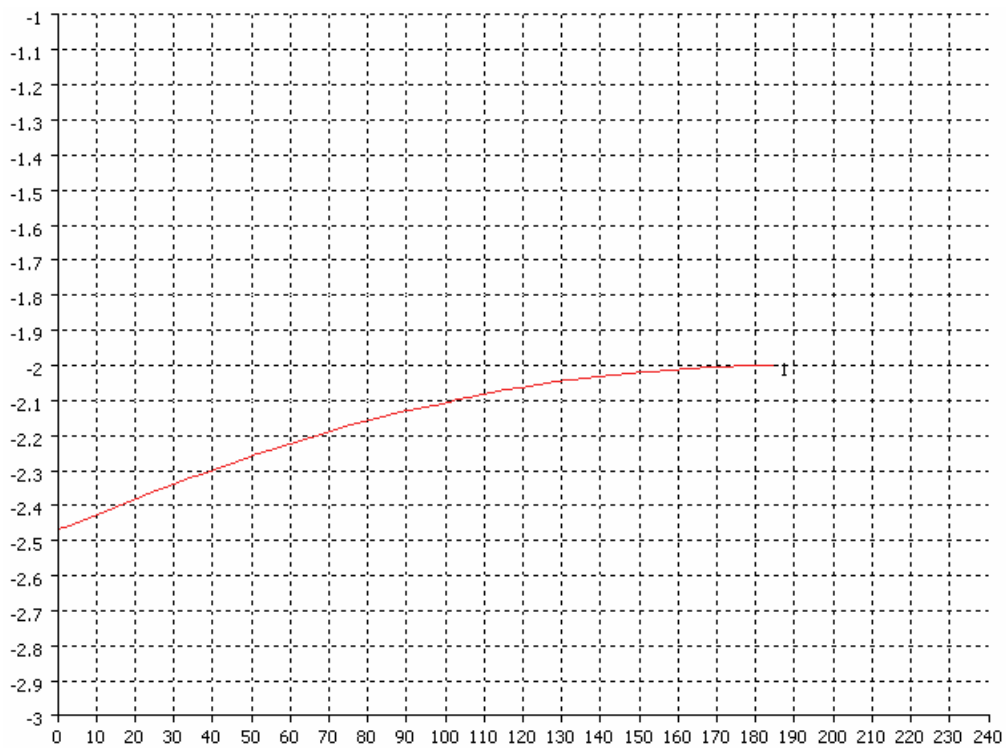
Figuur b5-1: Locatie dwarsprofiel op NS-emplacement



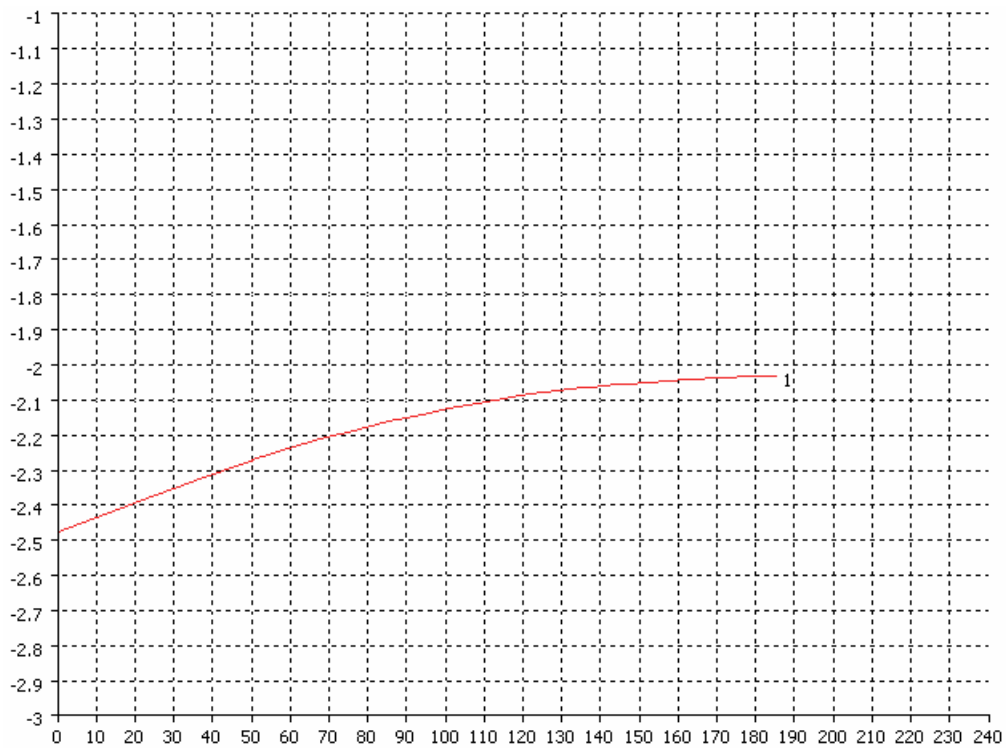
Figuur b5-2: Nulsituatie



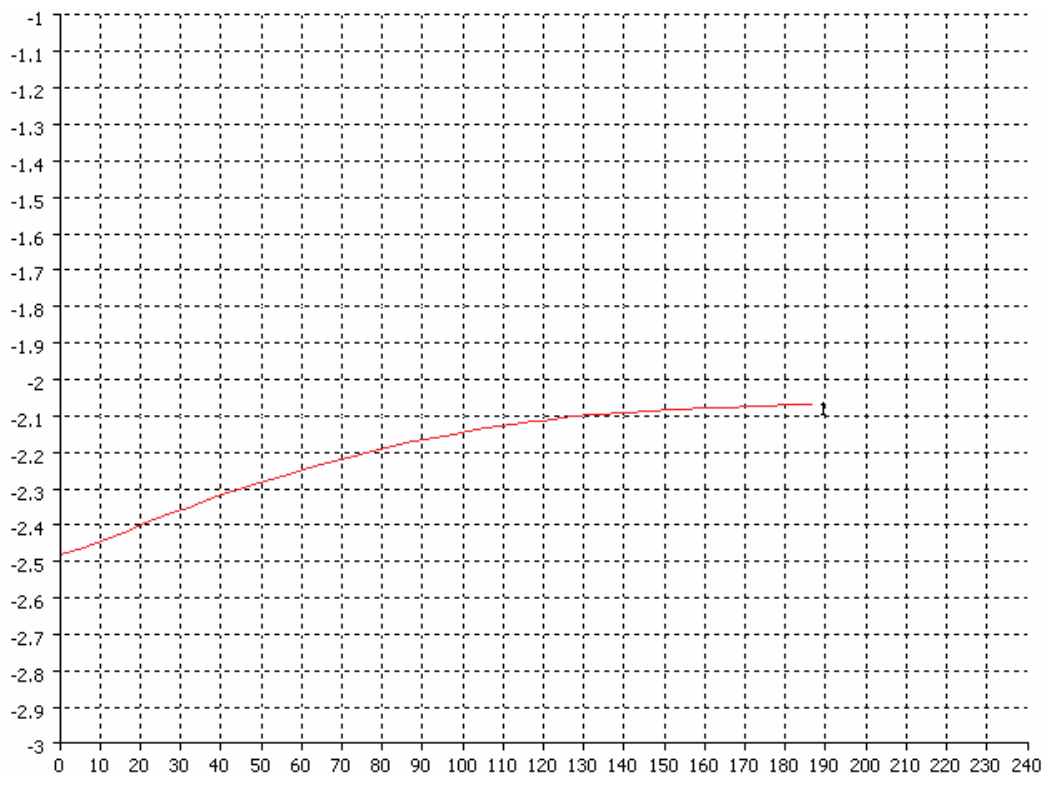
Figuur b5-3: Fase 1



Figuur b5-4: Fase 2



Figuur b5-5: Fase 3



Figuur b5-6: Fase 4

Bijlage 7 Modelresultaten met drainerend gebied

Bijlage 8 Achtergrondinformatie Bio-diep model

(Bijzonder Inventariserend Onderzoek Diep grondwater)

Kader

Milieubeleid Gemeentewerken Rotterdam heeft het Ingenieursbureau van Gemeentewerken Rotterdam opdracht gegeven voor het uitvoeren van een Bijzonder Inventariserend Onderzoek naar het regionale stromingsgedrag van het diepe grondwater binnen de regio Rijnmond. In dit onderzoek wordt de interactie tussen het eerste watervoerend pakket, de deklaag en het oppervlaktewater onderzocht. Het grondwatermodel is vervaardigd in de grondwatermodelcode Modflow (lit.4).

Regionale grondwaterstroming

Karakteristiek voor de grondwaterstromingssituatie in de omgeving van Rotterdam zijn de infiltrerende rivieren die lagergelegen binnendijkse poldergebieden doorkruisen. Het rivierwater infiltreert met name in het eerste watervoerend pakket. Uiteindelijk kwelt een deel van het infiltrerende rivierwater vanuit het eerste watervoerend pakket weer op in de lagergelegen poldergebieden. Het overige deel van het infiltrerende rivierwater stroomt af naar de diepere watervoerende pakketten of wordt afgevangen door onttrekkingen voor de industrie of drinkwatervoorziening (Figuur 1).

In de poldergebieden wordt het peil van het oppervlaktewater in sloten beheerst en het water kunstmatig afgevoerd naar het boezemwaterstelsel en uiteindelijk naar de grote rivieren. Vanuit de boezemwatergangen kan in drogere periodes water in de polder gelaten worden.

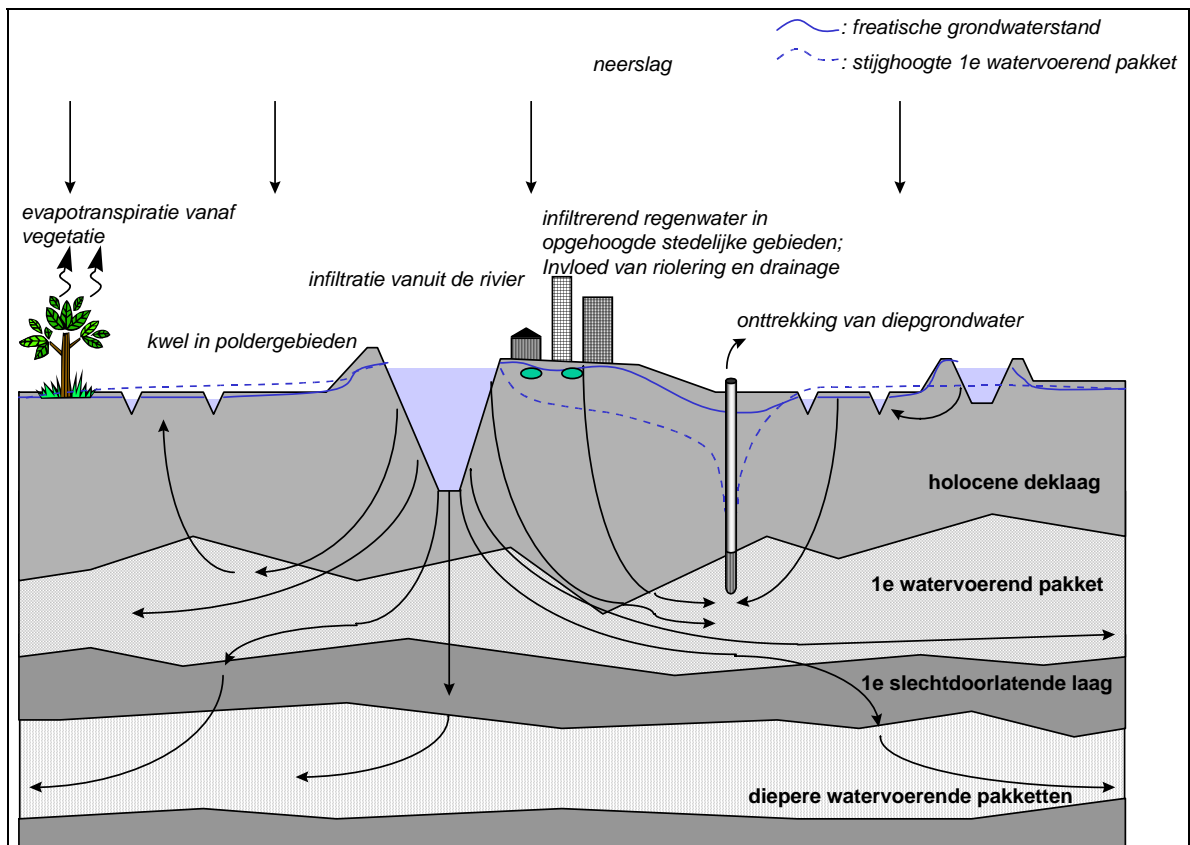
Afgezien van infiltrerend oppervlaktewater draagt de neerslag eveneens bij aan de grondwateraanvulling. De neerslag die op het land valt zal ten dele door diverse processen worden gereduceerd, alvorens het zal infiltreren en het grondwater aanvult:

- verdamping aan het oppervlak;
- interceptie en evapotranspiratie door vegetatie (respectievelijk verdamping vanaf het bladerdek en opname door wortels in combinatie met verdamping uit plantenporiën);
- oppervlakkige afstroming naar het oppervlaktewater en naar de riolering;
- verdamping uit de onverzadigde zone in het bodemprofiel;
- drainage door stedelijk waterbeheer (lekkende riolering, drainagesystemen etc.).

Het deel van de totale neerslag dat het grondwater zal aanvullen wordt de effectieve neerslag of het neerslagoverschot genoemd.

De watervoerende lagen in de ondergrond van Rotterdam komen in de gehele regio voor en zijn zelfs grotendeels in heel Nederland te vervolgen. Het diepe grondwater in de regio Rotterdam wordt derhalve ten dele door regionale instroming gevoed.

Op basis van beschikbare boringen heeft de toenmalige Dienst Grondwaterverkenning van TNO (DGV, thans NITG-TNO) de bodem van Nederland in geohydrologische zin geschematiseerd (lit.3). Het resultaat van deze schematisatie wordt beschreven in de grondwaterkaart van Nederland, die thans digitaal beschikbaar is in de vorm van REGISv3.2.



Figuur 1: profiel van regionale grondwaterstromingssituatie

Modelgebied

Het studiegebied van onderhavig onderzoek omvat de omgeving van Rotterdam vanaf de Noordzee in het westen tot aan Lekkerkerk in het oosten en vanaf de rivier de Waal in het zuiden tot aan de stad Delft in het noorden (Bijlage 1). Het betreft hetzelfde gebied waarvoor gegevens verworven zijn in het kader van REGISv3.2 (lit.1). Met het oog op de ligging van potentiële verontreinigingsbronnen en bedreigde objecten is een interessegebied gedefinieerd dat globaal het stedelijk gebied van de Rotterdam omvat, inclusief enige poldergebieden ten noorden en ten zuiden van de stad.

Modelopbouw

De bovengenoemde geohydrologische systemen zijn opgenomen in het model.

1. Hydrogeologie

Het model is opgebouwd uit 6 lagen waarmee de volgende lagen met behulp van GIS zijn verdisconteerd:

- Freatisch pakket (modellaag 1)
- Holocene deklaag (modellaag 2 en 3)
- Eerste watervoerend pakket (modellaag 4)
- Eerste slechtdoorlatende laag (modellaag 5)
- Tweede en derde watervoerend pakket en tweede scheidende laag (modellaag 6)

De weerstand is gebaseerd op geologische kaarten ([bron:TNO-NITG]. Bij de kalibratie is aan de hand van een groot aantal peilbuizen uit het achtergrondmeetnet van Gemeentewerken Rotterdam

de weerstand geoptimaliseerd. De c-waarde in het gebruikte model varieert ruimtelijk tussen 500 (dicht bij de rivier) en 11.500 dagen.

Voor het eerste watervoerende pakket is de dikte overgenomen uit Regis. De doorlatendheid van het eerste waterwatervoerende pakket is afgeleid uit pompproeven in het gebied [bron: Dino TNO en pompproeven uitgevoerd door IGWR]. Met de waarden uit de pompproeven is een gebiedsdekkende interpolatie gemaakt, waarbij gelet is op de wordingsgeschiedenis van de pleistocene zanden. De K-waarden in het gebruikte model variëren ruimtelijk tussen 40 en 60 m/dag.

De laag van Kedichem is voor zowel de laagdikte als de weerstand gebaseerd op Regis. Bij de kalibratie met beschikbare peilbuismetingen is de weerstand aangepast, op basis van beschikbare gebiedsinformatie. De c-waarden variëren in het gebruikte model tussen 1.500 en 8.000 dagen.

Naar aanleiding van grote bemalingen in Rotterdam die in het verleden zijn uitgevoerd (Willemspoortunnel, metrostations Beurs en Wilhelminaplein) zijn voor het centrum van Rotterdam 'standaardwaarden' afgeleid, nl. $\lambda = 1.500$, $KD = 900$ m²/dag en $c_{eff} = 2.500$ dagen. Deze zijn terug te vinden in het model waarbij opgemerkt wordt dat het model een meerlagen systeem is.

2. Topsysteem

In het model worden 4 verschillende oppervlaktewater topsystemen onderscheiden:

1. Rivieren, plassen/meren
2. Polders/peilbeheersingsgebieden
3. Stedelijke gebieden en havens zonder peilbeheersing
4. Vrijafwaterende gebieden

De ligging van de diverse topsystemen is op basis van GIS-kaarten van de betreffende waterschappen en hoogheemraadschappen in het model gevoerd. Voor onderhavige studie is met name belangrijk om de werking van de peilbeheerste gebieden te beschrijven.

Aangenomen wordt dat een peilbeheerst gebied makkelijker gedraineerd kan worden dan dat infiltratie optreedt. Het water ondervindt dus een geringere weerstand om uit het gebied te draineren dan om in het gebied te infiltreren. Derhalve is er een drainageweerstand ingevoerd die circa 2 x kleiner is dan de infiltratieweerstand.

Bij de kalibratie is gebleken dat diverse poldergebieden verschillend reageren. In diepere polders is de afwatering 'intensiever' dan in ondiepere polders; om de sterke kweldruk af te vangen is in diepe polders in de loop van de tijd een fijnmaziger netwerk aan sloten aangelegd. Dit zorgt ervoor dat de drainageweerstand in deze gebieden op regionale schaal geringer is dan in minder diepe polders. In Tabel 1 zijn de gehanteerde waarden weergegeven.

Tabel 1: deelgebieden polderweerstand

Deelgebied	Weerstand [dag/m ² celopp.]	Weerstand drainage [dag/m ² celopp.]
Delfland	600	300
Schieland	100	50
IJsselmonde	1000	500
Spijkernisse-Hoogvliet	200	100
Oostvoorne - Bernise	1000	500
Zwijndrecht	200	100

3. Neerslagoverschot

Aangenomen wordt dat de totale neerslag en *Makkingverdamping* voor het referentie gewas (kort gras) in de *kalibratieperiode*, afkomstig van het meetpunt Zestienhoven voor de gehele regio representatief is. Het neerslagoverschot (deel van de neerslag dat het grondwater aanvult) is in het model verdisconteerd op basis van landgebruikstypes. De landgebruikstypes en bijbehorende effectieve neerslag is in het model gevoerd met behulp van GIS.

Modelnetwerk

Het modelnetwerk is tamelijk grof en derhalve niet direct geschikt om de afmalingscontouren van een bemaling op locatieniveau nauwkeurig te kunnen berekenen. Wel kan met het model de 10 cm verlagingscontour nauwkeurig worden vastgesteld. Bij grote spanningsbemalingen waarvan het invloedsgebied zich ver uitstrekt, zijn regionale verschillen in de grondwaterstromingsystemen (met name het topsysteem) maatgevend voor de ligging van de 10 cm verlagingscontour.

Literatuur

1. Streng, J.M.A./A.Pepels/E. de Heer, Integrale Grondwaterverkenning Stadsregio Rotterdam. Fase 1: Inventarisatie en karakterisatie. TNO/NITG en I-bureau Gemeentewerken Rotterdam. Rotterdam, 7 januari 1999. Gegevens zijn opgenomen in REGISv3.2
2. TNO, 1984, Grondwaterkaart van Nederland, Rotterdam, 37 west, 37 oost, rapportnummer: GWK 35
3. Rijksgeologische Dienst, 1979, Geologische kaart van Nederland 1:50.000, kaartblad Rotterdam West NITG-TNO, 1998, Geologische kaart van Nederland 1:50.000, kaartblad Rotterdam Oost
4. McDonald, M.G., Harbaugh, A.W., 1988, 1996, A Modular Three-Dimensional Finite Difference Groundwater-Flow-Model, Techniques of Water Resources Investigations 06-A1, United States Geological Survey.

Bijlage 9 Vergelijking met eerdere modelresultaten

In 2006 zijn met een eerdere versie van het MCS model berekeningen uitgevoerd naar de opstuwing aan de noordzijde van de bouwput [3].

Uit deze berekeningen volgde een opstuwing tot maximaal 1,0 m. In het model uit 2006 was voor het grootste gedeelte van het gebied aan de zuidzijde van NS-emplacement een drainagesysteem ingevoerd, waardoor er geen verlaging van de freatische grondwaterstand kon worden berekend. In het huidige model is dit aangepast en kan de verlaging wel worden berekend.

Deze modelresultaten uit 2006 wijken af van de resultaten van de recente modelberekeningen, waar een opstuwing van maximaal 0,25 m wordt berekend (zie par. 5.1). De verschillen zijn grotendeels te verklaren door verschillen in gebruikte parameters in het model. Het huidige model is op basis van nieuwe gegevens geoptimaliseerd en meer geschikt gemaakt voor het berekenen van freatische grondwaterstanden. De verschillen zijn weergegeven in tabel 6.

Tabel 6: Modelparameters huidige en modelberekeningen 2006

parameter	Eenheid	MCS-model 2006a	Huidig model
Dikte freatisch pakket NS-emplacement	m	3 à 4	10 à 11
Doorlaatvermogen (kD) NS-emplacement	m ² /dag	1	20 à 22
omgeving Stationsplein		2,5	10 à 15 (dikte x 2,5)
Hoeveelheid neerslag NS-emplacement	mm/dag	0,45	1,8
omgeving Stationsplein		0,55	0,05
buiten Stationsplein		0,57	0,1
Drainageniveau Stationsplein	m	-2,3	niet mee gerekend
zuidelijk van Stationsplein		-2,3	-2,6
Drainageweerstand tussen empl. en bouwput	m/dag	0	niet mee gerekend
Stationsplein		50	niet mee gerekend
zuidelijk van Stationsplein		50	500

- In het model van 2006 is het doorlaatvermogen van het NS-emplacement veel kleiner, waardoor de neerslag die erop valt minder snel afstroomt. Doordat er een veel kleinere effectieve neerslag is aangehouden, wordt wel hetzelfde freatische grondwaterniveau in de nulsituatie berekend als met het huidige model.
- De hoeveelheid effectieve neerslag op het gebied direct ten zuiden van het NS-emplacement en ten noorden van de bouwkuipen van MCS en de Conradstraat, is in het model 2006 10 keer groter dan in het huidige model. Dit geeft veel meer opstuwing. Daarbij is er in het model 2006 op deze locatie wel een drainagesysteem ingevoerd, maar met een weerstand van 0 dagen, waardoor de neerslag niet afgevoerd wordt.
- In het model 2006 was de fietsenstalling onder het voormalige NS-station ingevoerd als object met een vaste freatische grondwaterstand.

Bijlage 10 Rioolkaart Stationsplein e.o.