



**Deltares-rapport**

**Bodem- en  
Grondwatersystemen**  
Princetonlaan 6  
Postbus 85467  
3508 AL Utrecht

[www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)

T 030 256 47 50  
F 030 256 48 55  
[info@deltares.nl](mailto:info@deltares.nl)

**2008-U-R0960/A**

**Grondwatereffecten aan de oppervlakte (gebracht)**

*Onderzoek naar effecten van stopzetting*

*grondwateronttrekking DSM Delft - Hoofdrapport*

Datum	november 2008
Auteur(s)	Frans Roelofsen
	Mede-auteurs: Neeltje Goorden, Jelle Buma, Serge van Gessel, Bart Goes, Ger de Lange, Hans van Meerten, Niels van Oostrom, Gu Oude Essink, Frederiek Sperna Weiland, Hans Veldkamp, Toine Vergroesen, Jarno Verkaik en Hans Gehrels
Onderzoekspartners	Provincie Zuid Holland Hoogheemraadschap van Delfland Gemeente Delft Delft Cluster
Projectnummer	092.35161
Aantal pagina's	102 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Goedgekeurd door	Hans Gehrels

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Deltares.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan Deltares, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het Deltares-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.



## Managementsamenvatting

### Achtergrond

Sinds 1916 wordt in het centrum van Delft grondwater onttrokken. In de loop van de jaren is de hoeveelheid gestaag toegenomen. In 1996 is aan DSM Gist vergunning verleend om 13,5 miljoen m<sup>3</sup> per jaar te onttrekken. De situatie is echter veranderd, DSM Gist heeft aangegeven het grondwater niet meer nodig te hebben. Delft, de omliggende gemeenten en andere belanghebbenden zullen daarop moeten anticiperen.

De Provincie Zuid Holland, het Hoogheemraadschap van Delfland en de gemeente Delft hebben daarom het initiatief genomen voor een onderzoek dat deels wordt gesubsidieerd door Delft Cluster (DC). Het onderzoek is uitgevoerd door TNO, WL Delft Hydraulics en Geo Delft (sinds 2008 opgegaan in Deltares). Deze organisaties bundelden hun kennis van ondergrond, bodem en (grond)water.

Door middel van een Quicksan in 2005 is kwalitatief inzicht verkregen in de mogelijke effecten van reductie van de winning onderverdeeld naar de thema's: grondwaterstijging, geotechniek en grond- en oppervlaktewaterkwaliteit. De resultaten van deze scan zijn aanleiding geweest voor vervolgonderzoek waarvan hieronder de uitkomsten worden weergegeven. Het vervolgonderzoek bestaat uit de ontwikkeling van zowel een monitoringstrategie als ook een state-of-the-art modelinstrumentarium om meer in detail uitspraken te kunnen doen over de mogelijke effecten en maatregelen.

### Modelinstrumentarium

Het modelinstrumentarium bestaat uit een 3D geologisch model van de ondergrond op basis waarvan een regionaal grondwatermodel (Modflow) ontwikkeld is waarmee ook detailberekeningen (25x25m) mogelijk zijn. Van daar uit is een kwaliteitsmodel (Mocdens 3D) ontwikkeld dat transport van zout en brak grondwater simuleert. Gekoppeld met het oppervlaktewatermodel (Sobek) levert het inzicht in de kwaliteitsontwikkeling van grond- en oppervlaktewater. De mate waarin bodembeweging zal plaatsvinden is bepaald met behulp van het geotechnische model waarin het geologische 3D model van de ondergrond en de berekende grondwaterstanden zijn opgenomen, aangevuld met noodzakelijke zettingsparameters. Elk model bevat recente gegevens die zoveel mogelijk in detail zijn ingebracht. Ondanks dat, kennen die basisgegevens en de verschillende modelinstrumenten hun eigen betrouwbaarheid. Dat is meegewogen in de analyse van de modeluitkomsten en is van belang bij (toekomstige) gebruiksmogelijkheden van de modellen. De werking van het grondwatermodel is geanalyseerd en geijkt op gemeten reeksen van grondwaterstanden.

### Monitoringnetwerk

Speciaal gericht op de problematiek van de winning is een monitoringstrategie ontwikkeld voor de genoemde thema's grondwaterstijging, geotechniek en grond- en oppervlaktewaterkwaliteit.

Monitoring wordt van groot belang geacht omdat het informatie levert over de nul-situatie en zo de mogelijkheid biedt om in de toekomst het effect van de winning te onderscheiden van andere effecten. Daarnaast zijn de uitkomsten bruikbaar om gedane

modelvoorspellingen te verifiëren en waar nodig het modelinstrumentarium te verbeteren. Belangrijk is dat monitoring de mogelijkheid biedt om tijdens het verminderen van het debiet eventuele problemen te identificeren.

Bij de ontwikkeling van het monitoringnetwerk is waar mogelijk aansluiting gezocht bij bestaande meetpunten. Daarnaast worden nieuwe meetpunten geadviseerd op plaatsen waar onvoldoende dekking is. De monitoring op het gebied van grondwateroverlast, grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit bevindt zich op dit moment in de aanbestedingsfase. De kosten daarvoor zijn geraamd op 190 kEUR (aanleg) en 150 kEUR (jaarlijkse exploitatie). Deze kosten worden op basis van taakstelling gedeeld door de betrokken partijen.

De monitoring voor geotechniek is nog in onderzoek en wordt voorlopig geraamd op een jaarlijkse exploitatie van 350 kEUR naast de eenmalige aanlegkosten van 470 kEUR.

### **Onderzoeksopzet**

De kern van het onderzoek is de uitvoering van een geïntegreerde modelstudie die de gevolgen van de stopzetting en effecten van mogelijke maatregelen in kaart brengt. Omdat het onderzoek strategische keuzes moet ondersteunen is nadrukkelijk gekeken naar drie verschillende winningregimes ten opzichte van de gemiddelde onttrekking van 1400 m<sup>3</sup>/uur in de periode tot 2005, namelijk 1000, 800 en 0 m<sup>3</sup>/uur. Gedurende het onderzoek zijn diverse bijeenkomsten georganiseerd waarin vertegenwoordigers van de betrokken overheden en belanghebbenden betrokken zijn in het proces en bij de ontwikkeling van het modelinstrumentarium.

### **Uitkomsten**

De verschillende simulatiemodellen geven inzicht in de gevolgen van de (gedeeltelijke) stopzetting van de winning. De vier belangrijkste onderwerpen gelet op de impact (kosten) zijn kadestabiliteit, drainage als maatregel om grondwateroverlast te voorkomen, oppervlaktewaterkwaliteit en schade aan panden.

De uitkomsten zijn vergeleken met onderzoek dat Royal Haskoning in 2005 heeft uitgevoerd. Er is overeenstemming over de effecten op grondwateroverlast bij verregaande reductie en sluiting van de winning. Het Delft Cluster onderzoek gaat verder door effectberekeningen uit te voeren voor de onderwerpen waterkwaliteit en bodembeweging. De conclusie dat reductie tot een permanente onttrekking op winterdebiet geen problemen oplevert, is onvoldoende onderbouwd en houdt geen rekening met het risico dat kadestabiliteit kan optreden.

### **Kadestabiliteit**

Reductie van de winning veroorzaakt een toename van de grondwaterdruk in de ondergrond die zou kunnen leiden tot instabiliteit van kades. Delfland laat momenteel onderzoeken hoeveel kilometer kade daadwerkelijk risico loopt en bij welke toename van de grondwaterdruk het risico niet meer aanvaardbaar is. Schattingen van het aantal kilometer te herstellen kade lopen daardoor sterk uiteen.

Bij een geringe winningreductie (tot 1000 m<sup>3</sup>/uur) en uitgaande dat de kades beperkt gevoelig zijn bedragen de kosten voor 25 km kadeverbetering 5 miljoen Euro. Wordt de winning echter geheel gesloten en mocht blijken dat kades kwetsbaarder zijn, dan moet

er tussen de 125 km en 200 km kade worden hersteld waarvoor de kosten respectievelijk 25 en 40 miljoen Euro bedragen. Bij het tussenscenario (800 m<sup>3</sup>/uur) moet tussen de 60 km en 110 km kade worden hersteld waarvoor de kosten respectievelijk 12 en 21 miljoen Euro bedragen.

### **Grondwateroverlast - maatregel drainage**

Reductie van de winning leidt tot toename van de grondwaterstanden aan maaiveld. In gebieden met een kritische grondwaterstand kan dat tot problemen leiden. In samenspraak met de belanghebbende partijen is vastgesteld wat de maximale omvang van de overlastgebieden is waar eventueel drainage noodzakelijk is. Bij een winningreductie (tot 1000 m<sup>3</sup>/uur) zijn de aanlegkosten voor 200 ha drainage circa 8,5 miljoen Euro. Bij sluiting lopen de kosten op tot 27,5 miljoen Euro (voor 600 ha drainage). Bij het tussenscenario (800 m<sup>3</sup>/uur) is naar verwachting 300 ha drainage nodig waarvan de aanlegkosten op 13,1 miljoen worden geschat.

### **Oppervlaktewaterkwaliteit**

Sluiting van de winning beïnvloedt de grondwaterstroming waardoor de kans bestaat dat brak grondwater in het oppervlaktewater terecht komt. Wanneer de chlorideconcentratie boven de norm uitkomt, is doorspoelen met zoet water nodig. In tegenstelling tot eerdere schattingen leidt stopzetten van de winning niet tot zulke grote veranderingen in de concentraties dat extra investeringen nodig zijn om de doorspoelcapaciteit te vergroten.

### **Geotechniek**

Een belangrijk gevolg van stijging van de grondwaterstand door reductie van de winning is verticale bodembeweging (zwell). De inschatting is dat op sommige plekken deze rijzing van het maaiveld zeer snel kan volgen op de reductie van de winning. Het is de vraag of sommige panden deze rijzing kunnen ondergaan. Net als in de Quicksan is de schatting dat mogelijk een zeer lichte tot matige schade (o.a. gedefinieerd als 'scheuren van maximaal 1,5 cm') zal optreden wanneer de winning wordt gesloten, voornamelijk aan op staal gefundeerde panden. Samen met een inschatting van schade aan monumenten wordt de effectreducerende maatregelen bij sluiting van de winning geschat op 9 miljoen Euro. Hierin zijn niet opgenomen de mogelijke effecten bij bedrijfspanen op het terrein van DSM en eventuele oprijfrisco's van kelderconstructies. Worden alle onzekerheden meegenomen dan kan het bedrag oplopen tot 33 miljoen Euro.

Monitoring is zeker voor dit thema essentieel om meer inzicht te krijgen in het werkelijke gedrag van de ondergrond en de reactie van constructies daarop.

### **Overige onderdelen**

Naast bovenstaande onderdelen zijn de kosten voor andere posten ingeschat. Gezamenlijk komen deze uit op een omvang van enkele miljoenen euro's. Het betreft onder meer kosten voor het aanpassen of inrichten van grondwater- en bodemsaneringen, extra waterbezwaar van rioolvreemd water op de RWZI, en extra drainage voor de verdiepte A4 en station Rijswijk.

Voor wat betreft de bodemverontreinigingen zullen alleen locaties in Delft, Rijswijk, Pijnacker-Nootdorp en een deel van Midden Delfland mogelijk beïnvloed worden. Bij stopzetting van de winning worden verontreinigingen in die gebieden niet meer ingevangen door de winning en zal eigen sanering nodig zijn maar dan allen in die gevallen waarbij geen natuurlijke afbraak optreedt.

Naast drainage is reallocatie van de winning onderzocht als maatregel om gericht negatieve effecten te beperken. Daarbij is gekeken in hoeverre het verstandig zou zijn om het gereduceerde onttrekkingsdebiet (deels) buiten het DSM terrein te realiseren naar die locaties buiten het DSM terrein waar de negatieve effecten het grootst zijn. Gebleken is dat reallocatie technische gezien geen effectieve maatregel is.

### **Toekomstmogelijkheden van de winning**

Reductie van de winning is niet zonder meer mogelijk. Uit de modelstudie blijkt dat er verschillende maatregelen (zoals drainage en aanpassing van kadeconstructies) genomen moeten worden om negatieve effecten van reductie te voorkomen of te beperken. De aanleg van een monitoringsysteem voorafgaand aan reductie is essentieel, alleen dan kunnen de effecten goed gemonitord worden en kunnen maatregelen afgestemd worden op de werkelijkheid. Gezien de onzekerheid van het optreden van effecten moeten de reductiestappen (zeker in de beginfase) klein gekozen worden. De grootte van de reductiestap zal proefondervindelijk worden bepaald waarbij als indicatie een reductie van 50 m<sup>3</sup>/uur wordt voorgesteld. De reductie moet voorafgegaan worden door een goede nulmeting voor de verschillende thema's.

Het onderzoek heeft zich geconcentreerd op de effecten van vermindering of stopzetting van de grondwateronttrekking. Nu de verwachting is dat een aanzienlijke investering gedaan moet worden om negatieve effecten van - ook een beperkte - reductie te voorkomen of te beperken, is het noodzakelijk om de winning voor langere tijd op een relatief hoog debiet voort te zetten. Om die reden is het - mede vanuit de duurzaamheidsgedachte - zinvol om onderzoek te doen naar mogelijkheden van hergebruik van dit water. Een dergelijk onderzoek wordt inmiddels uitgevoerd.

### **Conclusie en aanbeveling**

- Het stopzetten van de winning zonder het treffen van adequate maatregelen leidt tot extra grondwateroverlast, verhoging van risico's op kadeinstabiliteit en verhoging van risico's op matige schade aan panden en constructies. Ook bij reductie van de winning zullen maatregelen nodig zijn.
- De belangrijkste maatregel om grondwateroverlast te voorkomen, is het aanleggen van drainage. Bij een debiet van 1000 m<sup>3</sup>/uur is naar schatting 40 km drainage nodig in Delft, Rijswijk, Den Haag. De kosten hiervoor bedragen ca. 8,5 miljoen euro. De termijn waarop dit redelijkerwijs kan worden aangelegd bedraagt 5 tot 10 jaar en kan oplopen tot tientallen jaren wanneer niet aangesloten wordt bij rioolvervangingsprogramma's.
- Kadeherstel is de maatregel om schade aan kadelichamen te voorkomen. Bij een debiet van 1000 m<sup>3</sup>/uur moet, afhankelijk van het risico op detailniveau, 25 tot 75 km kade worden onderzocht en mogelijk hersteld. Omdat uitvoering ook jaren kan duren is kadeherstel samen met drainageaanleg bepalend voor de snelheid waarmee reductie van de winning mogelijk is.

- Delft en omgeving hebben te maken met bodemdaling. Een positief effect van het stopzetten van de winning is dat bodemdaling door veenoxidatie zal afnemen. Zeer lichte tot matige schade aan op staal gefundeerde panden kan echter optreden op plaatsen waar bodemrijzing (door zwel) verwacht wordt. Om het werkelijke effect met monitoring te kunnen volgen en vanwege de onzekerheid op verschillende punten heeft langzame afname van de winning de voorkeur boven snelle reductie.
- In het geval dat de winning volledig wordt gesloten zal er op termijn slechts een zeer geringe toename van de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater plaatsvinden die met de beschikbare doorspoelcapaciteit te beheersen is.
- Om de drie winningsscenario's te kunnen vergelijken zijn de netto contante waarden voor de verschillende posten bepaald. De gemiddelde netto contante waarden voor de scenario's zijn achtereenvolgens 20 miljoen Euro (1000 m<sup>3</sup>/uur), 30 miljoen Euro (800 m<sup>3</sup>/uur) en 67 miljoen Euro (winning uit).
- Monitoring van de verschillende effecten is van groot belang. Een nulmeting dient als referentie voor toekomstige veranderingen. Vervolgmonitoring maakt het mogelijk nadelige effecten tijdig te signaleren waarna maatregelen getroffen kunnen worden en het wordt duidelijk welke effecten daadwerkelijk het gevolg zijn van verandering in de winning. Daarnaast maken nieuwe meetgegevens het mogelijk meer betrouwbare voorspellingen te doen voor verdere reductie.
- Op grond van bovenstaande verdient het de voorkeur om bij reductie een voorzichtige strategie te volgen waarbij gelijktijdige monitoring van de gevolgen een centrale rol speelt. Bij ongewenste effecten is dan tijdig ingrijpen mogelijk. De daadwerkelijke strategie hangt ook af van de genomen maatregelen. De grootte van de reductiestap zal proefondervindelijk worden bepaald waarbij als indicatie een reductie van 50 m<sup>3</sup>/uur wordt voorgesteld.





# Inhoudsopgave

	<b>Managementsamenvatting .....</b>	<b>3</b>
	<b>Voorwoord.....</b>	<b>13</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding.....</b>	<b>15</b>
1.1	Achtergrond .....	15
1.2	Totstandkoming van het onderzoek .....	16
1.3	Beschrijving van de afgeronde fase 1 van het onderzoek, de Quickscan .....	16
1.4	Onderzoeksgebied.....	17
1.5	DSM Gist.....	18
1.6	Leeswijzer.....	19
1.7	Rapportages in DSM verband.....	20
<b>2</b>	<b>Onderzoeksaanpak .....</b>	<b>21</b>
2.1	Probleemanalyse .....	21
2.2	Onderzoeksdoelen.....	21
2.3	Organisatiestructuur.....	22
2.4	Betrokkenheid partijen en relatie bestuurlijk overleg .....	22
2.5	Promovendus .....	23
2.6	Rol van de monitoringstrategie.....	23
<b>3</b>	<b>Beschrijving watersysteem voor het onderzoeksgebied.....</b>	<b>27</b>
3.1	Het grondwatersysteem.....	27
3.2	Grondwaterkwaliteit .....	30
3.3	Oppervlaktewater .....	31
<b>4</b>	<b>Ontwikkeling modelinstrumentarium .....</b>	<b>33</b>
4.1	Innovatie vanuit Delft Cluster onderzoek .....	33
4.2	Grondwatermodel kwantiteit .....	33
4.3	Grondwatermodel kwaliteit .....	36
4.4	Oppervlaktewaterkwaliteit.....	37
4.5	Bodembeweging .....	39
4.6	Nauwkeurigheid van het model .....	40
4.7	Gebruiksmogelijkheden modelschil iMOD .....	42
4.8	Doorkijk naar overige toepassingen.....	43
<b>5</b>	<b>Effecten van reductie van de winning en maatregelen .....</b>	<b>47</b>
5.1	Inleiding.....	47
5.2	Effect op (on)diep grondwater .....	47
5.3	Geotechniek .....	50
5.4	Grondwaterkwaliteit .....	53
5.5	Oppervlaktewaterkwaliteit.....	56
5.6	Saneringen en grondwaterverontreinigingen .....	56
5.7	Mogelijke maatregelen .....	57
<b>6</b>	<b>Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA).....</b>	<b>61</b>
6.1	Inleiding.....	61
6.2	Toelichting op methode van kwantificering + gevolgen stopzetting .....	61
6.3	Kosten en baten van de alternatieven.....	78

6.4	Slotconclusies .....	80
<b>7</b>	<b>Toekomstmogelijkheden winning.....</b>	<b>83</b>
7.1	Inleiding.....	83
7.2	Belangrijkste conclusies .....	83
7.3	Alternatieven.....	84
7.4	Fasering.....	85
7.5	Tijds- en kostenaspecten.....	87
<b>8</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen.....</b>	<b>91</b>
8.1	Conclusies.....	91
8.2	Aanbevelingen .....	93
<b>9</b>	<b>Referenties .....</b>	<b>95</b>

### Bijlage(n)

A Vergelijkende analyse onderzoek Royal Haskoning

## Lijst van figuren en tabellen

### Figuren

<i>FIGUUR 1.1: STIJGHOOGTEN IN HET EERSTE WATERVOEREND PAKKET (IN METERS T.O.V. NAP).</i>	15
<i>FIGUUR 1.2: KWALITATIEVE INSCHATTING ZONEGRENZEN EFFECTEN VOLGENS QUICKSCAN UIT 2005 .....</i>	18
<i>FIGUUR 1.3: DEEL VAN HET DSM TERREIN WAAR BRONNEN GEÏNSTALLEERD ZIJN .....</i>	18
<i>FIGUUR 2.1: ORGANISATIESTRUCTUUR.....</i>	22
<i>FIGUUR 3.1: STIJGHOOGTEPAAIRVOOR HET EERSTE WATERVOEREND PAKKET IN METERS T.O.V. NAP.....</i>	28
<i>FIGUUR 3.2: VERTICALE STROMINGSRICHTING IN DE DEKLAAG RICHTING WATERVOEREND PAKKET (BLAUW) EN RICHTING ONDIEP GRONDWATER (ROOD) .....</i>	29
<i>FIGUUR 3.3: GESCHATTE CHLORIDECONCENTRATIE [MG/L] DIRECT ONDER DEKLAAG .....</i>	30
<i>FIGUUR 3.4: BEHEERSGEBIED HOOGHEEMRAADSCHAP VAN DELFLAND (BRON: WEBSITE DELFLAND).....</i>	31
<i>FIGUUR 4.1: LIGGING EN OMVANG VAN HET MODELGEBIED .....</i>	34
<i>FIGUUR 4.2: SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN HET BOEZEMSYSTEEM .....</i>	37
<i>FIGUUR 4.3: TYPEN MODELKNOPEN .....</i>	38
<i>FIGUUR 5.1: TOENAME VAN DE STIJGHOOGTE DOOR AFNAME WINNING TOT (A) 1000 M<sup>3</sup>/JAAR (B) 800 M<sup>3</sup>/JAAR (C) 400 M<sup>3</sup>/JAAR EN (D) SLUITING .....</i>	48
<i>FIGUUR 5.2: MET GRONDWATERMODEL BEREKENDE TOENAME VAN DE FREATISCHE GRONDWATERSTAND TEN GEVOLGE VAN SLUITING VAN DE WINNING (ZIE OOK HET VOORBEHOUD) .....</i>	50
<i>FIGUUR 5.3: KADEN MET STIJGHOOGTEVERANDERING &gt; 0,25 M BIJ EEN WINNING VAN 1000M<sup>3</sup>/UUR .....</i>	51
<i>FIGUUR 5.4: BEREKENDE OMVANG VAN DE MAAVELDRIJZING [EINDWAARDE IN METERS]. ZIE OOK HET VOORBEHOUD .....</i>	52
<i>FIGUUR 5.5: MAXIMALE CONCENTRATIETOENAME [MG/L] IN HET OPPERVLAKTEWATER VAN DELFLAND T.G.V. STOPZETTING VAN DE WINNING .....</i>	53
<i>FIGUUR 5.6: DRAAIRICHTING VAN DE GRONDWATERSTROMING TEN GEVOLGE VAN SLUITING VAN DE WINNING.....</i>	57

<i>FIGUUR 5.7: WORKSHOPRESULTAAT: KAART MET GEBIEDEN WAARBINNEN DRAINAGE WAARSCHIJNLIJK NOODZAKELIJK BIJ STOPZETTING .....</i>	58
<i>FIGUUR 6.1: BELANGRIJKSTE TYPE FUNDERING EN BOUWPERIODE.....</i>	64
<i>FIGUUR 6.2: RIJZING [IN M], BUURTEN EN VOORKOMEN PANDEN MET STAALFUNDERING EN MONUMENTEN .....</i>	65
<i>FIGUUR 6.3: GRAFIEKEN MET AANTAL KM RISICOVOLLE KADES BIJ VERSCHILLENDE NIVEAUS VAN DE WINNING EN VERSCHIL IN GEVOELIGHEID .....</i>	74
<i>FIGUUR 6.4: BODEMDALING ALS GEVOLG VAN VEENOXIDATIE NA 30 JAAR MÉT ONTTREKKING...</i>	76
<i>FIGUUR 6.5: KOSTEN VOOR DE VIER ALTERNATIEVE ONTTREKKINGSDEBIETEN .....</i>	81
<i>FIGUUR 9.1: AANDACHTSGEBIEDEN BIJ REDUCTIE ONTTREKKING VAN 1200 NAAR 500 M<sup>3</sup>/UUR ...</i>	3
<i>FIGUUR 9.2: AANDACHTSGEBIEDEN BIJ REDUCTIE ONTTREKKING VAN 1200 NAAR 0 M<sup>3</sup>/UUR .....</i>	4

## Tabellen

<i>TABEL 3.1: GEBIEDSWATERBALANS DELFLAND 2003 .....</i>	32
<i>TABEL 4.1: INDICATIEVE REKENTIJDEN VOOR DE VERSCHILLENDE (DEEL)MODELLEN.....</i>	43
<i>TABEL 5.1: VERANDERING VAN DE VERTICALE FLUX IN DE DEKLAAG.....</i>	54
<i>TABEL 6.1: INVENTARISATIE AANTAL PANDEN MET OVERWEGEND STAALFUNDERING, VERDEELD NAAR MATE VAN ZETTING, DSM-TERREIN EN RIJSWIJK NIET MEEGENOMEN .....</i>	66
<i>TABEL 6.2: INDELING IN SCHADEKLASSEN VOOR SCHADE AAN BELENDINGEN [BOSCARDIN]. DE SCHADEKLASSEN 1 EN 2 WORDEN AANGEMERKT ALS ARCHITECTONISCHE SCHADE, SCHADEKLASSEN 3 T/M 5 ALS CONSTRUCTIEVE SCHADE. HERSTELKOSTEN VOLGENS INDICATIEVE SCHATTING .....</i>	67
<i>TABEL 6.3: MOGELIJK VOORKOMENDE SCHADE AAN PANDEN NA STOPPEN WINNING, UITGAANDE VAN VERSCHILFACTOR 0,5 IN ZAKKING EN KARAKTERISTIEKE LENGTE VAN 10 M .....</i>	68
<i>TABEL 6.4: MOGELIJKE SPREIDING QUA SCHADE AAN PANDEN IN DELFT MET STAALFUNDERING NA SLUITING WINNING.....</i>	68
<i>TABEL 6.5: PROGNOSE VAN SCHADE AAN BELENDINGEN DOOR VOLLEDIG STOPZETTEN VAN ONTTREKKING .....</i>	69
<i>TABEL 6.6: VERZAMELDE INVESTERINGSKOSTEN EN JAARLIJKSE KOSTEN PER WINNINGALTERNATIEF .....</i>	78
<i>TABEL 6.7: NETTO CONTANTE WAARDEN PER POST VOOR DRIE ALTERNATIEVEN .....</i>	80
<i>TABEL 7.1: ACTIVITEITEN EN FASERING VOOR ALTERNATIEF 2 'WINNING OPTIMAAL REDUCEREN' .....</i>	88



## Voorwoord

Deze rapportage vormt de centrale rapportage van het Delft Cluster onderzoek gericht op de reductie van de grondwaterwinning van DSM gist in Delft en de effecten daarvan op de ondergrond en het (grond)watersysteem.

Het onderzoek is uitgevoerd door de TNO (Business unit Bodem en Grondwater), WL Delft Hydraulics en GeoDelft in directe samenwerking met de provincie Zuid Holland, het Hoogheemraadschap van Delfland en de gemeente Delft.

Vanaf januari 2008 zijn de drie organisaties achter de uitvoerende partijen door een fusie samengekomen in het nieuwe onderzoeksinstituut Deltares.

In het kader van het Delft Cluster onderzoek zijn naast deze hoofdrapportage drie gerelateerde rapportages verschenen.

- In 2005 is de **Quickscan** DSM-spoorzone (Gehrels e.a. 2005) uitgebracht waarin de problematiek rond reductie van de winning op kwalitatieve wijze is verkend en waarin aanbevelingen voor nader onderzoek zijn geformuleerd. Er wordt in de tekst regelmatig verwezen naar deze publicatie. Dat gebeurt dan eenvoudig door te verwijzen naar ‘de Quickscan’.
- Onderdeel van het onderzoek is het advies om een **integraal monitoringnetwerk** in te richten om toekomstige ontwikkelingen rond de winning te kunnen volgen, te kunnen verklaren en het te ontwikkelen modelinstrumentarium te optimaliseren. Een beschrijving van het voorgestelde netwerk is afzonderlijk gerapporteerd (Roelofsen 2008).
- Uitspraken over zowel de effecten van reductie als de efficiëntie van maatregelen zijn gebaseerd op berekeningen met de ontwikkelde modelinstrumenten. Het betreft het grondwater model voor kwantiteit en kwaliteit, het oppervlaktewatermodel en het bodemdalingsmodel. Een technische beschrijving van de totstandkoming van die afzonderlijke instrumenten is in een afzonderlijk **technisch rapport** gepubliceerd.

Vanaf begin 2007 is het Delft Cluster onderzoek als case-study gebruikt binnen de promotiestudie van Tom Raadgever, promovendus van de Technische Universiteit Delft. Hij onderzoekt in hoeverre samenwerking tussen onderzoekers, beleidsmakers en andere belanghebbenden leidt tot leren, met een focus op leren van specialistische (model)kennis. Noodzakelijke gegevensinput is verkregen door observatie, enquêtering en interviews rond de verschillende bijeenkomsten en bij de diverse betrokken partijen. De uitkomsten zullen naar verwachting in de loop van 2009 beschikbaar komen.

Utrecht, november 2008

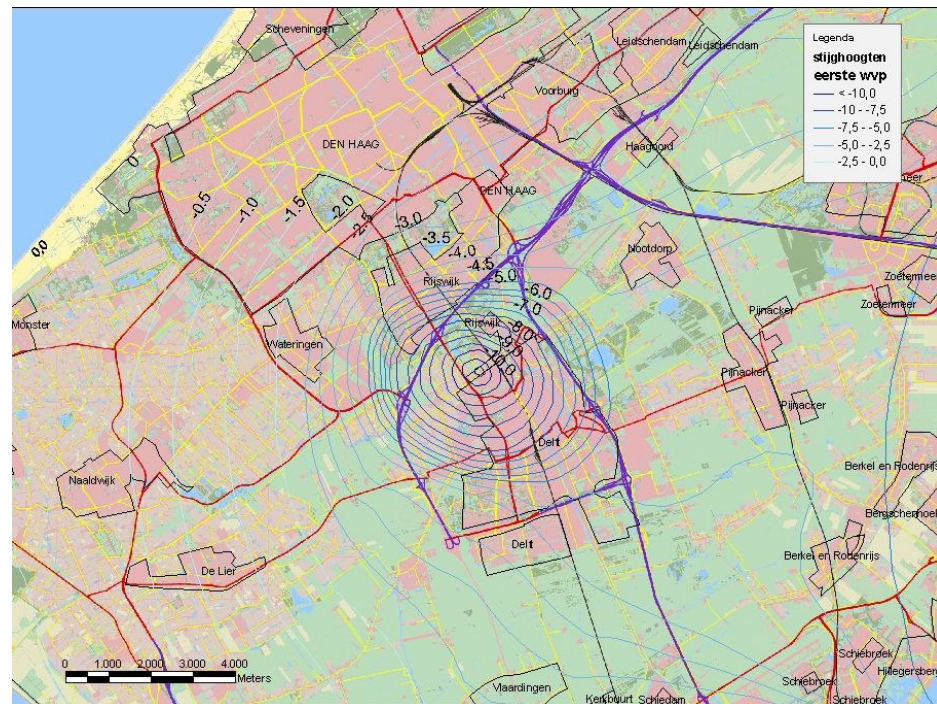


# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Ten noordwesten van het centrum van Delft ligt het terrein van DSM Gist. In 1916 zijn de voorgangers van DSM Gist begonnen met grondwateronttrekkingen ten behoeve van koeling van hun industriële processen. In de loop van de tijd zijn de activiteiten uitgebreid en daarmee de onttrokken hoeveelheid grondwater. In 1996 heeft DSM Gist een vergunning verkregen voor het onttrekken van 13,8 miljoen m<sup>3</sup> grondwater per jaar.

DSM heeft echter niet continu de volledige vergunningshoeveelheid aan grondwater onttrokken. De laatste jaren was de onttrekking ongeveer 12,3 miljoen m<sup>3</sup>. Aangezien in de winter ook oppervlaktewater geschikt is voor koeling, wordt in de winterperiode minder grondwater onttrokken dan in de zomerperiode. Het debiet varieert tussen de 1200 (winter) en 1600 m<sup>3</sup>/uur (zomer). Het effect van deze onttrekking is met name in het stijghoogtepatroon onder de deklaag terug te zien (zie Figuur 1.1).



Figuur 1.1: Stijghoogten in het eerste watervoerend pakket (in meters t.o.v. NAP)

DSM heeft eind 2004 aangekondigd een groot deel van de onttrekking niet meer nodig te hebben voor bedrijfsprocessen, en dat zij op termijn de grondwateronttrekking volledig willen beëindigen.

Delft en omgeving zal daarom in de komende jaren moeten anticiperen op de mogelijke veranderingen in het onttrekkingsregime van DSM Gist. De grondwateronttrekking van DSM had de afgelopen jaren een gemiddelde omvang van 12,3 miljoen m<sup>3</sup> per jaar en is eind 2005 al deels verlaagd door permanent het winterdebiet te onttrekken.

## 1.2 Totstandkoming van het onderzoek

Binnen het onderzoeksprogramma Delft Cluster wordt onder andere onderzoek gedaan naar innovatie in het stedelijk waterbeheer in het project 'Integrale stedelijk waterbeheer' (ISW). Het doel van het onderzoek in ISW is het bundelen en het ontwikkelen van innovatieve kennis ter ondersteuning van het planvormingsproces en het operationele beheer van het gehele stedelijke watersysteem. Dit doel kan ondermeer worden bereikt door de ontwikkeling van een integraal ondersteunend instrumentarium en toetsing daarvan in de praktijk. De ontwikkelde kennis zal lokale waterbeheerders en watergebruikers in staat stellen om betere afwegingen te maken voor inrichting en operationeel waterbeheer van het stedelijke watersysteem. Specifiek geldt dit voor complexe situaties waar sprake is van een vergelijkbare situatie als in Delft. Een van de deelonderzoeken in ISW betreft het onderzoek naar de vermindering en stopzetting van de grondwateronttrekking van DSM. De Provincie Zuid Holland, het Hoogheemraadschap van Delfland en de gemeente Delft participeren in dit onderzoek.

Binnen het onderzoeksproject ISW vormt het onderzoek naar de effecten en oplossingen voor DSM een zeer interessante integrale praktijkstudie waarin vernieuwende concepten en kennis worden toegepast en getest. Het onderzoek wordt uitgevoerd door een consortium van TNO (Business unit Bodem en Grondwater), GeoDelft en WL | Delft Hydraulics<sup>1</sup> waarmee unieke kennis en informatie over bodem, ondergrond, oppervlaktewater, grondwater, geotechniek en het ruimtelijk modelleren daarvan bij elkaar worden gebracht. De financiering van het onderzoek bestaat uit bijdragen van Delft Cluster II, de kennisinvesteringsprogramma's van de uitvoerende organisaties en enkele overheden, te weten de Provincie Zuid-Holland, het Hoogheemraadschap van Delfland en de Gemeente Delft. Het directe belang van de drie overheden is dat ze binnen hun beheergebied direct gevolgen ondervinden van de toekomstige veranderingen in het onttrekkingsregime van de winning, en daarom zullen moeten onderzoeken hoe zij hier het beste op kunnen anticiperen.

## 1.3 Beschrijving van de afgeronde fase 1 van het onderzoek, de Quickscan

De eerste stap van het Delft Cluster onderzoek betrof de 'Quickscan DSM-spoorzone' die in 2005 is afgerond (Gehrels e.a. 2005). Het huidige onderzoek is hierop een vervolg en bouwt voort op de opgedane kennis, resultaten en aanbevelingen uit de Quickscan.

### *Verkenningfase*

De Quickscan DSM-spoorzone heeft geresulteerd in een kwalitatief overzicht van de effecten van de combinatie van de twee ingrepen op de thema's Grondwaterstijging, Geotechniek en Waterkwaliteit en een uitwerking van oplossingsrichtingen voor het tegengaan of verminderen van de effecten.

In de Quickscan werd de conclusie getrokken dat vervolgonderzoek in alle gevallen noodzakelijk is. Aanbevolen werd om in te zetten op een combinatie van een alternatief voor hergebruik van de grondwaterwinning voor andere doeleinden en een alternatief waarin de winning wordt gereduceerd. Het onderzoek naar mogelijkheden voor nuttig hergebruik valt buiten de scope en is onder regie van de provincie aan een derde partij uitbesteed.

---

<sup>1</sup> Sinds 1 januari 2008 zijn deze partijen, samen met onderdelen van Rijkswaterstaat, opgegaan in een nieuwe organisatie: Deltares. Dit onafhankelijke onderzoeksinstituut richt zich op water en ondergrond in deltagebieden



### *Onderzoeksfase*

Het voorliggende onderzoek richt zich op het kwantificeren van het merendeel van de effecten die in de Quickscan op een kwalitatieve manier zijn geïnventariseerd. Effecten van veranderingen in het onttrekkingsregime worden hierin gekwantificeerd voor de thema's grondwaterstijging, geotechniek en (grond)waterkwaliteit, rekening houdend met de aanleg van de spoortunnel. Waar dat in dit rapport nuttig is, zullen uitkomsten van de Quickscan naast de nieuwe inzichten worden gelegd.

## **1.4 Onderzoeksgebied**

Voor elk van de drie thema's die worden beoordeeld, geldt een ander beïnvloeding- of risicogebied waarop de focus van het onderzoek zich zal richten.

*Grondwaterstijging* is een direct gevolg van reductie van de winning. Het effect ervan op de diepe grondwaterstand (stijghoogte) is vooral op grote afstand meetbaar in het watervoerend pakket waaruit wordt onttrokken. Dit volgt uit het feit dat ook de huidige 'onttrekkingskegel' in het regionale stijghoogtepatroon duidelijk te zien is (*Figuur 1.1*). Het invloedsgebied komt nagenoeg overeen met het beheergebied van Delfland. Het effect op de ondiepe grondwaterstand is beduidend minder omdat het effect wordt gedempt door de tussenliggende deklaag.

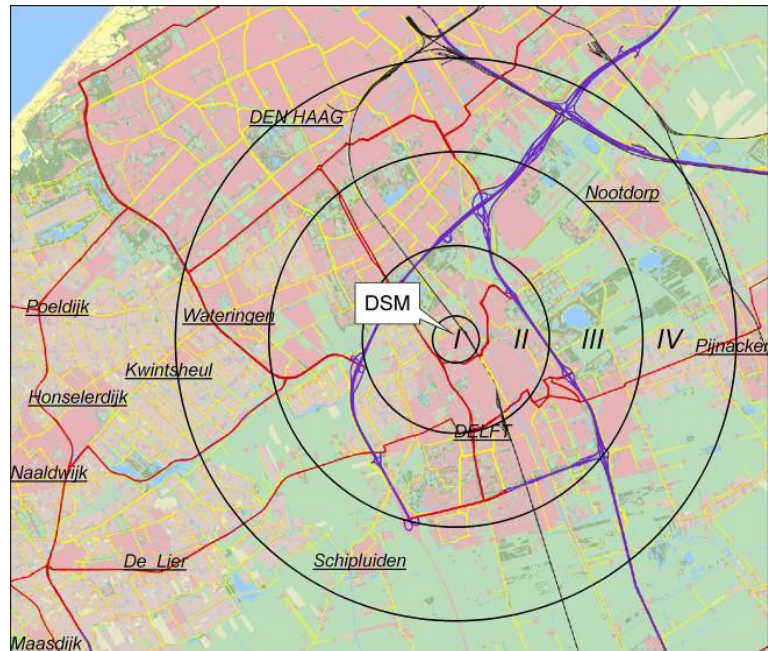
*Geotechnische en grondwaterkwaliteitseffecten* zijn indirecte gevolgen van reductie van de grondwaterwinning. Op grond van eerdere inschatting in de Quickscan zullen relevante geotechnische effecten aan panden optreden binnen een straal van 500 tot 2000 meter rondom de winning. Uitzondering is het effect op kadestabiliteit omdat het juist sterk samenhangt met de stijghoogte in het watervoerend pakket waarvan de effecten verder reiken.

Door een toename in de stijghoogte in het watervoerend pakket is de verwachting dat meer brak grondwater via het oppervlaktewatersysteem zal worden afgevoerd. Geschat is dat het een gebied betreft in een straal van 4 km rondom de winning.

Deze inschatting van de effecten *voorafgaand* aan het onderzoek is samengevat in *Figuur 1.2* opgenomen. In de figuur zijn de vier zones weergegeven waarbinnen effecten van reductie van de winning merkbaar zouden kunnen zijn. Deze cirkelvormige zonegrenzen zijn uiteraard indicatief van aard en stellen dus uitdrukkelijk niet een daadwerkelijke invloedstraal voor. Het werkelijke oppervlak hangt uiteraard van meerdere omstandigheden af, onder meer van de dikte en samenstelling van de deklaag.

Op grond van onder meer de Quickscan wijzen de cirkels op de volgende invloeden:

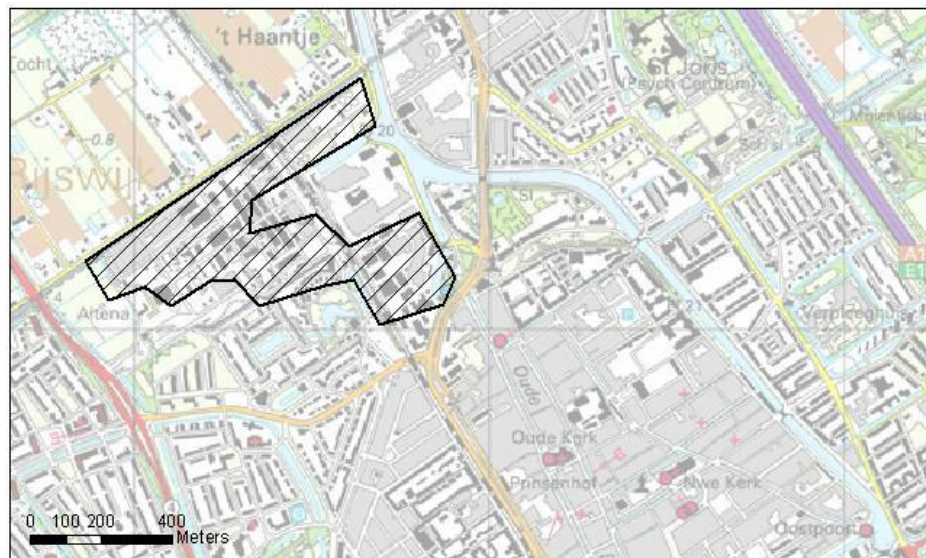
- relevante geotechnische effecten treden op in zone I (500 m) en mogelijk zelfs binnen zone II (2 km);
- de inschatting is dat in een gebied van ongeveer 50 km<sup>2</sup> (zone III) de infiltratietoestand kan omslaan in kwel. Gevolg is dat brak grondwater in het oppervlaktewater terecht kan komen. Datzelfde geldt voor verontreinigingen in de deklaag of het watervoerende pakket;
- zone IV geeft aan over welke afstand veranderingen in de freatische grondwaterstand (> 5 cm) verwacht worden.



Figuur 1.2: Kwalitatieve inschatting zonegrenzen effecten volgens Quickscan uit 2005

## 1.5 DSM Gist

De winning op het terrein van DSM Gist bestaat in de praktijk uit meerdere bronnen die verspreid zijn over het terrein (zie Figuur 1.3). Meer dan dertig bronnen zijn permanent in gebruik en individuele bronnen kunnen worden bij- of afgeschakeld voor bijvoorbeeld onderhoud. Alle bronnen onttrekken hun water van onder de deklaag door filters tussen 25 – 45 m onder NAP.



Figuur 1.3: Deel van het DSM terrein waar bronnen geïnstalleerd zijn

De laatst 10 jaar was de onttrekking ongeveer 12,3 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Aangezien in de winter ook oppervlaktewater geschikt is voor koeling, wordt in de winterperiode minder grondwater onttrokken dan in de zomerperiode. Het debiet varieert tussen de 1200 (winter) en 1600 m<sup>3</sup>/uur (zomer). Het onttrokken grondwater is brak en heeft een chloridegehalte dat varieert tussen 1500 en 3000 mg/l.

## 1.6 Leeswijzer

Bij de opzet van het onderzoek is o.a. rekening gehouden met de praktische toepassing ervan. **Hoofdstuk 2** gaat daarom in op de gekozen aanpak en organisatie na een analyse van de achterliggende problematiek en de daaraan gekoppelde onderzoeksdoelen. Ook het belang van de voorgestelde monitoringstrategie wordt toegelicht

Vervolgens geeft **Hoofdstuk 3** een beschrijving van het watersysteem in het onderzoeksgebied. Met dat beeld in gedachten zijn uitspraken over effecten en maatregelen in volgende hoofdstukken beter begrijpbaar.

Om effecten te kunnen kwantificeren is een model-instrumentarium ontwikkeld. Het gaat daarbij zowel om een geo(hydro)logisch model van de ondergrond, een grondwaterkwantiteits- en een grondwater(kwaliteits)model, een oppervlaktewatermodel en een bodembewegingsmodel. De technische achtergronden van deze modellen is uitgebreid beschreven in de Technische Rapportage. **Hoofdstuk 4** geeft allereerst in grote lijnen weer om welk type modellen het gaat en om welke innovaties het daarbij gaat. Daarnaast bevat het een toelichting op de betrouwbaarheid daarvan en in dat licht komen de gebruiksmogelijkheden van de instrumenten voor andere toepassingen aan de orde.

Een van de centrale hoofdstukken in deze rapportage is **hoofdstuk 5**. Het bevat een overzicht van de berekende effecten van zowel het reduceren van de grondwaterwinning als ook het effect van maatregelen.

De uitkomsten van het onderzoek, zoals onder andere in hoofdstuk 5 beschreven, worden door bestuurders gebruikt om gefundeerde keuzes te kunnen maken. Hierin speelt het aspect kosten een belangrijke rol. Om die reden is een vertaling gemaakt naar kosten. Hiervoor is in navolging van de Quicksan een inschatting gemaakt van de kosten voor de belangrijkste effecten en maatregelen. **Hoofdstuk 6** geeft een overzicht van de kosten van de verschillende alternatieven naast een uitgebreide toelichting op de totstandkoming van deze waarden.

Op basis van de gepresenteerde effecten en maatregelen worden uiteindelijk bestuurlijke keuzes gemaakt. **Hoofdstuk 7** vertaalt de bevindingen uit eerdere hoofdstukken naar aanbevelingen over hoe de eventuele reductie van de winning zou kunnen plaatsvinden.

De rapportage sluit af met **Hoofdstuk 8** waarin de belangrijkste conclusies van het onderzoek centraal staan, onderverdeeld naar de verschillende thema's en waar nodig met verwijzing naar de achterliggende hoofdstukken. Het hoofdstuk wordt aangevuld met de belangrijkste aanbevelingen voor gebruik van de resultaten en de modellen als ook aanbevelingen voor nader onderzoek.

## 1.7 Rapportages in DSM verband

### *Quickscan*

In 2005 is de Quickscan DSM-spoorzone' (Gehrels e.a. 2005) uitgebracht, waarin de problematiek rond reductie van de winning op kwantitatieve wijze is verkend en waarin aanbevelingen voor nader onderzoek zijn geformuleerd. Er wordt in de tekst regelmatig verwezen naar deze publicatie. Dat gebeurt dan eenvoudig door te verwijzen naar 'de Quickscan'.

### *IWACO-rapport*

Op verschillende plekken in de rapportage wordt verwezen naar uitkomsten van twee andere regionale grondwatermodellen die in het verleden zijn opgesteld. Het betreft allereerst het grondwatermodel dat al in 1999 voor IWACO is opgezet met als doel de provincie te informeren over de te verwachten effecten van stopzetting van de winning (Van der Linden 1999). Dit model zal in de tekst worden aangeduid als het IWACO-model.

### *PZH rapport*

Naast het IWACO model is er het model dat TNO voor de Provincie Zuid Holland heeft ontwikkeld om op regionale schaal uitspraken te kunnen doen over toekomstige verzilting van het grondwater (Minnema et al., 2004). Dit model levert waar nodig randvoorwaarden voor het huidige onderzoek en zal in de tekst worden aangeduid als het PZH model.

### *Haskoning*

In 2005 heeft Haskoning in opdracht van DSM Gist onderzoek gedaan waarbij gebruik gemaakt is van het IWACO model (Zaadnoordijk 2005). Aanvullend is tijdreeksanalyse uitgevoerd aan de hand waarvan inschattingen van de effecten van reductie zijn gedaan. Nu de resultaten van het Delft Cluster-onderzoek bekend zijn is de wens geuit om beide uitkomsten naast elkaar te leggen en na te gaan wat de overeenkomsten en verschillen zijn. Een vergelijking tussen beide onderzoeken staat in Bijlage A beschreven.

## 2 Onderzoeksaanpak

### 2.1 Probleemanalyse

De Quickscan heeft een kwalitatief beeld opgeleverd van de gevolgen van verandering van de winning. Tevens is in samenspraak met een groot aantal partijen in en rondom Delft een aantal oplossingsrichtingen opgesteld voor toekomstige ontwikkelingen. De alternatieven die zijn opgesteld zijn (1) voortzetting van de winning (2) reductie van de winning in combinatie met reallocatie en (3) stopzetting van de winning.

In de beide laatste alternatieven waarin het debiet van de winning verandert, is onderzoek nodig naar de effecten daarvan op de hoofdthema's: grondwaterstijging, waterkwaliteit en geotechnische effecten. In de Quickscan worden de effecten weliswaar geïnventariseerd en vervolgens globaal doorvertaald naar kostenposten, maar elk van de inschattingen is gebaseerd op aannamen over de hydrologische en geotechnische effecten. Deze zullen in elk van de alternatieven nader gekwantificeerd moeten worden en vervolgens verwerkt in een meer gedetailleerde kosten-batenanalyse. Op basis van deze informatie kunnen de maatregelen worden gedimensioneerd.

De Quickscan was een eerste verkenningsfase waarin op basis van ervaring en deskundigheid kwalitatieve inschattingen zijn gemaakt. Om tot betrouwbare uitspraken en voorspellingen over effecten, oplossingsrichtingen en maatregelpakketten te komen evenals oplossingsrichtingen te kunnen optimaliseren, is het noodzakelijk om de aangegeven inzichten en richtingen uit de Quickscan te onderbouwen met behulp van een modelmatige studie. Bovendien waren de uitspraken uit de verkennende Quickscan niet alleen kwalitatief, maar ook een globaal van aard. Met een modelinstrumentarium kunnen oplossingsrichtingen en maatregelpakketten verder worden uitgewerkt en gedetailleerd.

Bij reductie of stopzetting van een grote grondwateronttrekking zoals die op het terrein van DSM Gist, al dan niet in combinatie met een ingreep zoals de aanleg van de spoortunnel, moet rekening gehouden worden met een periode van enkele tot tientallen jaren. Gedurende deze periode is het bijna een vereiste om over een beheersinstrument te kunnen beschikken waarmee parallel aan een monitoringsprogramma het beheer kan worden vormgegeven, maatregelen kunnen worden uitgewerkt, en ingespeeld kan worden op ontwikkelingen.

### 2.2 Onderzoekdoelen

De doelstellingen van het onderzoek zijn:

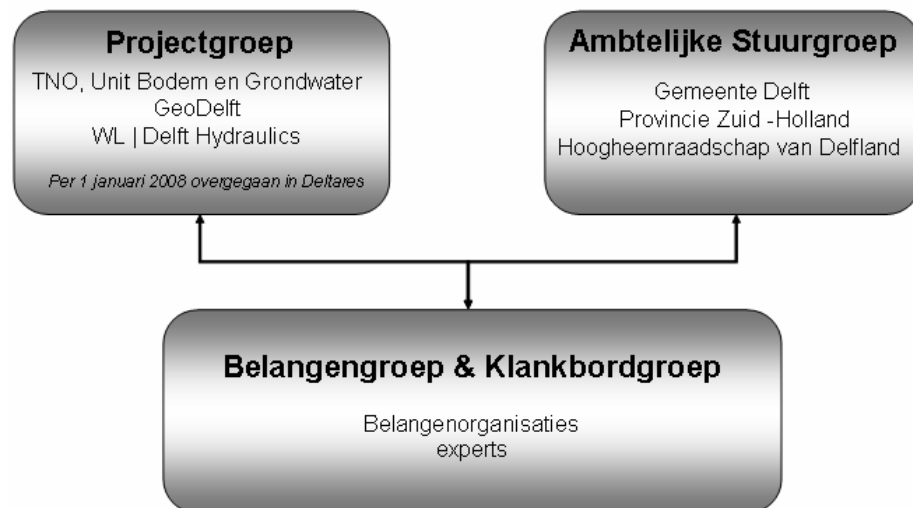
1. Opstellen van een monitoringstrategie om eventuele effecten van veranderingen in het onttrekkingsdebiet te kunnen volgen. Daarnaast levert het belangrijke informatie voor de ontwikkeling van het modelinstrumentarium;
2. Kwantificering, onderbouwing en detaillering van de effecten van vermindering of stopzetting van de grondwaterwinning in combinatie met de aanleg van de spoortunnel op water en ondergrond met als begrenzing het gebied Delfland;
3. Definiëring van de meeste efficiënte preventieve of compenserende maatregelen.

De eerste doelstelling is uitgewerkt en gerapporteerd in een afzonderlijke rapportage. Tijdens de totstandkoming van deze rapportage zijn de eerste stappen al gezet om de voorgestelde monitoring daadwerkelijk in te richten. Een meer uitgebreide toelichting op de monitoringstrategie en de rol van monitoring bij de ontwikkeling van de modellen en het gebruik in de praktijk is te lezen in hoofdstuk 2.6.

### 2.3 Organisatiestructuur

De organisatie van het onderzoek heeft bestaan uit de Projectgroep en de Stuurgroep met daarnaast een Belangengroep en een Klankbordgroep.

In de **Projectgroep** zitten de uitvoerende partijen met TNO/Deltares als penvoerder. Het onderzoek is begeleid door een **Stuurgroep** van direct betrokken overheden waarbinnen de Gemeente Delft de voorzittersrol heeft. Daarnaast is op cruciale momenten gedurende het onderzoek (onder meer workshops) de **Belangengroep** betrokken bestaande uit belanghebbende overheden, alsmede een **Klankbordgroep** van overige belangenorganisaties.



Figuur 2.1: Organisatiestructuur

### 2.4 Betrokkenheid partijen en relatie bestuurlijk overleg

In het onderzoek worden de effecten (kwantitatief) bepaald van de verregaande reductie en stopzetting van de grondwateronttrekking. Het onderzoek wordt begeleidt door een ambtelijke stuurgroep. De resultaten van het onderzoek zijn input voor een bestuurlijk proces waarin besloten wordt hoe het probleem tot een goed einde kan worden gebracht. De reductie of stopzetting heeft verregaande maatschappelijke consequenties. Het kan dan ook niet zonder dat alle betrokken overheden dit probleem gezamenlijk aanpakken en zoeken naar de oplossing.



Foto 2.1: Projectbijeenkomst met inbreng van verschillende partijen

## 2.5 Promovendus

Vanaf begin 2007 is het Delft Cluster onderzoek als case-study gebruikt binnen de promotiestudie van Tom Raadgever, promovendus van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen aan de Technische Universiteit Delft. Hij onderzoekt in hoeverre samenwerking tussen onderzoekers, beleidsmakers en andere belanghebbenden leidt tot leren, met een focus op leren van specialistische (model)kennis. Noodzakelijke gegevensinput is verkregen door observatie, enquêtering en interviews rond de verschillende bijeenkomsten en bij de diverse betrokken partijen. De uitkomsten zullen naar verwachting in de loop van 2009 beschikbaar komen.

## 2.6 Rol van de monitoringstrategie

Een eerste duidelijke aanbeveling uit de Quicksan was om een monitoringstrategie op te stellen om de effecten van de veranderingen van de grondwaterwinning en tunnelaanleg goed te volgen. Daarvoor is het ook van belang dat over de periode voorafgaand aan eventuele veranderingen in het onttrekkingsregime er meetreeksen beschikbaar komen. Op die manier zijn de werkelijke gevolgen betere te isoleren van andere veranderingen.

Die monitoringstrategie is opgesteld voor de drie thema's grondwateroverlast, grondwaterkwaliteit en geotechnische effecten. Daarbij is zoveel mogelijk gebruik is gemaakt van bestaande meetnetten. Bij de definitieve keuze van de meetpunten voor de verschillende meetnetten is in de eerste plaats uitgegaan van de verwachte effecten van reductie van de winning en is gezorgd voor samenhang tussen de meetnetten bijvoorbeeld door het meetnet grondwaterkwaliteit aan te laten sluiten op de meetpunten voor stijghoogteregistratie.

In de paragrafen 2.6.1 t/m 2.6.3 volgt een korte toelichting op de verschillende onderdelen van de monitoringstrategie.

### 2.6.1 Grondwaterstijging

#### 2.6.1.1 Meetnet stijghoogte

Er zijn vier hoofddoelstellingen aan te geven om stijghoogte in het eerste watervoerend pakket te monitoren:

- vaststellen van de invloed van de winning op de stijghoogte en de (freatische) grondwateroverlast om waar nodig tijdig vast te stellen of maatregelen nodig zijn;
- levert input voor het schatten van maaiveldbeweging en bezwijkrisico's van ondergrondse gebouwen en infrastructuur zoals kaden;
- het verbeteren van de modeluitkomsten omdat extra metingen de mogelijkheid bieden om het modelinstrumentarium nauwkeuriger te ijken;
- inzicht in verandering van kwel en/of infiltratie wat met name nuttige input levert voor het waterkwaliteitsmeetnet.

De algemene aanpak bestaat er uit dat er vier regionale meetraaien zijn gedefinieerd, beginnend op de DSM-locatie en grofweg loodrecht op elkaar. Op deze regionale meetraaien zijn meetlocaties ingevuld waarbij zoveel mogelijk gebruik gemaakt is van bestaande meetpunten en rekening gehouden met de risicogebieden waaronder diepe infrastructuur en krekken in de ondergrond.

Uit het oogpunt van communicatie en zorgplicht wordt geadviseerd dat elke gemeente minimaal één stijghoogtemeetpunt heeft.

Conclusie van de opzet is dat voor de monitoring van de stijghoogte geadviseerd wordt om naast de bestaande meetpunten 17 nieuwe meetlocaties in te richten. Daarmee komt het totaal op 70 bestaande en nieuwe meetpunten die met divers (automatische drukopnemers) moeten worden uitgerust.

#### 2.6.1.2 Meetnet freatische grondwaterstand

De voornaamste redenen om de freatische grondwaterstand te monitoren zijn:

- Bepalen van de doorwerking op het freatische grondwater van het reduceren van de grondwaterwinning;
- Anticiperen op de ontwikkelingen rond de Wet gemeentelijke watertaken; met name het geven van inzicht in het ondiepe grondwatersysteem t.b.v. oorzaak-analyse van klachten over grondwateroverlast van particulieren in stedelijk gebied (loketfunctie);
- Publieke gebouwen, infrastructuur en groenvoorzieningen openbare ruimte monitoren op grondwateroverlast / stijging;
- Grondwaterstand in het buitengebied monitoren op grondwateroverlast / stijging (landbouw- en natuurfuncties);
- In combinatie met maaiveldgegevens: oorzaak-analyse grondwateroverlast in relatie tot bodemdaling, een relevant probleem in de omgeving van Delft;

Het freatische grondwater wordt door vele factoren beïnvloed. Om de effecten van de reductie op de gebruiksfuncties te monitoren is het belangrijk om de meetpuntlocatie exact te kiezen. Dat betekent dat de meetlocatie niet in de nabijheid van open water, bomen en straatcunetten of in aanwezigheid van (kapotte) riolering en drainage geplaatst worden. Wel op plekken waar klachten bestaan. Om deze factoren zoveel mogelijk te kunnen onderscheiden, is aanbevolen om te werken met meetraaien van drie peilbuizen volgens het principe straat – binnenterrein – straat.

Naast meetraaien in het stedelijke gebied zijn ook meetpunten voor het landelijke gebied voorgesteld waarbij vooral gelet is op risicogebieden en aansluiting is gezocht bij het meetnet grondwaterkwaliteit.

Conclusie van de opzet is dat voor de monitoring van de grondwaterstand naast de bestaande meetpunten 90 nieuwe stedelijke en 12 nieuwe landelijke meetpunten worden



ingericht. In veel gemeenten is aansluiting met bestaande meetnetten goed mogelijk maar zijn nieuwe punten noodzakelijk om het meten in korte raaien mogelijk te maken.

### 2.6.2 *Meetnet geotechnische effecten*

Het monitoren van geotechnische effecten heeft een driedelige doelstelling:

- het beheersen van de risico's door het (tijdig) waarnemen van effecten. In combinatie met de voorspellingen uit de modellen geeft dit aanleiding tot het doen van preventieve ingrepen;
- meetresultaten dienen als bewijsmateriaal bij het beoordelen van claims van eigenaren van panden en andere constructies;
- het toetsen en kalibreren van bodemdalingmodellen.

Een risicobenadering vormt de basis voor de opzet van het meetnet. De eerste stap is het afbakenen van het gebied waar een kans bestaat dat er een bepaalde mate van bodemvervorming kan optreden. Op basis van een inschatting van kans maal gevolg worden er meer of minder meetinspanningen verricht. De conclusie hieruit is dat de monitoring zich vooral moet richten op monumenten in verband met hun maatschappelijke waarde, en boezemkaden in stedelijk gebied van Delft en Rijswijk en kritische omstandigheden. In iets mindere mate ligt de aandacht bij taluds, folieconstructies, industriële installaties en hoogbouw omdat corrigerende maatregelen complex kunnen zijn.

### 2.6.3 *Meetnet kwaliteit*

#### 2.6.3.1 *Meetnet grondwaterkwaliteit*

De doelstelling van het meetnet is om de veranderingen in de grondwaterkwaliteit (chloride) als gevolg van de reductie van de grondwaterwinning te kunnen volgen. Hiervoor is het belangrijk inzicht te hebben in de huidige situatie. De monitoring is er dan ook op gericht om een beter ruimtelijk beeld van de chlorideconcentratie te krijgen. Het meetnet is ondersteunend bij het goed modelleren van de grondwaterstromen, aangezien het chloridegehalte de stroming van het (diepe) grondwater beïnvloedt. Een goed inzicht in de grondwaterkwaliteit draagt bij aan de uitspraken over de oppervlaktewaterkwaliteit.

Aanvullend kan onderzoek gedaan worden naar de verandering in de nutriëntenbalans in de ondergrond en het oppervlaktewater. Een eerste stap is dan het uitvoeren van een nulmeting in de deklaag.

Belangrijk bij het opstellen van de monitoringstrategie voor grondwaterkwaliteit is dat gekeken wordt naar de gebieden waar het risico op kwaliteitsveranderingen het grootst is. Dat zijn die risicogebieden waar (1) de infiltratie omslaat in kwel (brak grondwater) (2) de chloride/nutriënten concentraties van het grondwater hoog zijn en (3) gevoelige natuur ligt.

Geadviseerd is om in aanvulling op 9 bruikbare bestaande diepe meetpunten 14 nieuwe meetpunten in te richten. Naast monitoring in peilbuizen is het nodig om informatie te verkrijgen over de ondiepe chlorideconcentraties. Hiervoor is het niet noodzakelijk fysieke meetpunten in te richten maar kan in een veldcampagne met zogenaamde T-EC prikstok gegevens worden verzameld.

### 2.6.3.2 *Oppervlaktewaterkwaliteit*

De doelstelling is het meten van het effect van reductie van de winning op de oppervlaktewaterkwaliteit. Dit vereist dat er voldoende gegevens zijn om de effecten van het reduceren van de winning te onderscheiden van andere factoren en ontwikkelingen. Tevens dient de monitoring ter verificatie van de uitkomsten van het modelinstrumentarium. Voor het modelinstrumentarium is chloride een belangrijke parameter, aangezien chloride zal worden gesimuleerd in het model.

De aandachtsgebieden zijn globaal de waterlichamen in de zin van de KRW, de waterparels en de zwemwaterlocaties. Tevens worden de meeste veranderingen verwacht in het gebied waar de infiltratie omslaat in kwel en de diepe polders. In de diepe polders is de chloridebelasting vanuit het grondwater relatief groot en dan met name in de zomer.

Voor een goede analyse van de ontwikkeling van de chlorideconcentratie in het oppervlaktewater dient op basis van bovenstaande criteria een meetnet van 60 meetpunten te worden ingericht. Van deze 60 meetpunten liggen er 11 in de boezem en zijn er drie direct gerelateerd aan een meetpunt van het grondwaterkwaliteitsmeetnet. De overige 49 meetpunten liggen in kwetsbare gebieden, in 'diepe' polders, en / of zijn gerelateerd aan een meetpunt van het grondwaterkwaliteitsmeetnet

### 3 Beschrijving watersysteem voor het onderzoeksgebied

Centraal in deze rapportage is hoofdstuk 5, de beschrijving van de effecten van verandering in het onttrekkingsregime van winning. Bij alle berekende effecten wordt een verklarende toelichting gegeven. Veelal gebeurt dat op basis van de werking van het achterliggende (grond)watersysteem. Om die reden volgt in dit hoofdstuk een beschrijving van dat watersysteem voor het onderzoeksgebied. Met dat beeld in gedachten zijn uitspraken over effecten en maatregelen in volgende hoofdstukken meer toegankelijk.

#### 3.1 Het grondwatersysteem

##### *Geohydrologie van de ondergrond*

In dit deel van Nederland is het watervoerende pakket op de meeste plaatsen afgedekt met een dikke holocene deklaag. Deze laag met een dikte van 10 tot 20 meter heeft door de samenstelling van veen, klein en zand een laag doorlaatvermogen en dus hoge weerstand. Daar waar deze deklaag door veenwinning en/of veenoxidatie dunner is geworden zal de weerstand lager zijn. De weerstand is ook lager dan gemiddeld op plaatsen waar zandige afzettingen voorkomen.

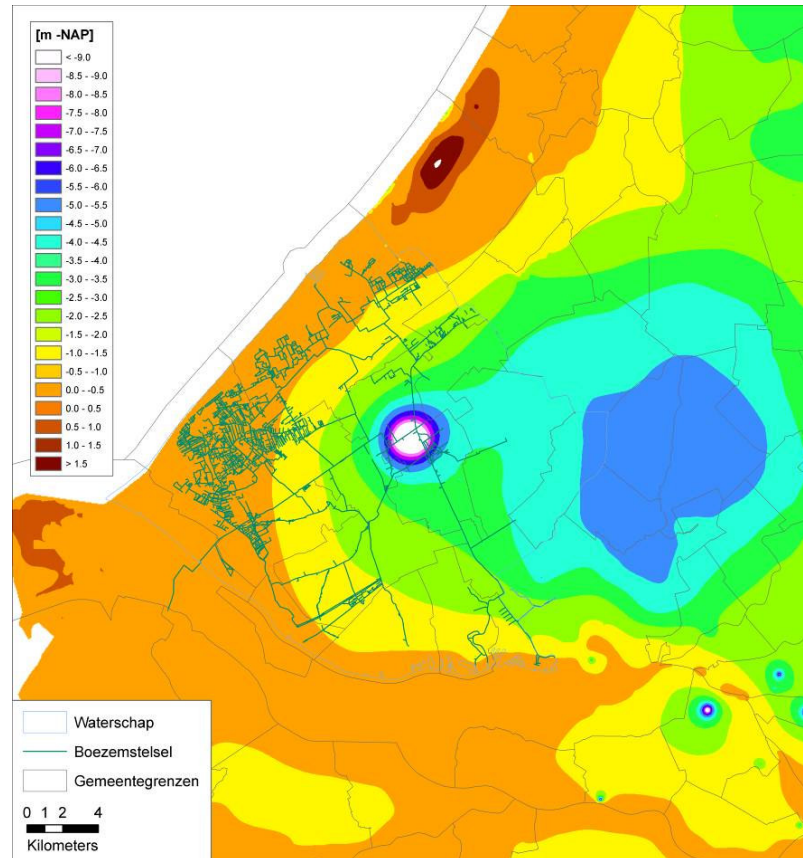
Het watervoerende pakket onder de deklaag heeft daarentegen een hogere doorlatendheid door de zandige opbouw. In dit pakket grijpt ook de grondwaterwinning aan.

Zodra de grondwaterwinning (gedeeltelijk) wordt stopgezet verandert de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket. De hoge weerstand van de holocene deklaag zorgt er echter voor dat veranderingen als deze in het diepe pakket slechts gedempt en vertraagd merkbaar zijn in de ondiepe grondwaterstand en andersom.

##### *Stijghoogte in het diepe pakket*

Het huidige patroon van de grondwaterstand in het eerste watervoerende pakket (in het vervolg 'stijghoogte' genoemd) is weergegeven in Figuur 3.1. Hierin is duidelijk de onttrekkingskegel van de winning terug te zien. De stromingsrichting in het pakket is hoofdzakelijk gericht vanaf de hoge stijghoogte in de duinen en het stedelijk gebied rond Rotterdam richting het laag gelegen poldergebied in de driehoek Rotterdam-Zoetermeer-Gouda.

Uit de figuur blijkt ook duidelijk dat niet alleen de winning de stijghoogte in het pakket bepaalt maar met name ook de diepe polders in het oosten en de infiltratiegebieden in het westen en zuidwesten.



Figuur 3.1: Stijghoogtepatroon voor het eerste watervoerend pakket in meters t.o.v. NAP

### Grondwaterstand en het oppervlaktewater

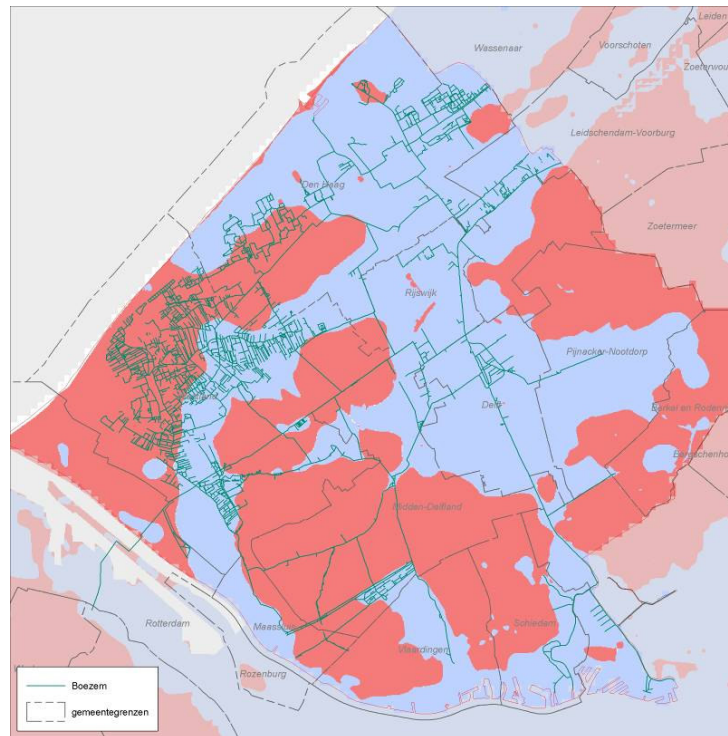
Het ondiepe grondwatersysteem wordt voor het grootste deel van Delfland sterk bepaald door het aanwezige topsysteem. Met de term ‘topstelsel’ wordt bedoeld de verzameling oppervlaktewateren in het gebied zoals boezemwater, polderwater, greppels en drains. De boezem is het hoofdstelsel voor wateraanvoer en waterafvoer. Direct daaraan gekoppeld is het zogeheten boezemland dat vrij afwatert en in open verbinding staat met de boezem. In polders ligt het secundaire stelsel van waterlopen. Samen zorgen deze watergangen voor de afvoer van overtollig neerslag- en grondwater richting de Noordzee en de Nieuwe Waterweg.

Voor nagenoeg de meeste van de genoemde wateren geldt dat ze vaste waterpeilen hebben die slechts tussen smalle grenzen mogen fluctueren. Deze (polder)peilen worden vastgesteld en beheerd door Delfland. Op de boezem geldt bijvoorbeeld een streefpeil van 0,42 –NAP en zijn beperkte peilstijgingen toegestaan. Door dit fijnmazige netwerk van waterlopen, waar de grondwaterstand als het ware aan ‘hangt’, treden er geen grote fluctuaties in de grondwaterstanden op zoals bijvoorbeeld in zandgebieden. Uitzonderingen daarop zijn met name stedelijke gebieden. Daar kunnen zelfs bomen een verhoogde fluctuatie van de grondwaterstand veroorzaken. Het grondwatermodel berekent het verloop van de grondwaterstand over een periode van 10 jaar. Op basis van de uitkomsten is de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) bepaald voor Delfland.

Naderhand is gebleken dat het werkelijke maaiveld in stedelijk gebied gemiddeld lager ligt dan is aangenomen. Het gevolg is dat de GHG in stedelijk gebied in deze kaart wordt overschat.

*Grondwaterstroming: infiltratie en kwel*

Ondanks de hoge weerstand van de holocene deklaag is er een verticale stroming van grondwater door de deklaag. Afhankelijk van het verschil in stijghoogte over de deklaag zal grondwater vanuit de deklaag infiltreren naar het diepere watervoerend pakket of juist opkwellen. Momenteel infiltreert in de stad Delft en omgeving al het grondwater richting het diepere pakket. In het poldergebied echter kwelt grondwater door de deklaag omhoog. Figuur 3.2 geeft in kleuren duidelijk aan hoe de grondwaterstroming halverwege de deklaag is gericht.



*Figuur 3.2: Verticale stromingsrichting in de deklaag richting watervoerend pakket (blauw) en richting ondiep grondwater (rood)*

*Balansen*

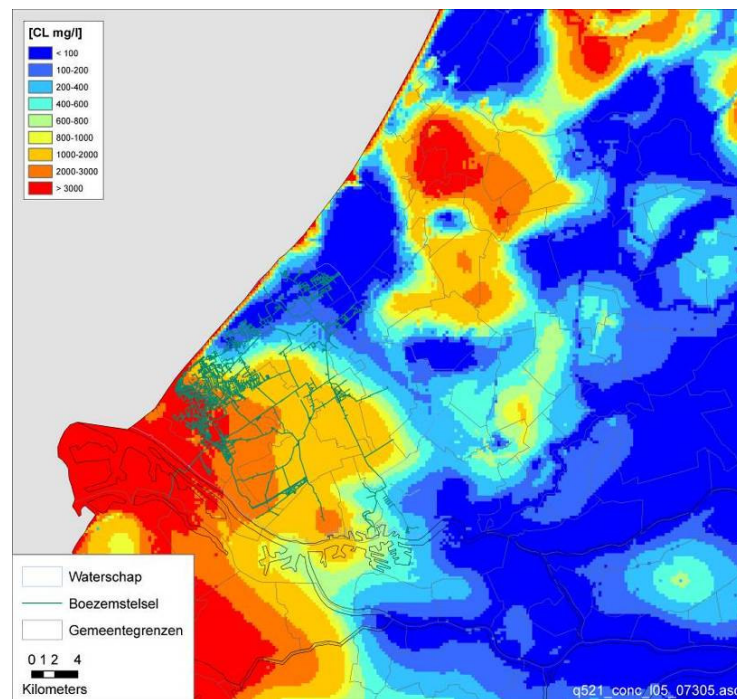
In het eerste deel van de paragraaf is o.a. aangegeven hoe de verschillende stromingsrichtingen zijn. Voor het begrip van het systeem is het ook van belang om naast de richtingen ook inzicht te hebben in hoeveelheden. Met behulp van het modelinstrumentarium is berekend wat de verschillende waterbalansen zijn voor het gebied van Delfland. Dat levert het volgende beeld voor de periode tussen 1994 en 2004. Er infiltreert op jaarbasis 23 cm neerslag naar het grondwater. Een deel daarvan infiltreert naar het diepere pakket en een deel zal via het oppervlaktewatersysteem worden afgevoerd. Het oppervlaktewatersysteem voert gemiddeld 20 cm af. De balans wordt sluitend doordat gemiddeld 3 cm richting het watervoerend pakket stroomt. In Delfland is er zowel stroming richting als vanuit het watervoerend pakket maar netto heerst er dus een infiltratiesituatie in Delfland.

### 3.2 Grondwaterkwaliteit

Bij grondwaterkwaliteit wordt in dit onderzoek gericht op de chlorideconcentratie van het grondwater. Over het algemeen geldt dat er meer informatie over de grondwaterstand wordt ingewonnen dan over concentraties, zo ook in Delfland. Voor zover bekend in DINO<sup>2</sup> zijn er in Delfland 23 meetpunten in het eerste watervoerende pakket waarvoor tussen 1990 en heden een bemonstering heeft plaatsgevonden. Op basis daarvan is het niet eenvoudig een vlakdekkend beeld te krijgen van de chlorideverdeling.

Om het vlakdekkende beeld toch te genereren (o.a. als startvoorwaarde voor het stoftransportmodel) is zijn alle bekende metingen van chloride aangevuld met chlorideconcentraties die zijn afgeleid uit de resultaten van een groot aantal (+/- 150) VES metingen (Verticale Elektrische Sondering). Vervolgens zijn deze metingen geïnterpoleerd en is onderstaand beeld van de huidige situatie verkregen (zie Figuur 3.3). Op grond van bovenstaande wordt duidelijk dat de vlakdekkende figuur ten onrechte de indruk kan wekken een grote mate van nauwkeurigheid te bevatten. Toch is dit voorlopig de beste schatting van de uitgangssituatie.

Duidelijk zijn de gebieden met hoge chlorideconcentraties te zien in het zuidwesten bij Rotterdam en ten noorden van Leiden. Daartussen, het gebied rond Den Haag en in een wig richting het oosten, liggen de concentraties duidelijk lager, vaak onder de 250 mg/l. Het gaat hier echter om de geschatte concentratieverdeling bovenin het eerste watervoerend pakket. Bekend is dat binnen een watervoerend pakket in de verticaal grote verschillen mogelijk zijn.



Figuur 3.3: Geschatte chlorideconcentratie [mg/l] direct onder deklaag

<sup>2</sup> Data en Informatie Nederlandse Ondergrond. DINO is de centrale geologische database van Nederland die wordt beheerd door TNO.

### 3.3 Oppervlaktewater

Het watersysteem van Delfland wordt begrensd door de Noordzee, de Nieuwe Waterweg, de lijn Rotterdam-Zoetermeer en de lijn Zoetermeer-Den Haag. In Figuur 3.4 is het beheergebied afgebeeld met daarin het stelsel van boezemwateren. Het gebied is circa 40.000 hectare groot en bestaat uit laaggelegen polders en het hoger gelegen boezemland (15.000 ha.). Via het wijd vertakte net van polderwaterlopen en via het boezemstelsel wordt overtollig (regen)water uit het gebied afgevoerd. Het landgebruik in het gebied bestaat uit stedelijk gebied, agrarisch gebied (grasland en veeteelt), glastuinbouwgebied, industrieterreinen en natuur- en recreatiegebieden.



Figuur 3.4: Beheersgebied Hoogheemraadschap van Delfland (bron: website Delfland)

Het poldergebied en het streefpeil voor de poldersloten ligt lager dan het boezemland en boezempeil. In de poldersloten wordt in het zuidoosten van het gebied een peil gehandhaafd van beneden de drie meter NAP, in het noorden nabij de kust loopt dit peil op tot 0,5 meter NAP. Water uit de polders wordt de boezem opgepompt en afgevoerd zodra de waterstand boven het polderspecifieke streefpeil komt. Daarnaast is er een continue doorspoel van de polderwatergangen vanuit de boezem.

De boezemwatergangen hebben een peil van -0,42 meter NAP en een totale lengte van 312 kilometer. Het watersysteem wordt aan de randen begrensd door negen gemalen. Aan de Noordzee zijn dit gemaal Vlotwateringen en gemaal Scheveningen die worden gebruikt om een eventueel wateroverschot af te voeren naar de Noordzee. In het zuiden grenzend aan de Nieuwe Waterweg liggen de gemalen Parksluizen, Schiegemaal, Zaaijer en Westland waar ook water wordt afgevoerd wanneer het peil boven de -0,42 meter t.o.v. NAP komt. Tot slot zijn er de twee inlaatgemalen, gemaal Den Dolk grenzend aan het beheersgebied van Hoogheemraadschap Rijnland en gemaal Winsemius grenzend aan de Nieuwe Waterweg waar water uit het Brielse meer wordt

ingelaten. Bij beide gemalen wordt water ingelaten. Zodra een watertekort optreedt of de waterkwaliteit kritische waarden aanneemt waardoor doorspoelen noodzakelijk wordt. Het water stroomt in het oosten en westen het gebied binnen, waarna het in zuidelijke richting via de Schie of noordwaarts richting de Noordzee het gebied verlaat.

Er wordt over het algemeen meer water uitgemalen dan ingelaten. De bepaling van mogelijke oppervlaktewaterproblemen is gericht op de worst case situatie, het jaar 2003. Hieronder is de gebiedswaterbalans voor 2003, zoals opgesteld door Hoogheemraadschap Delfland, weergegeven.

Tabel 3.1: Gebiedswaterbalans Delfland 2003

	IN		UIT	
		Miljoen m <sup>3</sup>		Miljoen m <sup>3</sup>
<b>Gemalen</b>	Inlaat Brielse meer	33,61	Lozing boezemgemalen	-112,4
	Inlaat Den dolk	10,5	Schut en lekwater incl KWA Schieland	-7,7
	Schut en lekwater	16,6	Lozing direct op buitenwater of via awzi	-21,4
<b>Kwel/wegzijing</b>	Kwel	12,6	Wegzijing	-14,7
	Neerslag	241	Verdamping	-157,8
<b>Bergingsverandering</b>			Bergingsverandering	3,4
			Sluitfout	-3,8
		314,3		-314,4

Het jaar 2003 was een opvallend droog jaar, wat betekent dat de waterinlaat in dit jaar relatief hoog was. Toch is de hoeveelheid ingelaten water maar 40 procent van de hoeveelheid uitgemalen water. Het grootste gedeelte van het water komt het gebied binnen als neerslag.

Bij de sluizen treden schut- en lekverliezen op. Met name in de hoeveelheid ingelaten water vormen ze een groot aandeel, 38 procent. Twaalf miljoen m<sup>3</sup> van de totale hoeveelheid schut- en lekwater stroomt bij gemaal Parksluizen het gebied binnen. Dit water is afkomstig van de Nieuwe Waterweg, waar chlorideconcentraties in 2003 opliepen tot boven de 4000 mg per liter. Deze inlaat is dan ook van grote invloed op de chlorideconcentraties in het beheersgebied. De hoogste chlorideconcentratie worden gevonden nabij gemaal Parksluizen waar ze oplopen tot boven de norm van 250 mg per liter. Ook in het zuidwesten van het gebied halen de chlorideconcentraties vrijwel deze kritische grens.



## 4 Ontwikkeling modelinstrumentarium

Om effecten van de grondwaterwinning op de bodem en het (grond)watersysteem te kunnen kwantificeren is een modelinstrumentarium ontwikkeld. Het gaat daarbij zowel om een geo(hydro)logisch model van de ondergrond, een grondwaterkwantiteits- en een grondwater(kwaliteits)model, een oppervlaktewatermodel en een bodembewegingsmodel.

De technische achtergronden van deze modellen is uitgebreid beschreven in het hieraan verbonden **Technische Rapport** en bevat bijvoorbeeld noodzakelijke informatie voor derden die gebruik van de modellen gaan maken. Dit hoofdstuk geeft allereerst in grote lijnen weer om welk type modellen het gaat en geeft een overzicht van de innovaties. Daarnaast bevat het een toelichting op de betrouwbaarheid van de modellen en in dat licht komen de gebruiksmogelijkheden van de instrumenten voor andere toepassingen aan de orde.

### 4.1 Innovatie vanuit Delft Cluster onderzoek

Door de koppeling tussen grondwater en oppervlaktewater, modelleren van kwantiteit en kwaliteit, in combinatie met zetting en bodemdaling ontstaat een integrale aanpak die veel verder gaat dan de huidige praktijk. Zo wordt het mogelijk om de effecten van de winning op wateroverlast én bodemdaling én waterkwaliteit integraal te benaderen.

Voorts is de schaal waarop dit onderzoek wordt uitgevoerd bijzonder te noemen: een hoge mate van detail in het stedelijke gebied in combinatie met de regionale schaal in het landelijke gebied. De hoge mate van detail in het stedelijke gebied wordt bereikt door geavanceerde ruimtelijke kartering op basis van de hoogste mogelijke informatiedichtheid van de ondergrondgegevens als basis voor gedetailleerde stromingsmodellen. Tegelijkertijd kunnen de gedetailleerde stromingsmodellen op regionale schaal worden ingezet door nieuwe rekentechnieken die voorkomen dat reketijden onacceptabel lang worden.

Modeltools voor het inschatten van effecten van beheersscenario's zijn effectiever als resultaten snel beschikbaar zijn. Daarom is gezocht naar de koppeling van een zogenaamde IR-database aan het grondwatermodel dat het mogelijk moet maken om zeer snel het effect van verschillende scenario's op het grondwater door te rekenen.

Ten slotte wordt het onderzoek ondersteund vanuit een gelijkwaardige samenwerking tussen de drie verantwoordelijke overheden in het gebied. Deze positieve betrokkenheid vanaf de start van het onderzoek geeft aan dat er draagvlak is voor een gezamenlijke aanpak van de problematiek gebaseerd op vernieuwend onderzoek en toepassing van innovaties in de praktijk.

### 4.2 Grondwatermodel kwantiteit

#### 4.2.1 *Modelcodes*

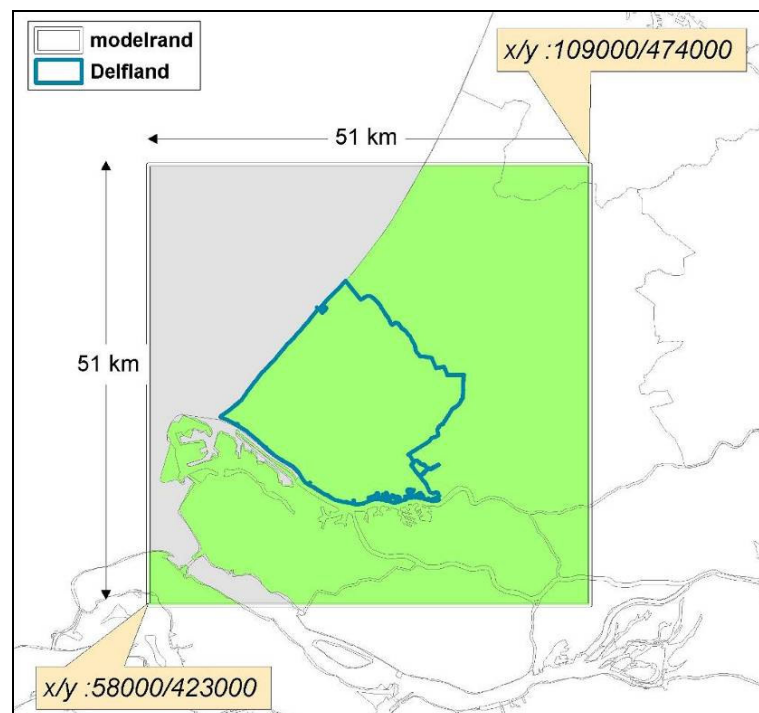
De rekencode achter het grondwaterkwantiteitsmodel is gemaakt op basis van MODFLOW (McDonald, 1988). Modflow is gebaseerd op de eindige differentie techniek en maakt hiervoor gebruik van rechthoekige cellen.

Naast MODFLOW is gebruik gemaakt van de modelcode CAPSIM (Veldhuizen 1998). Deze code berekent de grondwateraanvulling voor de onverzadigde zone. CAPSIM is bij de berekening van het grondwatermodel online gekoppeld met het MODFLOW grondwatermodel. Dit betekent dat er elke tijdstap uitwisseling plaatsvindt waarbij CAPSIM de berekende grondwateraanvulling levert aan Modflow en MODFLOW de berekende grondwaterstand aan CAPSIM doorgeeft.

#### 4.2.2 *Grondwatermodel*

De ligging en omvang van het modelgebied is zodanig gekozen, dat effectberekeningen (onttrekking uitzetten) niet worden beïnvloed door de randen van het model. Deze modelranden zijn op basis van effectberekeningen met het reeds ontwikkelde PZH grondwatermodel bepaald waardoor het modelgebied een omvang heeft gekregen van 51x51 km. In Figuur 4.1 is de ligging van het modelgebied weergegeven inclusief de coördinaten van den hoekpunten. Het modelnetwerk kent een gedetailleerde resolutie met cellen van 25x25 meter zodat het aantal modelcellen uitkomt op 2040 x 2040 cellen.

Qua tijdschematisatie kent het grondwatermodel zowel een stationair model als een niet-stationair model voor de tijdsperiode 1-1-1994 t/m 31-12-2004.



Figuur 4.1: Ligging en omvang van het modelgebied

Op basis van de REGIS-schematisatie van de ondergrond is het grondwatermodel opgebouwd uit 24 modellagen. In tegenstelling tot gebruikelijke schematisaties zijn daarbij ook scheidende lagen als modellaag opgenomen. Het aantal lagen is relatief groot voor een kwantitatief model. Hiervoor is gekozen, omdat voor de modellering van stoftransport een fijne detaillering van ondergrondparameters in de verticaal erg belangrijk is. Met name de deklaag is over meerdere lagen verdeeld om daarmee de

variatie in grondwaterstand en grondwaterstroming beter te kunnen simuleren die het gevolg is van variatie in de geologie.



Foto 4.1: Afstemming van de modellen met verschillende partijen

Het oppervlaktewatersysteem als bovenrandvoorwaarde is in het grondwatermodel uitgebreid meegenomen. Boezem- en polderwaterlopen die aangeleverd zijn door het hoogheemraadschap van Delfland zijn uitvoerig gecheckt en op enkele plaatsen zijn handmatig waterlopen toegevoegd op basis van de topografische kaart van het gebied.

De locatie van buisdrainage is bepaald door de landelijke LGN4-kaart (Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland) van Alterra te gebruiken. Drainage is in het grondwatermodel toegepast bij landgebruikfuncties 'grasland', 'tuinbouw' en 'stedelijk gras'. De drainageweerstand en drainagehoogte zijn op basis van aanwezige ervaring ingeschat.

De grondwateronttrekking op het DSM terrein is ingebracht op basis van gegevens van de provincie en Delft en heeft over de modelperiode een gemiddelde omvang van 12,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar. De overige onttrekkinginformatie is van de provincie Zuid-Holland verkregen

Het onverzadigde zone model CAPSIM dat online gekoppeld is met het grondwatermodel MODFLOW is gebruikt om de netto grondwateraanvulling te berekenen. Bij de modelberekeningen is overigens rekening gehouden met de dichtheid door waar nodig de stijghoogten aan te passen.

#### 4.2.3

##### *Ijking*

Ijking van het model heeft zowel stationair als niet stationair plaatsgevonden na een fase van modelanalyse.

De stationaire ijking van de ondergrondparameters (KD- en C-waarden) is uitgevoerd met de zogenaamde Representermethode (Valstar 2001). Het voordeel van deze methode is dat niet vooraf calibratiezones gedefinieerd worden maar de methode vertaalt de gevoeligheid tussen parameters en metingen in een optimale 'zonering' en op basis van deze ruimtelijke indeling past het de parameterwaarden aan.

De ijking wordt uitgevoerd als een proces waarin op meerdere momenten terugkoppeling met het model plaatsvindt en op basis van nieuwe inzichten en na aanpassing de ijking opnieuw wordt uitgevoerd. Tijdens dit proces zijn bijvoorbeeld op enkele plaatsen oppervlaktewaterpeilen (randvoorwaarden) aangepast en is aan een selectie meetpunten meer of juist minder gewicht toegekend.

Zoals verwacht is het mogelijk gebleken om na modelanalyse en ijking de residuen tussen de gemeten en de gemodelleerde stijghoogten sterk te verkleinen. De statistieken laten zien dat het model geen structurele afwijking heeft voor de deklaag en het eerste watervoerend pakket voor metingen binnen Delfland. De gemiddelde afwijking tussen model en meting is voor de deklaag immers 1 cm en voor het eerste watervoerend pakket 11 cm. In het tweede en derde watervoerend pakket zitten weinig metingen (respectievelijk 4 en 0) en daarom worden deze pakketten buiten beschouwing gelaten. Naast de gemiddelde afwijking is ook gekeken naar de absolute afwijkingen. Het blijkt dat:

- 25% van de absolute afwijkingen tussen model en meting kleiner is dan 12 cm;
- 50% van de absolute afwijkingen tussen model en meting kleiner is dan 24 cm;
- 75% van de absolute afwijkingen tussen model en meting kleiner is dan 43 cm.

Niet-stationaire ijking van de drainage- en infiltratieweerstand van de waterlopen en de freatische bergingscoëfficiënt heeft plaatsgevonden met PEST (Doherty e.a., 1994). Voor de ijking van de weerstand van de waterlopen is er onderscheid gemaakt tussen boezem- en polderwaterlopen. Uit de ijking kwam naar voren dat de weerstand van de boezemwaterlopen licht is verhoogd en voor de polderwaterlopen nagenoeg gelijk is gebleven. Dat betekent dat de hoeveelheid infiltratie vanuit de boezem naar het grondwater wordt vermindert. Voor de ijking van de freatische bergingscoëfficiënt zijn 6 afzonderlijke bodemzones ingevoerd die los van elkaar worden geijkt. Deze bodemzondes zijn gebaseerd op de bodemeenheden zoals zijn gedefinieerd in CAPSIM, het onverzadigde zone model.

### 4.3 Grondwatermodel kwaliteit

In het kader van het DSM project is er een lokaal, gedetailleerd, stoftransport model ontwikkeld om voor verschillende onttrekkingsscenario's de (verandering in) chloride concentraties te berekenen over een periode van 50 jaar.

Voor deze berekening is de Deltares code MOCSENS3D gebruikt, zoals beschreven in Oude Essink (1998). Dit is een aangepaste variant van MOC3D (Konikow et al 1996), waarbij de advection-dispersie vergelijking opgelost wordt met een deeltjes-aanpak voor advection (Method Of Characteristics) en dichtheidsafhankelijke grondwaterstroming expliciet wordt meegenomen.

De chlorideconcentraties zijn berekend gebruikmakend van een tweetal modellen, elk voor een ander interessegebied.

Allereerst is er een lokaal stoftransportmodel ontwikkeld voor het interesse gebied, centraal rondom de winning (8 km bij 8 km) waarbij het bestaande grondwatermodel (geijkt en met schaal 25 meter ) als uitgangspunt is gekozen (zie vorige paragraaf). In de afweging van rekentijd versus nauwkeurigheid is er gekozen voor een horizontale resolutie van 100 meter en een verticale verfijning van 24 lagen naar 40 lagen. De onderverdeling in de verticaal van fijn (lagen van 2 meter dik) naar grof (lagen van 10 meter dik) is gemaakt op basis van de dikte van de aanwezige deklaag.

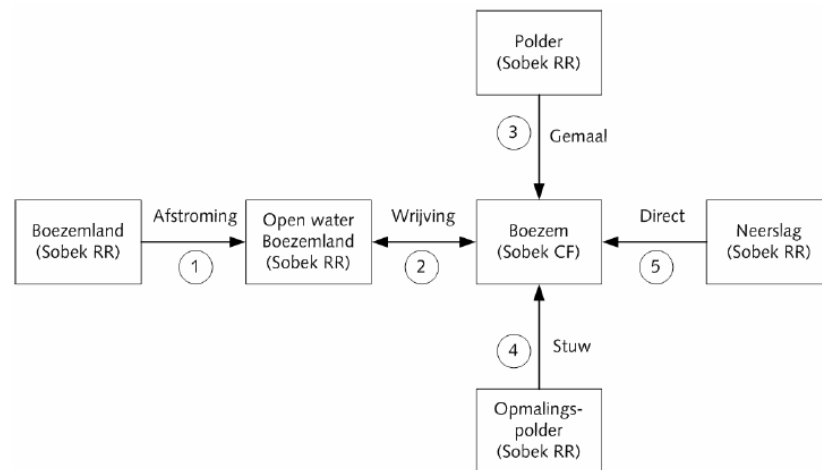
Voor de gebieden buiten het lokale model is gebruik gemaakt van het bestaande stoftransportmodel van PZH (Minnema et al., 2004). De berekende chloride concentraties uit beide modellen dienen vervolgens als invoer voor SOBEK, het oppervlaktewaterkwaliteitsmodel.

Belangrijk onderdeel van het model is de invoer van de huidige grondwaterconcentratie. Deze is van belang voor de uitkomsten van het model. In paragraaf 3.2 is duidelijk beschreven hoe deze beginvoorwaarde tot stand is gekomen en daaruit blijkt dat een globaal beeld van de chlorideverdeling redelijk goed kan worden ingeschat maar dat aanvullende meetdata meer detail kunnen opleveren.

#### 4.4 Oppervlaktewaterkwaliteit

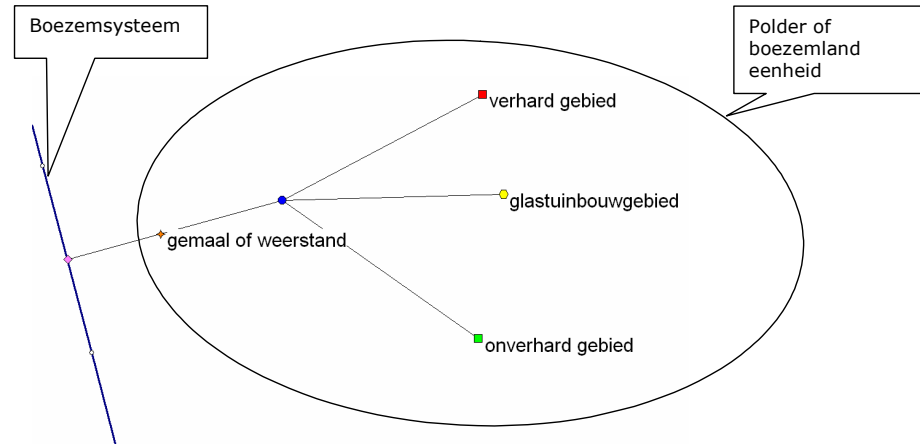
De boezem van Delfland is in 1998 geschematiseerd met Sobek Rural (WLI Delft Hydraulics, 2001), een rekenpakket voor de simulatie van stromingsprocessen in 1 dimensie zoals rivieren, waterlopen en rioolstelsels. In 2004 is het model herijkt en zijn maatregelen van het project ABC-boezem toegevoegd ('Afvoer- en BergingsCapaciteit') waarmee Delfland beoogt de verwerking van grote hoeveelheden (regen)water te verbeteren. In 2005 heeft opnieuw een herijking van het model plaatsgevonden en zijn aanvullende maatregelen toegevoegd vanuit het project ABC-boezem. Het boezemmodel is gekalibreerd op situaties met veel neerslag.

De componenten van het Sobek-model van Delflands polderboezemsysteem zijn schematisch weergegeven in Figuur 4.2 en omvat een neerslagafvoer model (Sobek RR, Rainfall Runoff) voor de polders en boezemland, en een waterbewegingmodel voor het boezemsysteem (Sobek CF, Channel Flow).



Figuur 4.2: Schematische weergave van het boezemsysteem

De polders en het boezemland zijn met rainfall-runoff model Sobek-RR gemodelleerd. In het model zijn knopen gedefinieerd die het onverharde gebied, het verharde gebied en het glastuinbouwgebied schematiseren (zie Figuur 4.3). Deze knopen zijn verbonden met één openwaterknoop, van waaruit het water op de boezem wordt geloosd.



Figuur 4.3: Typen modelknopen

#### 4.4.1 Aanpassing en behoefte van het huidige onderzoek

Voor het DSM-onderzoek zijn enkele wijzigingen doorgevoerd op het beschreven basismodel om SOBEK geschikt te maken voor interactie met MODFLOW (rekencode voor grondwater), zodat de stroming tussen oppervlakte- en grondwater gemodelleerd kan worden.

De belangrijkste wijziging is dat de RR-knopen die het achterland beschrijven nu vervangen worden door het grondwatermodel MODFLOW-CAPSIM waarmee de uitwisseling van flux en chloride tussen grondwater en oppervlaktewater voor een peilgebied wordt berekend. Indien bekend, worden ook de inlaten op het boezemstelsel aangebracht in het CF-model (channel flow).

Belangrijke randvoorwaarde voor het model is de uitgangstoestand van de verdeling van chloride. Niet alleen van het oppervlaktewatermodel maar in feite ook voor het achterliggende grondwatermodel dat toelevert. Doordat het aantal beschikbare recente chloride metingen beperkt is (zie paragraaf 3.2), is de gebiedsdekkende uitgangstoestand voor de chlorideconcentratie niet met grote betrouwbaarheid vast te stellen.

In deze studie is gebruik gemaakt van een zogenaamde off-line koppeling. Dat betekent dat de grond- en oppervlaktewatermodel in serie draaien. Eerst worden de modelberekeningen in MODFLOW uitgevoerd, de berekende fluxen en concentraties van het grondwater naar het oppervlaktewater dienen als randvoorwaarden voor het SOBEK model. Er is aangenomen dat een online koppeling overbodig is, omdat het oppervlaktewaterpeil in Delfland constant kan worden verondersteld (afgezien van zomer en winterpeilen). Een dynamische beïnvloeding tussen grond- en oppervlaktewaterstand wordt daarom verwaarloosbaar klein verondersteld.

De gebruikte rekestijdstap van het oppervlaktewater kwantiteitmodel bedraagt 5 minuten, het oppervlaktewater kwaliteitmodel rekent met een tijdstap van 10 minuten. Het achterliggende grondwatermodel rekent met tijdstappen van een dag maar de uitwisseling met het oppervlaktewatermodel gebeurt in stappen een halve maand.

#### 4.5 Bodembeweging

Door de stopzetting van de grondwaterwinning treden geohydrologische effecten op in de ondergrond. In dit kader zijn de volgende aspecten beschouwd:

- stijging van de freatische grondwaterstand;
- stijging van de stijghoogte in tussenzandlagen in het pakket van holocene afzettingen;
- stijging van de stijghoogte van het grondwater in de pleistocene zandlaag.

In geotechnisch opzicht is sprake van verschillende fenomenen die zich ontwikkelen als gevolg van die veranderingen van de waterspanning in de ondergrond:

- rijzing ten gevolge van het terugveren van de samendrukbare lagen bij het afnemen van de grondmechanische belasting door waterdruk;
- afname van de korrelspanning onder funderingselementen (onder de strook van staalfunderingen);
- afname van de korrelspanning onder funderingselementen (onder de punt van funderingspalen);
- wijziging van de schachtwrijving langs funderingspalen (afname van negatieve kleeft of ontwikkeling van positieve kleeft);
- toename van de opwaartse grondwaterdruk onder funderingen en kelderconstructies.

Het moge duidelijk zijn dat de exacte uitwerking van de verandering van de grondwaterdrukken op de geotechnische situatie complex is door de diverse naast elkaar optredende fenomenen. Een complete uitwerking kost meer tijd en geld dan in het kader van dit onderzoek beschikbaar is. Bovendien is de uitwerking altijd locatiespecifiek (op de schaal van een pand of bouwblok). In het kader van dit onderzoek is getracht om op basis van globale ruimtelijke data een schatting te maken van de ernst van de effecten. Daarbij is het grootschalige ondergrondmodel als basis genomen.

##### 4.5.1 *Rekencode en parameterisatie*

De ruimtelijke verdeling van de rijzing is berekend met een ondergrondmodel. Een model kent beperkingen door de gelimiteerde hoeveelheid aan beschikbare data die gebruikt kunnen worden om dit model op te baseren. Voor dit model is het ontwikkelde 3D ondergrondmodel gebruik zoals dat is beschreven in het Technisch Rapport (Deel I – Geologische Deklaag).

De maximale nauwkeurigheid die gehaald kon worden om de heterogeniteit van de ondergrond met het model in beeld te brengen, is bereikt door de geschatte grondsamenstelling in vakken van 25x25 m<sup>2</sup> met 0,25 m dikte in te voeren. Deze samenstelling is geïnterpoleerd uit beperkt beschikbare data van grondonderzoek. Er diende dus nog veel geologische interpretatie te worden toegevoegd. De dichtheid van de gegevens is echter nog beperkt als de mogelijke variatie vanwege heterogeniteit wordt beschouwd. Verder kunnen er interpretatieverschillen een rol spelen.

Voor de bijbehorende samendrukkingsparameters is gebruik gemaakt van:

- de sonderingen en geomechanische gegevens in DINO;
- het geotechnisch onderzoek voor de Spoorzone;
- het geotechnisch archief van GeoDelft.

Er is een nieuw programma ingezet voor de zettingsberekeningen met een rekenmethode die gebaseerd is op de aanpak volgens Koppejan. Hierin is gebruik

gemaakt van hetzelfde algoritme als in het programma MSettle. Vanwege het feit dat het programma recent ontwikkeld is, werd het noodzakelijk geacht om de berekende resultaten te controleren. Daartoe is een brede kwaliteitsborging in de vorm van een second opinion gedaan door Deltares Geo-engineering in Delft (voorheen GeoDelft). Daarin zijn meerder aspecten bekeken en is onder ander een herberekening gedaan op basis van enkele bekende boorpunten. Daarnaast zijn herberekening uitgevoerd met o.a. gevalideerde grondmechanische programmatuur MSettle en rekenmethode NEN-Bjerrum. De resultaten van beide rekenmethoden laten onderling grote verschillen zien, meer dan een factor 2. Gemiddeld genomen liggen de resultaten van de te controleren nieuwe rekencode tussen beide uitkomsten in.

#### 4.5.2 *Rekenperiode*

Om de gevolgen van de pompscenarios weer te geven is de situatie berekend in stationaire toestand, dat wil zeggen dat een toestand is berekend nadat alle effecten ten gevolge van de debietveranderingen volledig zijn uitgewerkt. In het algemeen kan worden aangenomen dat dit zo is na een periode van 30 jaar (10000 dagen) na de verandering. In de praktijk zal de aanpassing van de grond aan de nieuwe situatie in het begin het snelst plaatsvinden en logaritmisch afnemen.

De waterspanningstoestand en daarmee de grondspanning in iedere modelcel wordt verkregen door de stijghoogteuitvoer van de MODFOW berekeningen voor het tijdstip van 30 jaar na het begintijdstip van iedere cel te koppelen aan het ondergrondmodel.

## 4.6 **Nauwkeurigheid van het model**

Het DSM grondwatermodel en de bijbehorende instrumenten zijn over een periode van 2 jaar ontwikkeld ten behoeve van de ondersteuning van de besluitvorming betreffende de winning. Er is zo veel mogelijk kennis en kunde benut om het grondwatersysteem in dit deel van Zuid-Holland in het algemeen en Delfland in het bijzonder te ontwikkelen. Echter, een model is “*slechts*” een model en niet de werkelijkheid. Zowel de basisgegevens in het model als de verschillende instrumenten kennen hun eigen onzekerheden en gebruiksmogelijkheden. In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de interpretatie en gebruiksmogelijkheden van de databestanden voor het DSM model en de modelinstrumenten. Er wordt getracht antwoord te geven op vragen als: Hoe nauwkeurig is het DSM model en wat bepaalt de nauwkeurigheid?

Het DSM model bootst de werkelijkheid zo goed mogelijk na, daarvoor is maximaal gebruik gemaakt van de beschikbare data en kennis van de deelnemende en betrokken partijen. Door te kiezen voor een hoge resolutie (25x25 m) kunnen ook kleinschalige variaties in de grondwaterstroming in beeld worden gebracht. Er is pas sinds kort ervaring opgebouwd om op deze regionale schaal een dergelijk detailmodel op te zetten. In de regio Delfland is het nog niet eerder toegepast.

Deze versie van het DSM model is het resultaat van een uitgebreid traject zowel binnen de uitvoerende projectgroep als in samenspraak met belanghebbenden. Daarmee is het het beste model van dit moment. Er zijn gebieden waar het model minder goed presteert dan in andere gebieden, veroorzaakt door verschillen in ingewikkeldheid van het systeem en kennis en data over het systeem. Het is mogelijk dat voor toekomstige studies of bij toekomstige versies deze onderdelen meer aandacht krijgen. Het DSM model zal het sterkst verbeteren door het model te gebruiken in projecten en nieuwe kennis uit deze projecten te blijven toevoegen.



De verschillen tussen model en werkelijkheid kunnen voortkomen uit verschillende bronnen. In deze paragraaf wordt een aantal mogelijke onzekerheidsbronnen van het DSM model beschreven.

#### 4.6.1 *Ruimtelijke onzekerheden*

Het DSM model is ontwikkeld op een 25x25 m resolutie. Echter, niet alle vlakdekkende informatie die gebruikt wordt in het DSM model kent ook dit hoge detailniveau. Met name de ondergrondinformatie heeft dit hoge detailniveau niet. REGIS (Regionaal Geohydrologisch Informatiesysteem) is ontwikkeld op een resolutie van 100x100 m. Hoe dieper je komt in de ondergrond, des te lager het detailniveau van de kennis is. Het detailniveau hangt af van de hoeveelheid beschikbare boringen en het afzettingmilieu van de sedimenten. Een uitzondering hierop is de ontwikkeling van het 3D deklaagmodel voor het interessegebied rondom de winning. Daarin zijn naast boringen ook sonderingen gebruikt en is een model opgeleverd op 25 meter schaal.

Details in de ondergrondinformatie hebben niet overal evenveel effect op het uiteindelijke modelresultaat. Details in de ondiepe ondergrond ( $\pm$  de eerste 15 meter onder maaiveld) zoals de wijze van bouwrijp maken van woonwijken zijn van groot belang voor de berekende grondwaterstanden. Algemeen kan gesteld worden dat het lastig is om in stedelijk gebied de juiste informatie in het model te krijgen.

De locatie en de ligging van buisdrainage in zowel landelijk als stedelijk gebied en de ligging van greppels zijn niet exact bekend voor iedere cel van 25x25 meter. Deze zijn daarom op basis van schattingen in het model verwerkt. Het kan dus voorkomen dat, door gebrek aan kennis, percelen te veel of te weinig afvoermogelijkheden hebben in het model.

Met betrekking tot het oppervlaktewater is voor een groot deel van alle waterlopen kennis beschikbaar gekomen via Delfland. In sommige gevallen is een schatting gedaan van bodemhoogten en bodembreedten. Voor Pijnacker, Vlaarding en Delft is extra informatie via verschillende bewerkingen toegevoegd. Dergelijke processen zijn foutgevoelig. Bij de uitvoering van berekeningen met het oppervlaktewatermodel is gebleken dat stroming vanuit de boezem richting de dieper gelegen polders een bepalende factor is bij het berekenen van de afvoer vanuit de polders. Er zijn geen eenduidige meetreeksen of experimenten bekend die uitsluitend geven over de hoeveelheid waardoor de werkelijke infiltratieweerstand slechts geschat kan worden.

Uit analyse is gebleken dat er vooral in stedelijk gebied afwijkingen kunnen voorkomen in het vlakdekkende maaiveld. Dat maaiveld is gebruikt bij het genereren van het ondergrondmodel, het schatten van waterpeilen en het bepalen van de GHG in relatie tot al dan niet voorkomen van wateroverlast. Dat maaiveld is semi-automatisch bepaald/berekend door een filtering uit te voeren op het beschikbare AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland). De filtering is niet nieuw maar in stedelijk gebied treden eenvoudig 'complicaties' op. De indruk is dat het berekende maaiveld in stedelijk gebied gemiddeld hoger komt te liggen veroorzaakt door de relatief veel verstoringen van het AHN patroon rond wegen. Metingen van de putdekselhoogten geven nog enig houvast maar bieden geen zekerheid bij het vaststellen van het maaiveld rond bijv. woningen.

#### 4.6.2 *Temporele onzekerheden*

Deze versie van het DSM model is opgesteld voor de periode 1994-2004. Variaties door de tijd voor de verschillende invoergegevens zijn zo goed mogelijk verwerkt in het model. Neerslag- en verdampingscijfers zijn op dagbasis ingevoerd. Samen met CAPSIM (het model voor de onverzadigde zone) levert dit een nauwkeurige grondwateraanvulling op dagbasis op. Landgebruik is gedurende de modelperiode constant gehouden, dit zorgt voor onzekerheden in de grondwateraanvulling te meer omdat het gebied in de loop van de tijd veel stedelijke ontwikkeling heeft gekend. Onttrekkingshoeveelheden zijn zo veel mogelijk per maand verzameld en gebruikt in het model. Voor het oppervlaktewatersysteem zijn vaste zomer- en winterpeilen gebruikt voor de gehele periode. De meest recente peilinformatie is hiervoor gebruikt. Variaties van peilen in de tijd, zoals kortdurende afvoergolven of aanpassingen van het peilbesluit door de jaren heen, zijn in het model niet opgenomen. Daarbij is aangenomen dat waterlopen altijd watervoerend zijn. Van al deze temporele onzekerheden is een combinatie van grondwateraanvulling en waterpeilen de belangrijkste onzekerheidsbron.

#### 4.6.3 *Nauwkeurigheid van berekende effecten voor ingrepen*

De nauwkeurigheid waarmee effecten van mogelijke ingrepen op de actuele grondwatersituatie kunnen worden berekend is naar verwachting groter dan de nauwkeurigheid van de modeluitkomsten t.o.v. metingen. Immers, structurele afwijkingen tussen model en meting kunnen bij het berekenen van het effect tegen elkaar wegvallen, omdat zowel in de actuele situatie als in de situatie met ingreep met hetzelfde model wordt gerekend.

Echter, in tegenstelling tussen de actuele grondwatersituatie zijn van effecten van toekomstige maatregelen geen metingen beschikbaar en kunnen de effecten niet onafhankelijk getoetst worden. Het is daarom zinvol tijdens en na de uitvoering van maatregelen, de effecten te meten en te vergelijken met de gemodelleerde effecten. Vandaar het nadrukkelijke advies om het monitoringnetwerk rond de winning in te richten Dit verhoogt de kennis omtrent de nauwkeurigheid van de gemodelleerde effecten en geeft de mogelijkheid tijdig bij te sturen als de werkelijkheid toch anders reageert dan op basis van het model te verwachten was.

#### 4.6.4 *Conclusie*

Een eenduidig antwoord op wat de kwaliteit van het DSM model is niet gemakkelijk te geven, omdat het gebied zowel door geohydrologische verschillen als door verschillen in informatiedichtheid (metingen etc.) zeer divers is. Echter, voorop staat dat in het DSM traject *maximaal* gebruik gemaakt is van alle vlakdekkende kennis over het grondwatersysteem. De werking van het model is geanalyseerd en geijkt op gemeten grondwaterstanden en dynamiek. Het gebruik van het model voor specifieke gebieden zal in de toekomst moeten uitwijzen waar het model en de achterliggende database nog verdere aanpassing behoeven.

### 4.7 **Gebruiksmogelijkheden modelschil iMOD**

Binnen het modelinstrumentarium heeft het grondwatermodel een centrale rol. Het beheer van alle onderliggende modeldata en modelresultaten, maar vooral het uitvoeren van berekeningen (Modflow) is volledig toegespitst op deze modelschil die is gebruik namelijk het door Deltares ontwikkelde *iMOD* (Interactive MODelling).

*iMOD* heeft snelle grafische functies voor het visualiseren van kaarten, profielen en grafieken. Daarnaast heeft *iMOD* beperkte GIS functionaliteiten. Er is bewust gekozen om deze GIS functionaliteiten beperkt te houden. Voor GIS functionaliteiten zijn goede bestaande pakketten beschikbaar en daarom wordt juist de interactie tussen *iMOD* en deze GIS-pakketten zo goed mogelijk gefaciliteerd.

Voor het doorrekenen van het volledige grondwatermodel zijn ook nog verschillende mogelijkheden door variaties in:

- Tijd: stationair en niet-stationair voor de gehele periode of gedeelten;
  - Ruimte: grove resolutie of fijne resolutie, voor het gehele gebied of een detail.
- Het doorrekenen van maatregelen met het stationaire model, levert gemiddelde effecten op het systeem. De rekestijden zijn aanzienlijk korter dan voor het niet-stationaire model, maar je kunt hiermee niets zeggen over bijvoorbeeld de GHG en GLG (gemiddeld hoogste/laagste grondwaterstand) of andere temporele variabele uitvoer. Wanneer GHG/GLG of andere temporele uitvoer juist wel gewenst is, dient gerekend te worden met een niet-stationair model van minimaal 8 jaar, maar liefst de volledige modelperiode.

*iMOD* kent handige tools om het model op te schalen naar grovere resoluties. Hoe grover de resolutie des te sneller het model rekest. Het doorrekenen van een deelgebied gaat natuurlijk altijd sneller dan het volledige modelgebied, maar kent risico's: mogelijk heeft de gekozen modelrand effect op de modelberekening. De *iMOD* model tool adviseert altijd een bufferzone (=afstand interessegebied tot modelrand van het deelgebied) van minimaal 1500 m, echter voor het doorrekenen van ingrijpende maatregelen is een grotere bufferzone aan te raden. De gebruiker dient altijd te checken of de effecten niet toch de rand van het deelmodel hebben bereikt. In Tabel 4.1 staan de indicatieve rekestijden van de verschillende (deel)modellen weergegeven.

Tabel 4.1: Indicatieve rekestijden voor de verschillende (deel)modellen

	<i>stationair</i>	<i>niet-stationair</i>
250 m schaal	15 minuten	11 – 16 uur
25 m schaal	15 – 20 minuten per deelmodel bij 5x5=25 deelmodellen voor het hele modelgebied	15 - 33 uur per deelmodel bij 4x4=16 deelmodellen voor Delfland

#### 4.8 Doorkijk naar overige toepassingen

Het modelinstrumentarium is gemaakt ten behoeve van het onderzoek naar effecten van een enkele ingreep, namelijk het reduceren van een puntonttrekking. Dit sluit niet uit dat het instrumentarium mogelijk toepasbaar is bij meer onderwerpen. In onderstaand overzicht wordt hiervoor een aanzet gegeven op verschillende thema's.

Algemeen geldt dat het grondwatermodel op dit moment is ingericht voor Delfland. Zo zit informatie over het oppervlaktewatersysteem van bijv. Rijnland niet in het model. Wanneer juist (detail)studie gewenst is in die gebieden kan uitbreiding worden overwogen.

##### *Ruimtelijke ordening en waterbeheer*

Het bepalen van integrale effecten (kwantiteit, kwaliteit) van ingrepen in het watersysteem zal een steeds belangrijkere rol gaan spelen. Het instrumentarium is

geschikt voor uitbreiding om effecten van veranderend landgebruik op de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit mee door te gaan rekenen.

#### *Koppeling klimaatverandering en waterbeheer*

Effect van grotere extremen in neerslag op verandering in piekafvoeren (op uur- of kwartierbasis) kunnen met het huidige grondwatermodel niet worden bepaald. Het oppervlaktewatermodel is daarvoor wel geschikt. Effecten van veranderingen in dagelijkse neerslag en verdampingshoeveelheden of gemiddelden van neerslag en verdamping kunnen wel worden doorgerekend met het grondwatermodel, onder de aanname dat de grotere extremen in de neerslag de andere randvoorwaarden gemiddeld niet beïnvloeden. Effecten van zeespiegelrijzing op (zoute) kwel kunnen wel worden berekend

#### *Opstellen van peilbesluiten*

Voor het opstellen van peilbesluiten volgens de waterlood (Gewenst Grond- en Oppervlaktewaterregime, GGOR) systematiek is het noodzakelijk dat met behulp van een niet-stationair grondwatermodel de GHG en GLG berekend wordt. Het DSM model is hier prima voor geschikt. Dat geldt ook voor gebruik ten behoeve van GGOR in stedelijk gebied. Voor deze specifieke toepassing kan het noodzakelijk zijn om gegevens over stedelijke drainage en ophoogmethode in meer detail in te brengen.

#### *Ontwikkeling alternatieve beheerstrategieën*

Het modelinstrumentarium kan een basis vormen om op de lange termijn gerichte doelstellingen in het grondwaterbeleid vorm te geven. Scenario's kunnen worden doorgerekend met alternatieve beheerstrategieën die misschien niet op korte termijn in te passen zijn in het huidige waterbeheer, maar wel op lange termijn de doelen ondersteunen.

#### *Ondersteuning verziltingsbestrijding*

Met het modelinstrumentarium is de hoeveelheid af te voeren kwelwater berekend, waaruit de zoutbelasting op de boezem is afgeleid. De verandering daarop ten gevolge van verandering in de winning is gering. Met het modelinstrumentarium kunnen echter ook effecten van waterbeheermaatregelen op de hoeveelheid brakke kwel worden doorgerekend.

#### *Kwantitatieve wateropgave*

Door het modelinstrumentarium uit te breiden met de optie van meebewegende oppervlaktewaterpeilen, is het geschikt om scenario's door te rekenen waarin de doeltreffendheid wordt onderzocht van maatregelen gericht op onder andere 'vasthouden, bergen en afvoeren'.

#### *Basis voor evaluatie van monitoring*

Het modelinstrumentarium kan fungeren om de huidige monitoringinspanning te evalueren. Bij de evaluatie en/of optimalisatie van grondwaterkwaliteitsmeetnetten biedt het model goede basisinformatie. Homogene gebiedstypen (op basis van bijvoorbeeld kwel/infiltratie) kunnen beter worden vastgesteld.

#### *Basis voor detailstudies*

Het modelinstrumentarium kan fungeren als basis voor allerlei detailstudies. De ontwikkeling van de automatisch gegenereerde modelgrids rondom een specifieke locatie maakt het mogelijk om snel en eenvoudig een gedetailleerd, lokaal

grondwatermodel te maken. Hieronder worden enkele voorbeelden opgesomd van mogelijke detailstudies:

- Optimalisatie van grondwaterontrekkingen;
- Ondersteunen van gemeentelijke waterplannen;
- Effecten van civiele constructies op het grondwatersysteem zoals de aanleg van wegen, tunnels of parkeergarages;
- Het berekenen van de verplaatsingen van puntbronverontreinigingen in het grondwater. Het model biedt ondersteuning bij saneringen.

In het onderzoek is nog niet gerekend met stroombaanberekeningen. Het model kan daarmee worden uitgebreid zodat meer inzicht kan worden verkregen in bijv. herkomst, verblijftijd en bestemming van grondwater.

*Kaderrichtlijn Water (KRW)*

Uitspraken over grondwaterkwaliteit (anders dan chloride) zijn met het huidige modelinstrumentarium nog niet mogelijk. Daarvoor is uitbreiding nodig met een geochemisch model.



## 5 Effecten van reductie van de winning en maatregelen

### 5.1 Inleiding

#### *Alternatieven voor de winning*

Voorafgaand aan het onderzoek zijn een drietal alternatieven voorgesteld waar het onderzoek zich op zou richten. Daarin is voorgesteld de winning te verlagen naar 800 m<sup>3</sup>/uur, 400 m<sup>3</sup>/uur en de situatie zonder winning. Deze alternatieven zijn geanalyseerd ten opzichte van een debiet van 1400 m<sup>3</sup>/uur, de gemiddelde situatie van de afgelopen jaren. Feit is dat de winning op dit moment onttrekt met een continu debiet van 1200 m<sup>3</sup>/uur, het oorspronkelijke winterdebiet. De effecten voor de verschillende thema's zullen echter vertraagd doorwerken. Enige snelle effectdoorwerking is te verwachten op het onderdeel stijghoogteverandering.

Gedurende het onderzoek zijn de scenario's gewijzigd. Zo bleek dat de stap naar een reductie tot 800 m<sup>3</sup>/uur al grote gevolgen zou kunnen hebben, daarom het alternatief van 400 m<sup>3</sup>/uur komen te vervallen. In plaats daarvan is het praktische alternatief toegevoegd waarin de winning gereduceerd wordt tot 1000 m<sup>3</sup>/uur. Het alternatief waarbij de winning wordt gesloten is behouden gebleven om het beeld te kunnen geven van de meest extreme situatie.

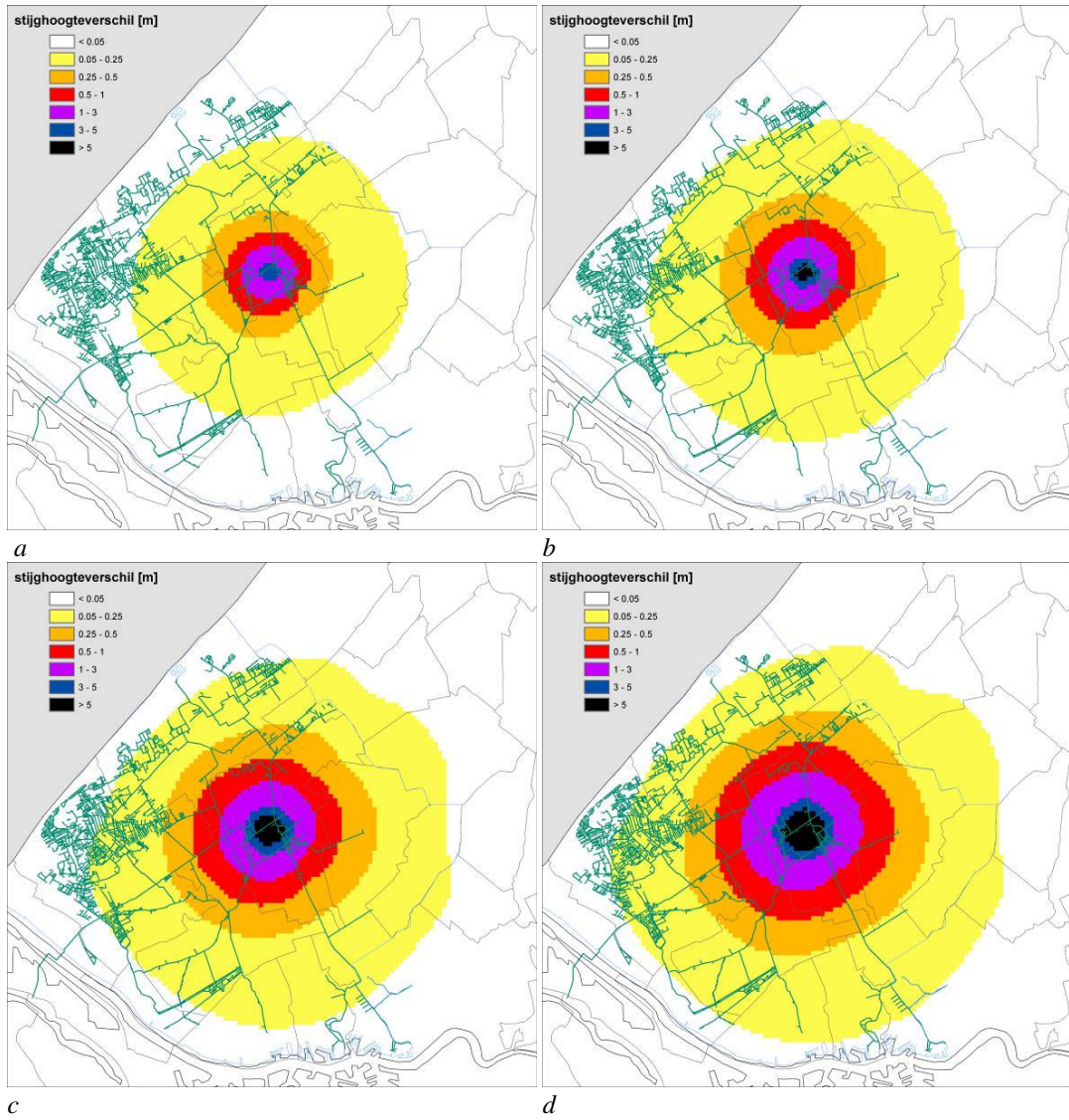
Een uitzondering op deze alternatieven zijn de waterkwaliteitsmodellen. Die rekenen alleen met de huidige situatie en de situatie zonder de winning. Een van de praktische redenen hiervoor is de gunstige uitkomsten voor de worst-case-situatie zonder de winning waardoor tussenliggende scenario's geen ander beeld zullen opleveren. Beperving van het aantal scenario's lag ook voor de hand op grond van de ervaring dat deze modellen de eigenschap hebben zeer veel rekentijd en dataopslagruimte nodig hebben.

### 5.2 Effect op (on)diep grondwater

#### 5.2.1 *Stijghoogte*

Het reduceren van de winning heeft allereerst directe invloed op de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket, direct onder de deklaag. Figuur 5.1 geeft aan hoever deze invloed reikt voor een serie onttrekkingsniveaus. Duidelijk is steeds de grote stijging in het gebied direct rond de winning. Lokaal stijgt de stijghoogte bij volledige sluiting van de winning met meer dan 10 meter. Veel uitspraken in de Quicksan zijn indertijd gebaseerd op het patroon zoals berekend met het IWACO model dat niet veel afwijkt van het gepresenteerde in de figuur.

Een verlaging van de stijghoogte in het watervoerend pakket is een direct gevolg van een reductie van de winning. Dit leidt vervolgens tot andere hydrologische effecten en afgeleide effecten die in het vervolg van dit hoofdstuk aan de orde komen.



Figuur 5.1: Toename van de stijgwoogte door afname winning tot (a) 1000 m<sup>3</sup>/jaar (b) 800 m<sup>3</sup>/jaar (c) 400 m<sup>3</sup>/jaar en (d) sluiting



### 5.2.2 *Freatische grondwaterstand*

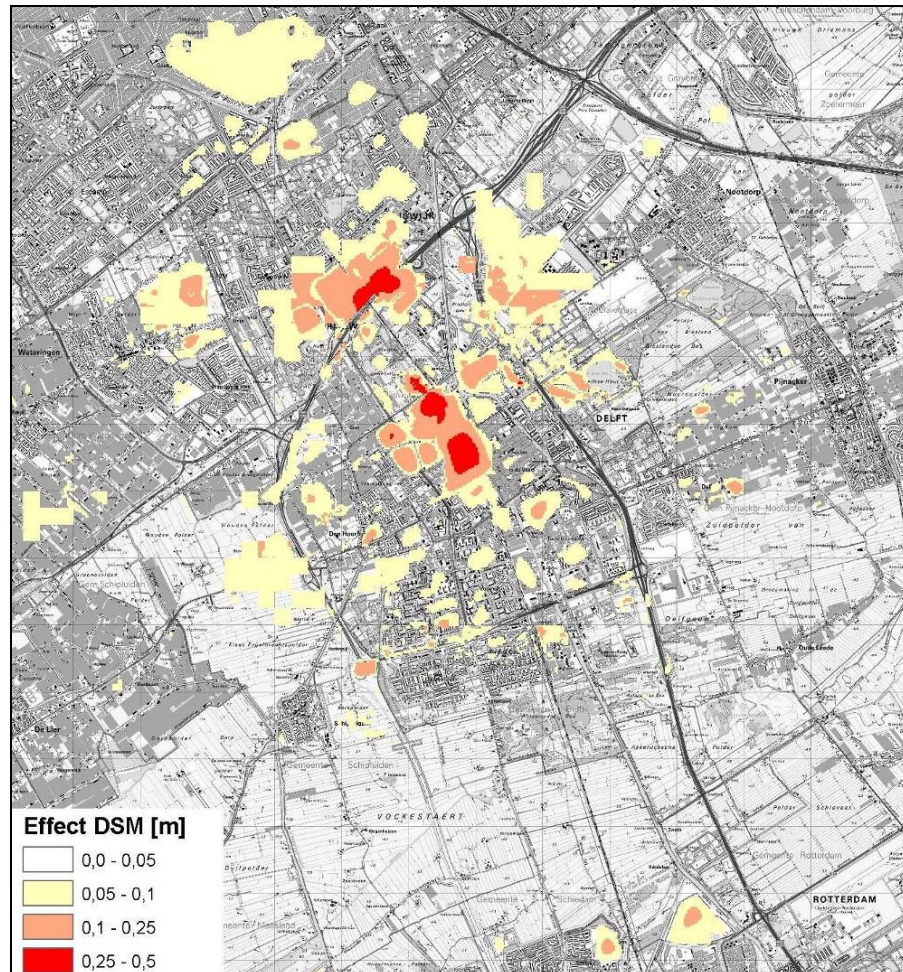
Allereerst werkt de stijghoogteverandering gedempt door richting het ondiepe grondwater. Figuur 5.2 geeft aan welke locaties volgens het grondwatermodel het effect op de gemiddelde grondwaterstand merkbaar is. Als grenswaarde in de figuur is 5 centimeter stijging aangehouden.

#### *Voorbehoud*

Op basis van het detailbeeld in Figuur 5.2 bestaat de neiging om locatiespecifiek naar effecten te gaan kijken. Maar let op dat deze uitkomsten niet kunnen worden gebruikt om op gridcelniveau (25x25m) exact af te leiden wat de effecten wel of niet zullen zijn. De interpretatie moet zijn dat er per zone een indicatie ligt van de effecten die te verwachten zijn.

In vergelijking met voorgaande berekeningen is het invloedsgebied van de winning minder groot en vormt het geen aaneengesloten geheel. Het meest in het oog springend zijn veranderingen in de wijk Hof van Delft, delen van Rijswijk en Den Haag. Het patroon van de effecten wordt veroorzaakt door een combinatie van bodemopbouw en de aanwezigheid van oppervlaktewater. In een zone rond een waterloop werkt het effect op de grondwaterstand namelijk minder hard door omdat daar de grondwaterstand ook door het oppervlaktewaterpeil wordt bepaald.

Mogelijke maatregelen om wateroverlast te voorkomen worden in paragraaf 5.7.1 besproken.



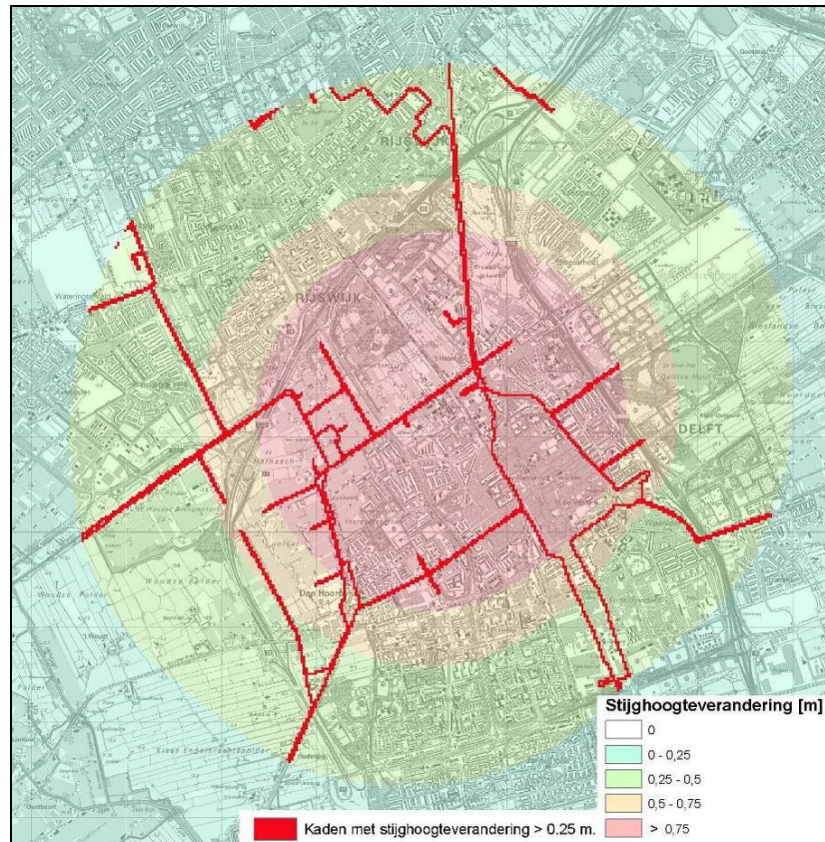
Figuur 5.2: Met grondwatermodel berekende toename van de freatische grondwaterstand ten gevolge van sluiting van de winning (zie ook het voorbehoud)

### 5.3 Geotechniek

#### 5.3.1 Waterkeringen

Door toename van de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket kan de kadestabiliteit beneden een vastgestelde factor komen, waarbij de stabiliteit niet meer gegarandeerd kan worden. Daarom is versterking van het betreffende kadedeel dan noodzakelijk. Er zijn meerdere oorzaken denkbaar voor een verminderde kadestabiliteit. Het gaat in deze studie alleen om de kaden die als gevolg van een reductie of stopzetting van de winning moeten worden versterkt. Het kan daarbij gaan om kaden die op dat moment geen versterking nodig hadden, maar door de veranderingen in de winning wel, of om kaden die al versterkt moesten worden, maar waarvoor dan extra kosten gemaakt moeten worden. In deze kosten- en batenanalyse worden beide kostenposten meegenomen als extra kosten als gevolg van een reductie of stopzetting.

Door het reduceren of stopzetten van de winning zal de stijghoogte ter plaatse van de kades toenemen. In onderstaande kaart staat aangegeven waar de kades liggen en hoeveel de stijghoogte verandert bij reductie van de winning tot  $1000 \text{ m}^3/\text{uur}$ .



Figuur 5.3: Kaden met stijghoogteverandering  $> 0,25 \text{ m}$  bij een winning van  $1000 \text{ m}^3/\text{uur}$

In bovenstaande situatie is uitgegaan van 25 cm als kritische stijghoogteverandering. Het betreft een aanname omdat op dit moment nog niet bekend is welke stijghoogteverandering daadwerkelijk tot schade leidt bij een bepaald kadetraject. Delfland laat dit momenteel onderzoeken. Om toch rekening te houden met variatie in gevoeligheid is op de achtergrond ook gerekend met 1 meter als kritische stijghoogteverandering. In dat laatste geval zal het aantal kilometer te herstellen kade lager zijn. Met door Delfland aangeleverde inschatting van de kosten voor kadeherstel zijn vervolgens de kosten voor dit onderdeel bepaald (zie verder hoofdstuk 6).

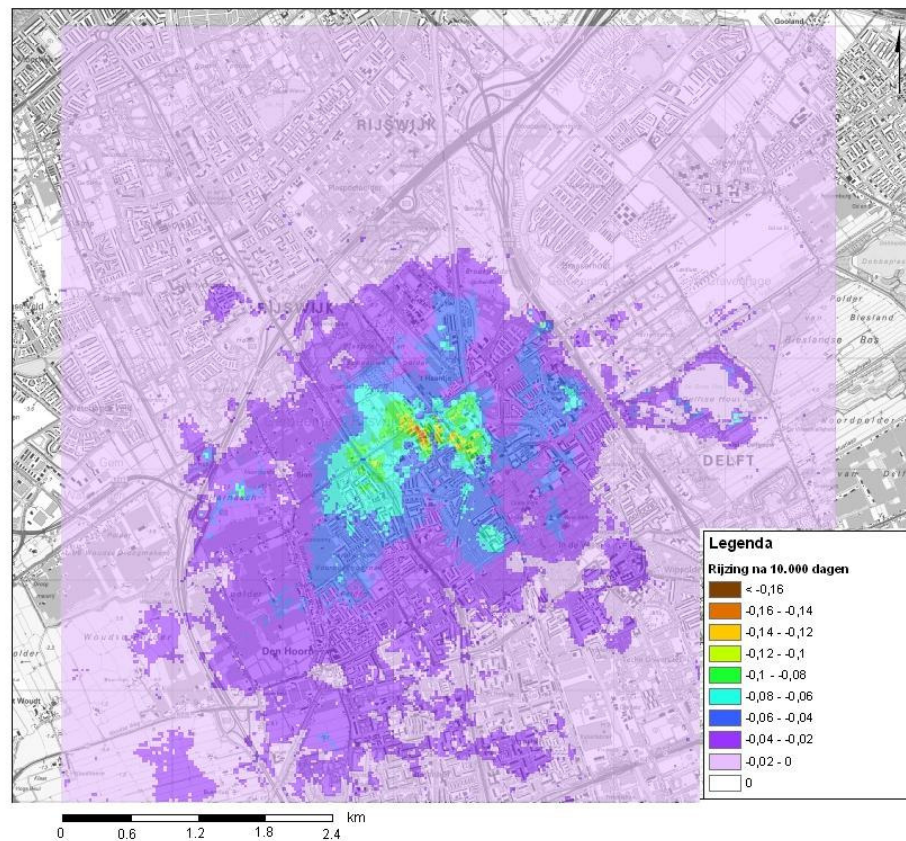
### 5.3.2 Bodembeweging, rijzing en zetting

Met behulp van het bodembewegingsmodel is de maximale **maaiveldrijzing** ten gevolge van de stopzetting van de winning berekend. Figuur 5.4 geeft het beeld weer van deze maximale rijzing na 30 jaar. Daaruit wordt duidelijk dat een rijzing van 10 cm en meer (max. 16 cm) optreedt slechts binnen de grenzen van DSM zelf. Daarbuiten is de rijzing beperkt tot enkele centimeters.

### Voorbehoud

Op basis van het detailbeeld in Figuur 5.4 bestaat de neiging om locatiespecifiek naar effecten te gaan kijken. Maar let op dat deze uitkomsten niet kunnen worden gebruikt om op gridcelniveau (25x25m) exact af te leiden wat de effecten wel of niet zullen zijn. De interpretatie moet zijn dat er per zone een indicatie ligt van de effecten die te verwachten zijn

De omvang van deze rijzing is bepaald in een zettingsberekening als een primair deel als gevolg van deconsolidatie. Deze rijzing moet zoals vermeld worden gesuperponeerd op een doorgaande secundaire zetting in de orde van grootte van 0,5 tot 1 mm/jaar die karakteristiek is voor dit deel van Nederland. Voor een deel wordt deze veroorzaakt door oxidatie van veenlagen boven de grondwaterspiegel.



Figuur 5.4: Berekende omvang van de maaiveldrijzing [eindwaarde in meters]. Zie ook het voorbehoud

Uit de resultaten komt ook naar voren dat de maaiveldbeweging in het gehele gebied, met uitzondering van een beperkte zone rond de onttrekking op veel plaatsen **zetting** vertoont (globaal tot ca. 0,40 m over 30 jaar). Dit is een gevolg van de oxidatie die plaatsvindt zolang zich veenlagen boven de grondwaterstand bevinden. Door het opkomen van de grondwaterstand bij afnemend debiet wordt de oxidatie wel minder dan in de huidige situatie.

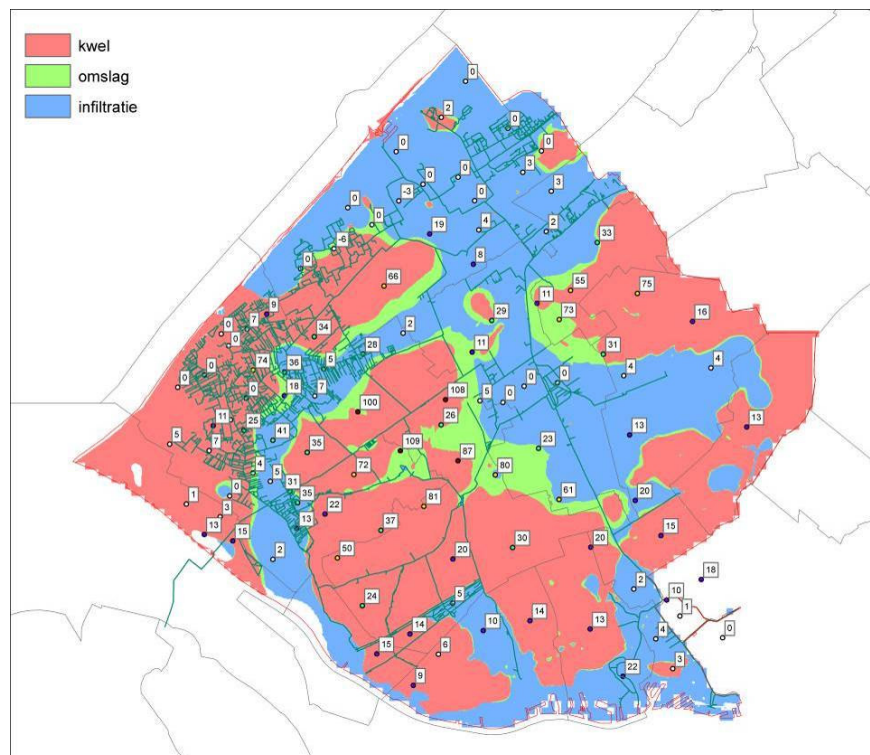
Wat vervolgens het effect van deze bodembeweging op de stabiliteit van panden is wordt uitgebreid toegelicht in paragraaf 6.2.3.

## 5.4 Grondwaterkwaliteit

De stopzetting van de winning leidt naast veranderingen in grondwaterstand en stijghoogte ook tot verandering in stroming en stromingsrichting. In de Quickscan is ingeschat dat die verandering er toe zal leiden dat meer brak grondwater zich door de deklaag richting het oppervlaktewater zal verplaatsen wat in bepaalde situaties voor kwaliteitsproblemen zorgt zodat extra doorspoelcapaciteit noodzakelijk wordt.

Een ander kwaliteitsaspect in de ondergrond is gerelateerd aan aanwezige bodem- en grondwaterverontreinigingen. Verandering van stroming en stromingsrichting beïnvloeden mogelijk het pad van de verontreiniging en het eindpunt (receptor) ofwel de vorm van de verontreiniging(spluim) kan wijzigen. Dit onderwerp komt in paragraaf 5.6 aan de orde.

In tegenstelling tot de inschatting volgens de Quickscan laten de resultaten van de berekeningen zien dat er geen waterkwaliteitsprobleem zal ontstaan met betrekking tot chloride. Bij die berekening is allereerst bepaald wat de kwaliteitsontwikkeling is van het grondwater dat richting alle (polder)waterlopen afstroomt. Die resultaten zijn vervolgens per peilgebied of serie van peilgebieden gesommeerd en zijn daarna op 105 vaste punten (veelal gemalen) 'overgedragen' aan het boezemstelsel. Figuur 5.5 toont de maximale toename van de chlorideconcentratie op die 105 verschillende punten in het oppervlaktewatermodel voor de situatie dat de winning sluit.



Figuur 5.5: Maximale concentratietoename [mg/l] in het oppervlaktewater van Delfland t.g.v. stopzetting van de winning

De verklaring voor de hoogte en de spreiding van die maximale waarden kan worden gegeven aan de hand van inzicht in de interactie tussen het diepe en het ondiepe grondwater. Daarover gaat het in de volgende paragraaf.

#### 5.4.1 *Waterbalans over de deklaag*

Het effect van reductie van de winning op de waterkwaliteit wordt inzichtelijk als wordt gekeken naar de verticale stroming over de deklaag. Die varieert tussen sterke kwel op de ene (diepe) locatie en infiltratie op andere, hoger gelegen delen. Met het stopzetten van de winning zal naar verwachting de hoeveelheid kwel toenemen, de infiltratie afnemen en daartussenin zal een zone zijn waarin infiltratie omslaat in kwel. In Figuur 5.5 zijn die drie verschillende stromingszones aangeven voor de situatie dat de winning sluit.

De werkelijke waterbalans over de deklaag geeft inzicht in de mate van verandering van het grondwatersysteem. Hieruit blijkt dat stopzetten van de winning van 13,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar niet leidt tot een gelijke hoeveelheid water dat nu via het oppervlaktewater wordt afgevoerd. In werkelijkheid is de **bruto** stroming richting de deklaag slechts 9,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar, 70% (zie Tabel 5.1). Uit de analyse blijkt verder dat dit niet betekent dat er daadwerkelijk 9,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar brak water vanuit het watervoerend pakket richting de deklaag stroomt. Tabel 5.1 laat zien dat slechts 3,3 miljoen m<sup>3</sup>/jaar brak water vanuit het watervoerend pakket richting de deklaag stroomt. Het overige in de balans komt voor rekening van afname van infiltratie.

Tabel 5.1: Verandering van de verticale flux in de deklaag

Onderdeel	Miljoen m <sup>3</sup> /jaar	
Afname infiltratie ( <i>geen kwal. effect</i> )	5,2	
Toename kwel ( <i>brak</i> )	2,5	→ 2,5
Infiltratie slaat volledig om in kwel	1,8	
- <i>Voorheen: infiltratie aandeel</i>		1,0
- <i>Nu: kwel aandeel nu(brak)</i>		0,8
		→ 0,8
		+
Bruto verandering:	9,5	+
	Toename brakke flux vanuit WVP	3,3

Bovenstaande analyse wijkt af van de schatting die gedaan is in de Quickscan. Daarin werd geschat dat van de 13,5 miljoen m<sup>3</sup> ongeveer 11 miljoen extra vanuit het watervoerend pakket via het topsysteem tot afstroming zou komen.

#### 5.4.2 *Effect op de ontwikkeling van de waterkwaliteit*

Deze inzichten in de balans over de deklaag en de effecten van reductie van de winning verklaren de uitkomsten van het stoftransportmodel. De resultaten zijn namelijk dat in de worst case situatie de toename van de chlorideconcentratie in het oppervlaktewater gering is. Onder worst case verstaan we de situatie waarbij de winning volledig sluit in combinatie met een droog jaar waarin het aandeel brakke kwel het grootst is. Het meest droge jaar uit de tijdreeks van het model is 2003, een jaar waarin volgens het KNMI slechts 570 mm neerslag viel. Over dat droge jaar blijkt de afvoer via het topsysteem van Delfland ongeveer 0,05 mm/dag te zijn. In de situatie zonder de winning verdubbelt dat tot 0,11 mm/dag.

Aan de hand van de verschillende zones uit Figuur 5.5 zullen de resultaten worden toegelicht.

*Zone I: blijvend infiltratie*

Omdat er geen stroming vanuit het watervoerendpakket is, zal er geen verandering van de chlorideconcentratie plaatsvinden. Omdat regenwater een lage chlorideconcentratie heeft zal het systeem mogelijk verzoeten

*Zone II: blijvend kwel*

In deze zone is er op dit moment sprake van een opwaartse grondwaterstroming. Wordt de winning gesloten dan zal deze stroming toenemen. Ondanks toename van de kwelstroom neemt de chlorideconcentratie boven in de deklaag slecht heel weinig toe. Reden hiervoor is dat een significante verhoging van de chlorideconcentratie ten opzichte van de startconcentratie pas na een groot aantal jaren zal plaatsvinden. Immers, de stroomsnelheid door de deklaag is zeer gering ten opzichte van de rekenperiode, namelijk 50 jaar.

*Zone III: infiltratie wordt kwel*

In dit gebied wisselt de grondwaterstroming van richting. Op deze plekken laat de oppervlaktewaterconcentratie richting de boezem dan ook de grootste toename zien (zie Figuur 5.5). De waterafvoer voor deze zone vindt plaats via verschillende Sobek afwateringsgebieden. Daarom liggen de knooppunten van het oppervlaktewatermodel ook niet exact in zone III. Overigens blijkt de absolute concentratiename niet hoog (maximaal 100 mg/l). Reden hiervoor is dat het aandeel brakke kwel laag is t.o.v. de hoeveelheid zoete neerslag.

*5.4.3 Lokale afwijking t.o.v. modeluitkomsten*

Er wordt veel onderzoek gedaan op het gebied van stoftransport in grondwater en de relatie met het oppervlaktewater. Recente studies (o.a. in Zeeland, Hoogheemraadschap van Rijnland en Noord-Nederland) waarin veel monitoring heeft plaatsgevonden tonen aan dat het transport van stoffen zoals chloride op zeer kleine schaal sterk kan variëren. Dat treedt op bij wellen maar ook bij sloten die diep in de deklaag zijn ingesneden. Beide fenomenen zijn voorbeelden van locaties waar de deklaag "lek" is waardoor daar veel hogere kwelintensiteiten kunnen voorkomen. Er worden in en onder dergelijke locaties hoge chlorideconcentraties gemeten. De indruk bestaat dat door de hogere flux grondwater van dieper wordt aangetrokken, veelal met hogere chloride concentraties. Dergelijke processen spelen op een schaal van enkele meters. Het stoftransportmodel rekent echter op een schaal van 100m, zodat de hierboven beschreven effecten niet zichtbaar kunnen worden gemaakt maar worden uitgemiddeld.

De kans bestaat dat op grond van bovenstaande lokaal hogere chlorideconcentraties zullen worden gemeten dan nu berekend. Het zal daarbij echter waarschijnlijk zelden om wellen gaan. Volgens Van Ek (2007) komen er voor zover bekend in Delfland geen wellen voor, uitzonderingen zijn Leidseveen en Oranjeplas. Op de locaties waar de chlorideconcentratie onder de deklaag regionaal relatief hoog is (vele honderden tot enkele duizenden mg Cl/l), de sloten diep insnijden én de deklaag niet dikker is dan enkele meters zijn lokaal de hoogste chloride concentraties te verwachten.

## 5.5 Oppervlaktewaterkwaliteit

Zoals in de vorige paragraaf is toegelicht zijn de berekende effecten van het stopzetten van de winning op de chloride concentraties in het oppervlaktewater gering. De effecten die optreden gelden met name de zogenaamde 'omslaggebieden', daar waar infiltratie omslaat in kwel en in mindere mate de gebieden waar kwel zal toenemen. Dit gebeurt echter op zo weinig locaties en de effecten zijn zo gering dat het de concentratie van het boezemwater niet of nauwelijks beïnvloedt.

Ondanks de geringe extra aanvoer van chloride vanuit het grondwater is toch de doorrekening van de effecten op het oppervlaktewater met behulp van het SOBEK model uitgevoerd voor het worst-case scenario (jaar 2003). Voor die locaties in het oppervlaktewater waar meetwaarden beschikbaar zijn blijkt het SOBEK model hogere concentraties te berekenen dan de gemeten waarden. Die afwijking in berekende concentratie is niet eenvoudig te corrigeren omdat concentraties alleen worden beïnvloed door de aan het model opgelegde randvoorwaarden die ofwel gemeten zijn ofwel van het grondwatermodel afkomstig zijn.

De berekende *absolute* chlorideconcentraties zijn dus minder betrouwbaar en uitspraken daarover kunnen niet door het model worden gedaan. Het model is wel geschikt om een indruk te geven van de grootteorde van het effect van voorgenomen maatregelen voor het worst case scenario met een gesloten winning tijdens een droog jaar.

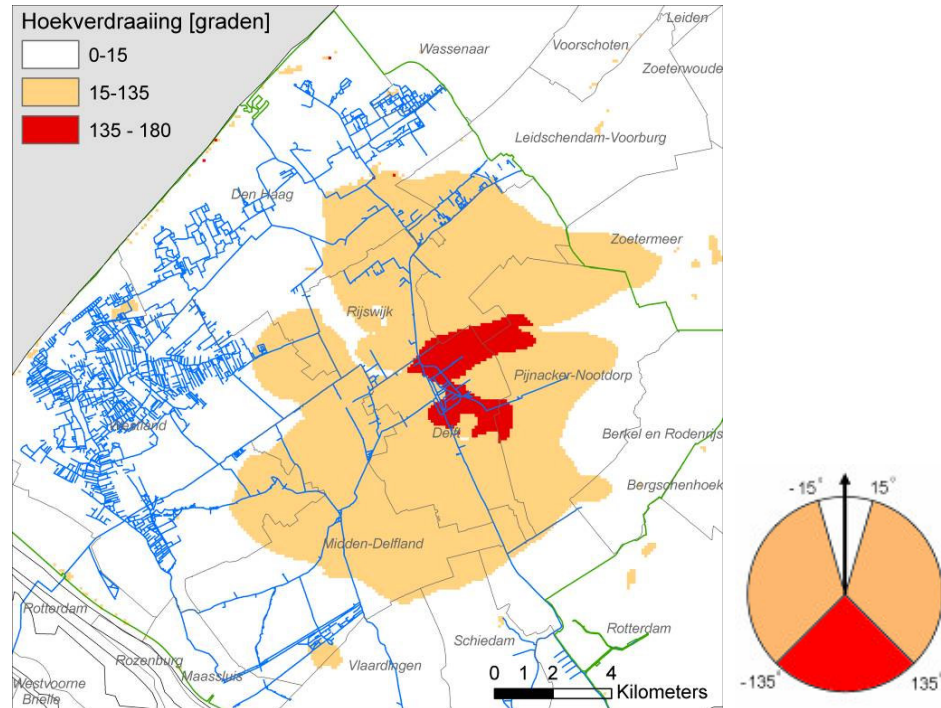
Het blijkt dat de chlorideconcentraties in de boezem vele malen meer worden beïnvloed door de lekverliezen bij de Parksluizen dan door het stopzetten van de winning.

## 5.6 Saneringen en grondwaterverontreinigingen

Door de reductie of stopzetting van de winning kan de stromingsrichting (of in mindere mate de stromingssnelheid) ter plaatse van verontreinigingen veranderen. Dit kan leiden tot de noodzaak van aanpassen van de ingerichte monitoring dan wel de sanering. In de Quickscan werd onderscheid gemaakt tussen verontreinigingen in de regio Delft die door de winning worden ingevangen, saneringen in de wijdere omtrek en specifiek saneringslocaties in Rijnmond.

Het effect van de winning dat van belang is voor verontreinigingen en/of saneringen betreft de wijziging van de (horizontale) stromingsrichting. Daardoor kan de verontreiniging 'ontsnappen' aan de monitoring of de sanering. Figuur 5.6 geeft inzicht in de verandering van de horizontale stromingsrichting, gedifferentieerd naar de grootte van het effect. De verwachting is dat in gebieden waar de stromingsrichting meer dan 15 graden draait bestaande saneringen en/of monitoring moeten worden aangepast aan de nieuwe situatie.





Figuur 5.6: Draairichting van de grondwaterstroming ten gevolge van sluiting van de winning

In de Quicksan is opgemerkt dat in Rijnmond sprake zou kunnen zijn van problemen met monitoring of sanering in verband met het verschuiven van de waterscheiding in noordelijke richting. Uit berekeningen met het grondwatermodel blijkt dat van deze verschuiving geen sprake is. Dit risico wordt daarom in dit onderzoek niet meer meegenomen.

## 5.7 Mogelijke maatregelen

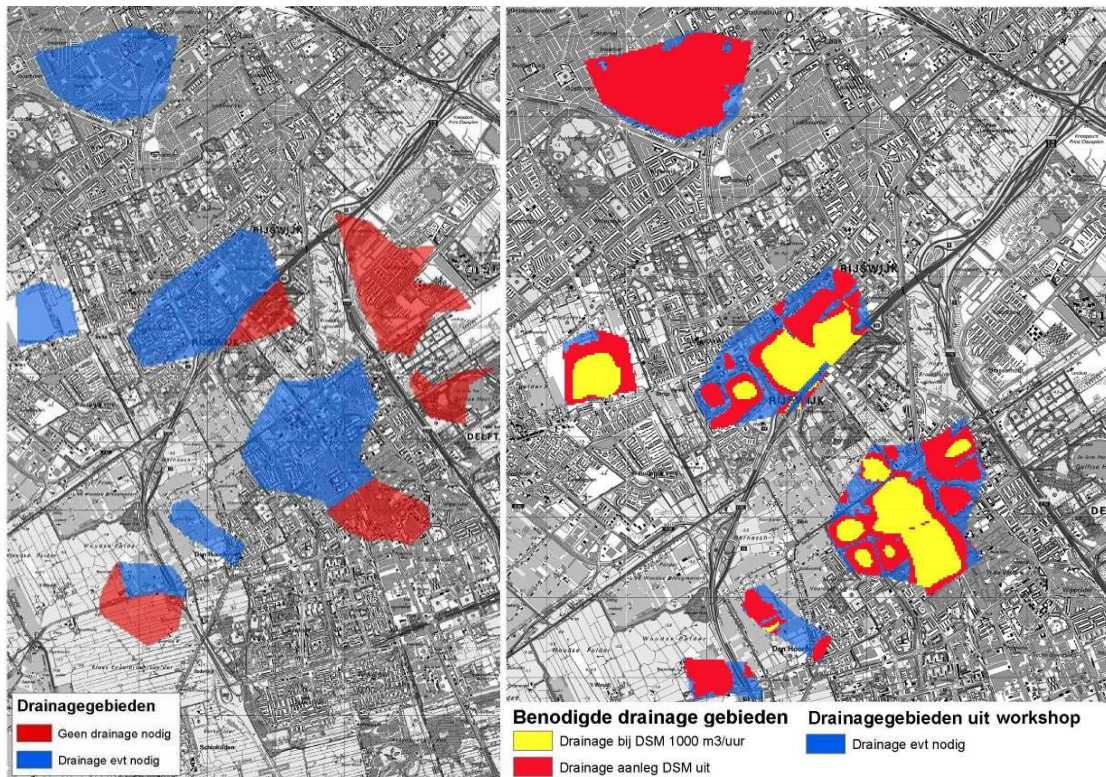
In November 2007 is een workshop georganiseerd gericht op het gezamenlijk definiëren van maatregelen om effecten van winningreductie weg te nemen dan wel te verminderen. In de workshop kwamen stonden twee type maatregelen centraal namelijk de aanleg van drainage en reallocatie van (een deel) van de winning. Als basis van de workshop dienden de beelden van de effecten zoals in het voorgaande zijn toegelicht.



Foto 5.1: Werksessie voor het vaststellen van maatregelen

5.7.1 Aanleg van drainage

Dit onderdeel van de workshop vond vooral plaats rond Figuur 5.2 met daarin de effecten van winningreductie op de grondwaterstand. Er is toegelicht dat de kaart niet gebruikt mag worden om voor een specifiek modelcel van 25x25 te bekijken of het model net wel of net geen wateroverlast berekend. Veel meer is het zaak om na te gaan wat het risico is per (deel)wijk met in het achterhoofd de wetenschap dat het besluit voor de aanleg van drainage in de praktijk ook per (deel)wijk wordt gedaan.



Figuur 5.7: Workshopresultaat: kaart met gebieden waarbinnen drainage waarschijnlijk noodzakelijk bij stopzetting

De stijging van de grondwaterstand zoals Figuur 5.2 die toont hoeft geen probleem te betekenen. Grondwateroverlast speelt per definitie in bebouwde gebieden (voor landbouw en natuur, zie volgend hoofdstuk). Om die reden is op basis van het LGN4 bepaald welke gebieden bebouwd zijn. Op basis van de discussies tijdens de workshop is bepaald in welke gebieden deze 5 cm stijging naar verwachting geen probleem hoeft te betekenen, omdat de ontwateringsdiepte voldoende groot is. Ook zijn er gebieden waar al drainage ligt en een stijging van de grondwaterstand niet door middel van nieuwe drainage opgelost zal worden, want er ligt immers al drainage. Tot slot zijn er gebieden waar nu al grondwateroverlast bestaat en het redelijkerwijs niet terecht is om kosten voor drainage af te schuiven op een eventuele reductie van de grondwaterwinning. Het resultaat is te zien in Figuur 5.7.

De uitkomst is dat bij een debiet van 1000 m<sup>3</sup>/uur naar schatting 200 ha moet worden gedraineerd in Delft, Rijswijk, Den Haag. Gaat de winning nog verder terug dan is 300 ha (bij 800 m<sup>3</sup>/uur) of meer dan 600 ha drainage nodig wanneer de winning sluit.

#### 5.7.2 *Mogelijkheid tot reallocatie van de winning*

Bij de alternatieven met een verminderde onttrekking werd vooraf aanvullend onderzoek voorgesteld. Dat onderzoek bestond uit de vraag in hoeverre het verstandig zou zijn om dit gereduceerde onttrekkingsdebiet (deels) buiten het DSM terrein te realiseren. De winning zou bijvoorbeeld worden teruggebracht van 1200 m<sup>3</sup>/uur naar 800m<sup>3</sup>/uur waarvan 400 op het DSM terrein en 400 op plaatsen elders in de stad. De achterliggende gedachte daarbij is dat reallocatie (in onderdelen van bijv. 50 m<sup>3</sup>/uur) plaats kan vinden op die locaties waar ongewenste effecten van de reductie zouden optreden bijvoorbeeld rond kades en ter plaatse van grondwateroverlast.

#### *Toelichting IR database*

Het modelinstrumentarium bevat een functionaliteit om inzicht te krijgen welke plekken daarvoor in aanmerking komen, de zogenaamde IR-database. Een IR-database (IR staat voor Impuls Respons) is een door Deltares ontwikkelde tool waarbij allereerst automatisch een grote hoeveelheid specifieke scenarioberekeningen kan worden uitgevoerd; in dit geval het effect (Respons) van een kleine onttrekking (Impuls) op de grondwaterstand en dat vanuit alle mogelijke locaties. De resultaten (Respons) van deze berekeningen worden systematisch opgeslagen in een database. Naderhand is deze database te raadplegen en toont dan snel de combinatie van effecten (Respons) van onttrekkingen die buiten het DSM terrein worden geplaatst. Zo is interactief een gewenste combinatie te vinden. Dat maakt algemeen gesproken een IR-database geschikt om 'aan-de-vergadertafel' mogelijke alternatieven te analyseren of oplossingen te zoeken.

#### *Uitkomsten*

Bovenstaande aanpak is uitgewerkt voor ten behoeve van de November workshop van 2007 met als doel inzicht te krijgen in de mogelijkheden om met reallocatie negatieve effecten van reductie van de winning te verminderen. Er is daarbij gekeken naar de effecten op de grondwaterstand (afname van de overlast) en op (boezem)kades (verhoging van de stijghoogte leidt tot risico op afschuiving).

Niet eerder is de IR database gebruikt voor scenarioberekening van relatief grote onttrekkingen in het diepere pakket. Het gebruik richt zich tot op heden op veranderingen in het topsysteem (peilverhogingen, toevoegen/verwijderen van waterlopen). Bij controle tijdens de voorbereidingen bleek dat met de IR database

berekende effecten op de grondwaterstand nog niet foutloos zijn. Het verdient dan ook aanbeveling om het rekenconcept nog eens tegen het licht te houden. Absolute waarden van de effecten kunnen in dit stadium dan ook niet worden gegeven. Wel is inzicht gekregen in de relatie tussen diepere winning en de ondiepe grondwaterstand.

De conclusie is dat het niet de voorkeur heeft om problemen aan maaiveld (grondwateroverlast) op te lossen door winningen in een dieper pakket (onder de deklaag) aan te brengen. Het gebruik van de IR database bevestigde nogmaals de grillige opbouw van de deklaag. Daardoor wordt het minder eenvoudig om op buurniveau de relatie vast te stellen tussen de locatie van een winning onder de deklaag en het invloedsgebied ervan aan maaiveld. Een andere conclusie is dat reallocatie ook geen oplossing lijkt te zijn voor het probleem van instabiele kades. Het effect van winningen in het diepere pakket is namelijk sterk kegelvorming waardoor het niet geschikt is om over grotere afstanden een gelijkmatige verlaging ter plaatse van kades te bewerkstellingen.

Gezien deze onzekerheden en de relatief hoge kosten van reallocatie (aanleg van nieuw bronnen en afvoersysteem door de stedelijk gebied) is besloten dat reallocatie niet verder als alternatief wordt uitgewerkt.

## 6 Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA)

In de Quickscan DSM-spoorzone is op basis van expertkennis en beschikbare informatie een opzet gemaakt voor het moneteriseren van de kosten van de effecten op functies. In dit hoofdstuk zullen we de opzet zoals die toentertijd gemaakt is, grotendeels handhaven. Daar waar de nieuwe berekeningen en nieuwe inzichten leiden tot een andere omvang en/of benadering van de effecten, zijn deze cijfers uiteraard aangepast.

De uitkomsten van dit hoofdstuk zijn voornamelijk gebaseerd op de volgende bronnen:

- Quickscan DSM-Spoorzone;
- Nieuwe modelberekeningen en kennis van de onderzoeksinstituten;
- Opmerkingen en resultaten uit de workshops met betrokken overheden en belangengroepen op 16 november 2007;
- Door de opdrachtgevers (provincie Zuid-Holland, Hoogheemraadschap van Delfland en gemeente Delft) aangeleverde kengetallen.

### 6.1 Inleiding

In dit vervolgonderzoek is afgesproken de MKBA zoveel mogelijk te laten aansluiten op de aanpak van de Quickscan. Bij het lezen van dit hoofdstuk is het essentieel om de doelstelling van deze MKBA in het achterhoofd te hebben:

*Doelstelling: “het onderling vergelijken van de ordegrootte van verschillende effecten en van de verschillende reductiestrategieën onderling (ten opzichte van de huidige situatie)”.*

Aan het eind van dit hoofdstuk is in paragraaf 6.3 een toelichting opgenomen hoe de uitkomsten bewerkt zijn tot netto contante waarden. Het omrekenen van investeringskosten en jaarlijks terugkerende kosten tot een totaal is een berekening waarin ook aannames verwerkt (moeten) zijn. De uitkomsten hiervan zijn dus niet per definitie objectief. In dit rapport zijn zoveel mogelijk aannames uit de Quickscan gehanteerd, vanuit de gedachte dat een vergelijking met de Quickscan wenselijk is. Dit betekent dat er eventueel andere aannames op basis van een veranderd inzicht in het opstellen van mkba's niet verwerkt zijn.

Sommige effecten worden niet omgerekend naar netto contante waarden maar worden als PM post opgenomen. Dit is gebruikelijk omdat sommige effecten van maatregelen niet goed zijn te meten of de geldelijke waarde van een effect moeilijk of niet is te bepalen. De PM post is een laatste redmiddel waardoor onderkend wordt dat het buiten beschouwing laten van deze effecten niet altijd bijdraagt aan een goede besluitvorming. In de Quickscan zijn ook enkele effecten als PM post opgenomen. Wanneer deze effecten in deze vervolgstudie niet nader bepaald zijn blijven de PM-posten uit de Quickscan dan ook gehandhaafd

### 6.2 Toelichting op methode van kwantificering + gevolgen stopzetting

In deze paragraaf zal per (potentieel) effect aangegeven worden hoe de locatie en omvang bepaald zijn. Vervolgens wordt voor deze fysieke effecten via kengetallen een

benadering gegeven van de kosten die op kunnen treden bij een reductie van de grondwaterwinning.

Per effect is, waar mogelijk, bepaald wat de effecten zijn als de omvang van de winning verandert. Daarbij komen drie alternatieve debieten aan de orde. Als huidige situatie wordt 1400 m<sup>3</sup>/uur aangehouden. Feit is dat de winning op dit moment onttrekt met een continu debiet van 1200 m<sup>3</sup>/uur, het oorspronkelijke winterdebiet. De effecten voor de verschillende thema's zullen echter vertraagd doorwerken. Enige snelle effectdoorwerking is te verwachten op het onderdeel stijghoogteverandering. Alternatieven zijn een verlaging tot 800 m<sup>3</sup>/uur, tot 400 m<sup>3</sup>/uur en de situatie zonder winning.

### 6.2.1 Grondwateroverlast

In tegenstelling tot de Quicksan wordt nu geen onderscheid meer gemaakt tussen woningen, winkels en bedrijven. De belangrijkste reden hiervoor is, dat er geconstateerd is dat in de toekomstige overlastgebieden drainage als maatregel het meest voor de hand ligt. Dit betekent dat voor alle functies dezelfde maatregel bepalend is voor de kosten en daarmee het onderscheid tussen de functies in deze benadering geen meerwaarde meer heeft.

Op basis van de berekeningen met het grondwatermodel is een kaart gemaakt waar de jaargemiddelde freatische grondwaterstand meer dan 5 cm omhoog zal gaan. Dit zijn de gebieden waar potentieel problemen kunnen gaan ontstaan als gevolg van reductie van de winning. Dit zoekgebied is verder teruggebracht zoals in paragraaf 5.7.1 is toegelicht en in de onderstaande tabel staan de oppervlakten aan bebouwd gebied waar de aanleg van drainage noodzakelijk zal zijn bij de verschillende alternatieven.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Oppervlak bebouwd gebied (ha)	0	197	305	639

De gemeente Delft geeft aan op basis van haar ervaringscijfers dat drainage in stedelijk gebied, inclusief bestrating, per strekkende meter EUR 215 kost. Uit de discussie op de workshop bleek dat een drainage-afstand van 50 meter een reële inschatting is. Dit betekent dat er per ha 200 meter drainage nodig is. Dit komt neer op EUR43.000/ha.

Door de gemeente Delft is aangegeven dat drainage in dit gebied globaal 30 jaar meegaat. Voor de kostenberekening betekent dit dat deze kosten na 30 jaar opnieuw gemaakt moeten worden.

Drainage dient voor het behouden van de werking ervan, onderhouden te worden. Op de workshop is al aangegeven dat drainageonderhoud ongeveer EUR 0,15 per strekkende meter per jaar kost. Dit betekent EUR 30/ha/jaar.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Investeringskosten bestrijding grondwateroverlast (EUR)	0	8.500.000	13.100.000	27.500.000
Jaarlijkse onderhoudskosten (EUR/jaar)	0	5.900	9.100	19.200

### 6.2.2 *Invloed waterkwaliteit op waarde woningen*

In de Quickscan is hierover geconcludeerd dat de kans op een waardedaling door een grote achteruitgang van de waterkwaliteit gering is, maar dat een eventueel effect aanzienlijk kan zijn. Uit het onderzoek blijkt dat de waterkwaliteit naar verwachting niet (sterk) achteruit zal gaan. Daarom wordt hier gesteld dat dit effect nihil is.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Waardedaling woningen	0	Nihil	Nihil	Nihil

### 6.2.3 *Geotechnische effecten op bebouwing*

De bodembeweging die het gevolg is van reductie of sluiting van de winning is in paragraaf 5.3.2 weergegeven. Wat daarvan de gevolgen zijn voor de aanwezige panden wordt in deze paragraaf toegelicht.

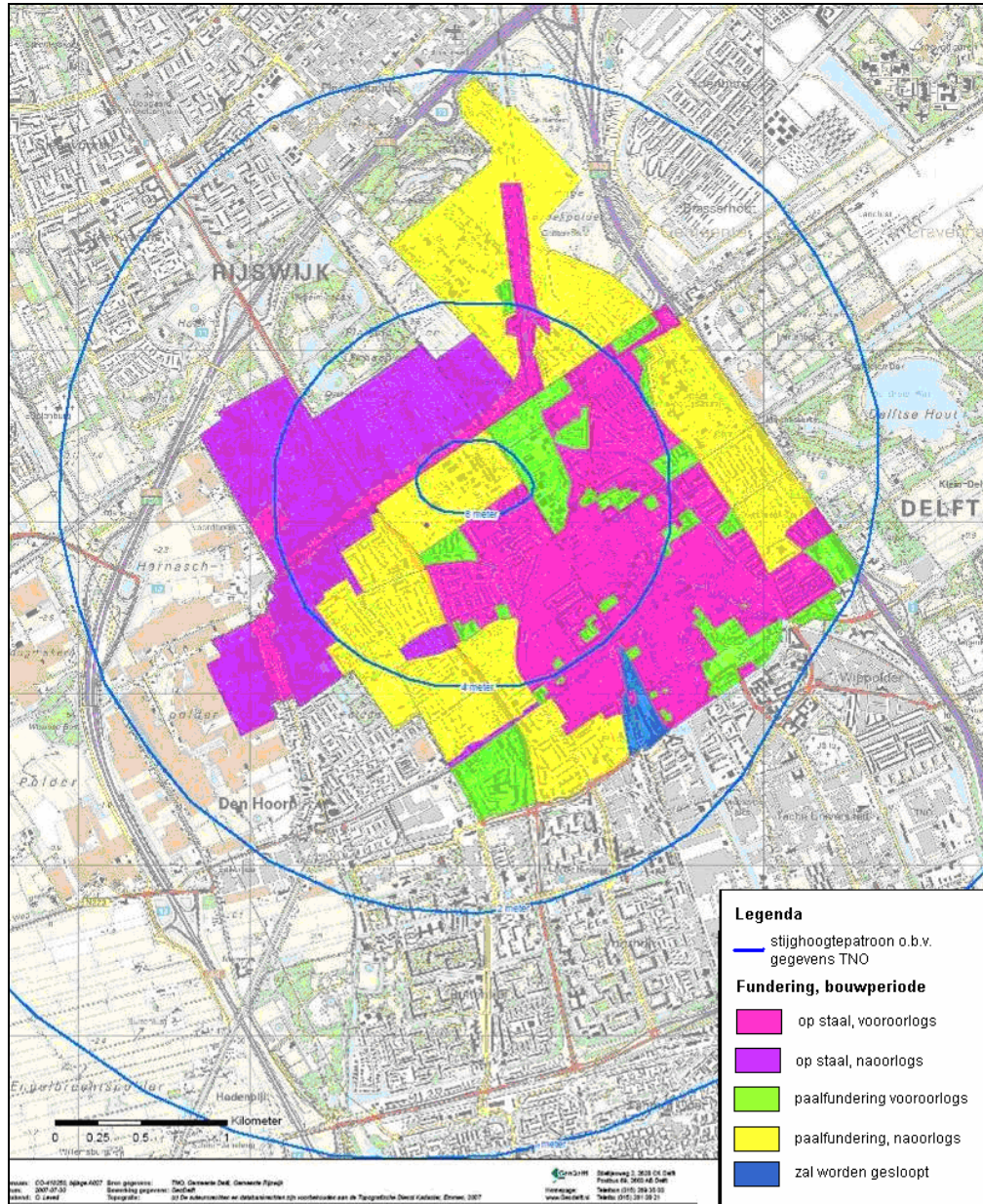
#### *Inventarisatie funderingen*

Allereerst is een inventarisatie van funderingstypen uitgevoerd. Dit is gedaan door inspecteurs van de gemeentelijke Bouwtoezicht en Monumentenzorg van Delft te bevragen op hun ervaringen in het gebied. Dit heeft geleid tot een globale kaart met gebieden waarin overwegend staal- en paalfunderingen voorkomen en de globale ouderdom van de panden.

Uit de inventarisatie van ouderdom van wijken is afgeleid van welk type fundering mogelijk in een gebied sprake zou kunnen zijn. Op basis van een GIS-berekening met een pandenkaart van de Gemeente Delft is geschat hoeveel panden per wijk mogelijk worden beïnvloed. Er wordt verwacht dat in wijken waar geen overschrijding van 0,04 m rijzing optreedt de zettingsschade nihil zal zijn.

Uit de inventarisatie volgt dat het aandeel panden met een paalfundering in de beschouwde wijken van de Gemeente Delft veel kleiner is dan in de Quickscan is aangenomen, namelijk slechts 20% van het totale aantal panden. Bovendien, als het om de kwetsbare houten paalfunderingen gaat is deze verhouding nog kleiner, waarschijnlijk in de orde van 5%. In de Quickscan is reeds aangegeven dat de mate van schade die kan ontstaan bij panden met een paalfundering voornamelijk in de categorie zeer licht valt. Het aandeel van deze panden in de totale schade is dus klein.

De rijzings- en zakkingschade kan door het verzamelen van veel veldgegevens van de panden in het invloedsgebied in principe nog genuanceerder worden geprognosticeerd met betrekking tot de huidige bouwkundige staat van die panden. Vanwege de omvang van de daarmee gemoeide inspanning is dit aspect nu niet verder uitgewerkt. De schatting die in het voorliggende onderzoek kan worden gedaan met betrekking tot schade aan panden hangt daarom in het bijzonder samen met het ondergrondmodel en de betrouwbaarheid daarvan.



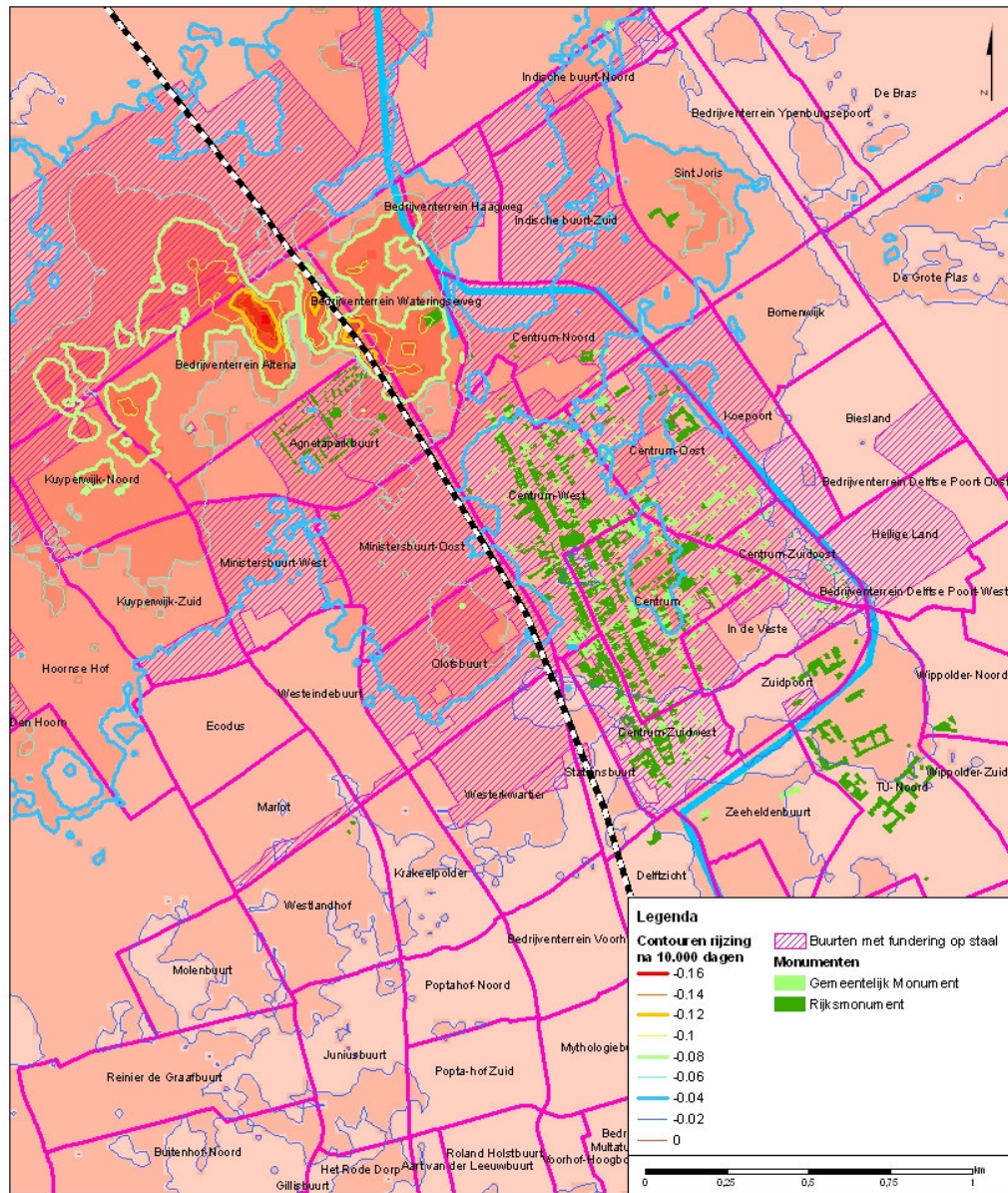
Figuur 6.1: Belangrijkste type fundering en bouwperiode

*Uitwerking schadeprognose panden met staalfundering*

Er wordt verwacht dat de optredende bodemrijzing tot schade kan leiden aan panden met een staalfundering omdat de rijzing vrij snel optreedt, voor het grootste deel in ongeveer 1 à 2 jaar tijd na stopzetting van de winning.

De mate van schade is afhankelijk van de omvang van de rijzing en het type panden binnen de rijzingscontouren. Dit is uitgewerkt en aangegeven in de volgende figuur.





Figuur 6.2: Rijzing [in m], buurten en voorkomen panden met staalfundering en monumenten

Per buurt is vervolgens bepaald hoeveel panden binnen een zekere klasse van grootte van de rijzing vallen. Dit is in de volgende tabel aangegeven.

Tabel 6.1: Inventarisatie aantal panden met overwegend staalfundering, verdeeld naar mate van zetting, DSM-terrein en Rijswijk niet meegenomen

	Geschat aantal panden in rijzingsklassen [m]				
	0 - 0,02	0,02 - 0,04	0,04 - 0,06	0,06 - 0,08	0,08 - 0,10
Totaal aantal per klasse	2.250	6.500	3.250	450	10
Beïnvloed door winning	430	4.630	3.180	435	10
Percentage	20 %	70 %	97 %	97 %	100 %

Op basis van de berekening van de absolute grootte van de rijzing per pand kan een schatting worden gemaakt van de verschilvorming per pand in het invloedsgebied. Er is uitgegaan van een mogelijke verschilvorming die een derde tot de helft is van de met het zettingsmodel berekende absolute rijzing. Om de hoekverdraaiing te berekenen kan worden uitgegaan van een karakteristieke maat (gemiddelde diepte vanaf de voorgevel of gevelhoogte van de meeste panden) van 10 m. Deze maat kan nog worden afgezet tegen de eerdere opmerking over karakteristieke afstanden van 10 tot 20 m met betrekking tot in het gebied voorkomende geologische heterogeniteit.

De hoekverdraaiing wordt gerelateerd aan een schadebeeld zoals voorgesteld in de literatuur. Voor de indeling van schadelasten kan de indeling volgens de internationaal geaccepteerde tabel van Boscardin worden aangehouden. Voor herstelwerk zijn voor een gemiddelde woning herstelkosten geschat per klasse zoals aangegeven in Tabel 6.2.

Tabel 6.2: Indeling in schadeklassen voor schade aan belendingen [Boscardin]. De schadeklassen 1 en 2 worden aangemerkt als architectonische schade, schadeklassen 3 t/m 5 als constructieve schade. Herstellkosten volgens indicatieve schatting

Schadeklassen / beschrijving	Relatieve hoekverdraaiing $\beta$ , (x 10 <sup>-3</sup> )	Raming herstellkosten (€)
<b>Klasse 0 - verwaarloosbare schade</b>		Nihil
<b>Klasse 1 - zeer lichte schade</b> Scheuren maximaal 0,1 mm	0 - 1,67 (0 tot 1:600)	1.000
<b>Klasse 2 - lichte schade</b> Scheuren maximaal 5 mm Lichte vervorming van kozijnen	1,67 – 3,33 (1:600 tot 1:300)	5.000
<b>Klasse 3 - matige schade</b> Scheuren maximaal 15 mm Matige vervorming van kozijnen Lekkage Gescheurde dienstleidingen	3,33 – 6,67 (1:300 tot 1:150)	15.000
<b>Klasse 4 - ernstige schade</b> Scheuren maximaal 25 mm Sterke vervorming van kozijnen Merkbaar hellende vloeren (> 1:100) Scheefstand van muren(>1:100) Bolling van muren Enkele balken verliezen opleglenkte Gebroken dienstleidingen	6,67 – 10 (1:150 – 1:100)	75.000
<b>Klasse 5 - zeer ernstige schade</b> Scheuren minimaal 25 mm Balken verliezen opleglenkte Muren moeten worden gestut Gebroken ramen Gevaar voor instabiliteit / instorting	> 10 ( 1:100 en meer)	250.000

Gegeven de range van uitkomsten voor de rijzing in het gebied kan in het invloedsgebied de omvang van de schade worden bepaald zoals vermeld in de volgende tabel.

Tabel 6.3: Mogelijk voorkomende schade aan panden na stoppen winning, uitgaande van verschilfactor 0,5 in zakking en karakteristieke lengte van 10 m

Absolute rijzing [m]	Zakkings- verschil [m] factor = 0,5	Karakteristieke Lengte [m]	Hoekverdraaiing 1:x	Schade (conform Boscardin)
0,02	0,01	10	1000	nihil
0,04	0,02	10	500	zeer licht
0,06	0,03	10	333	licht
0,08	0,04	10	250	matig
0,10	0,05	10	200	matig
0,12	0,06	10	167	matig
0,14	0,07	10	143	ernstig
0,16	0,08	10	125	ernstig

Vervolgens zijn afhankelijk van de ernst van schade herstelkosten geschat. Dit is dezelfde methodiek die bij de Quickscan is toegepast in 2005.

Daarbij kan echter nog worden gevarieerd met de omvang van het verwachte zakkingsverschil (0,33 à 0,50) en met de karakteristieke lengte (10 à 20 m).

Als deze variabelen in de berekeningen worden ingevoerd ontstaat een beeld van de mogelijke spreiding van de schade bij de huidige stand van de informatie omtrent bodembeweging en bouwwijze en kwetsbaarheid van de panden.

Tabel 6.4: Mogelijke spreiding qua schade aan panden in Delft met staalfundering na sluiting winning

Schade-inventarisatie Staalfunderingen [EUR]		Factor zakkingsverschil [-]	
		0,33	0,50
Karakteristieke lengte	10 m	5.662.000	29.688.000
	20 m	462.000	5.562.000

Zoals men kan zien is de spreiding in de uitkomsten van de berekening zeer groot en is vooral de uitloop naar het maximum aanzienlijk. In het resultaat is dus een zeer grote onzekerheid aanwezig. Die onzekerheid zit vooral in de zich werkelijk realiserende mate van rijzing, de heterogeniteit van de bodem, de kwetsbaarheid van de panden en de rekenregels. Er kan wel worden gesteld dat schade met name zal optreden in lange aaneengesloten bouwblokken of bij hoekpanden waar de funderingsdruk meer varieert. Ook waar aanbouwen aanwezig zijn of waar in het verleden schade is voorgekomen, is de kans op schade groter. In de schadeprognose kan ook nog een kansdeel worden meegenomen. Een dergelijke benadering vraagt echter om een gedetailleerder onderzoek.

Het is aan te bevelen om naar het belang van deze onderwerpen nadere studie te verrichten. Vooralsnog zal een verwachtingswaarde van de schade aan panden op staalfunderingen worden aangehouden van EUR 5.562.000.

Voor panden in wijken van Rijswijk (Sion, 't Haantje, Delftweg etc.) waren op het moment van deze rapportage geen gegevens beschikbaar. Er is een zeer globale schatting gemaakt van het aantal panden en de mogelijke omvang van schade. Daarnaast is een reservering gedaan voor herstel van schade aan belangrijke Rijksmonumenten in Delft. Binnen het beschouwde gebied zijn dit 57 locaties. Een aantal daarvan ligt in de Agnethaparkbuurt en is dus kwetsbaar vanwege de afstand tot

DSM. Dit zijn echter kleine panden. Daarnaast zijn er enkele grote monumenten van nationale importantie. Deze liggen echter niet in gebieden waar veel rijzing wordt verwacht. Toch is voor deze panden vanwege de onzekerheid een herstelbudget opgenomen.

Tabel 6.5: Prognose van schade aan belendingen door volledig stopzetten van onttrekking

Wijk of buurt	Ernst schade	Herstelkosten [euro/pand]	Total [euro]
Paalfunderingen Delft	Zeer licht	1000	763.000
Staalvunderingen Delft	divers	divers	5.562.000
Panden Rijswijk	divers	divers	1.000.000
Nieuwe Kerk	onzeker		250.000
Oude Kerk	onzeker		250.000
Prinsenhof	onzeker		250.000
Hoogheemraadschapshuis	onzeker		250.000
Stadhuis	onzeker		250.000
overige monumenten	PM	PM	550.000
Bedr DSM/Calve	ernstig	PM	niet begroot
Kelders/garages	nader onderzoek		40000
Kelders/garages	constructieve maatregelen	PM	Niet begroot
<b>Totaal</b>			<b>9.165.000</b>

- De in de Tabel 6.5 vermelde kosten zijn een schatting van de kosten voor herstel van schade aan panden indien de winning stopt. Het vermelde herstelbedrag moet worden gezien als een reservering voor mogelijke kosten bij schademelding door particulieren.
- De kosten van herstel van monumenten zijn hoog geschat. Daarbij is rekening gehouden met de aanbeveling om ter plaatse van dergelijke belangrijke monumenten een iets uitgebreidere monitoring ter bewaking van vervorming in te richten.
- Kosten aan bedrijfspanden op het DSM terrein zijn niet meegenomen.
- Ook de kosten in verband met mogelijk opdrijven van **kelderconstructies** zijn nog niet begroot. Er wordt aanbevolen dat aspect apart te onderzoeken. Kosten voor een dergelijk onderzoek (bestaande uit het lichten en beoordelen van constructiegegevens uit het archief van Bouwtoezicht van de Gemeente) zijn voorlopig in de orde van grootte van EUR 40.000 geraamd. Afhankelijk van de uitkomsten dient te worden vastgesteld of constructieve maatregelen noodzakelijk zijn.

Onderstaande tabel geeft het overzicht van de geraamde kosten waarbij de onzekerheid uit Tabel 6.4 is gecombineerd met de gegevens uit Tabel 6.5.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Schade aan bebouwing min.	0	1.100.000 + PM	1.700.000 + PM	4.000.000 + PM
Schade aan bebouwing gem.	0	2.600.000 + PM	3.900.000 + PM	9.200.000 + PM
Schade aan bebouwing max.	0	9.500.000 + PM	14.200.000 + PM	33.200.000 + PM

#### 6.2.4 Grondwateronderlast

Het reduceren of sluiten van de grondwaterwinning kan een positief effect hebben op nu droogstaande houten funderingen. Naar verwachting komt dit in het onderzoeksgebied niet tot zeer beperkt voor. Tegelijkertijd kan een stopzetting van de winning ook een bijdrage leveren aan het voorkomen van mogelijke problemen van grondwateronderlast bij de aanleg van de spoortunnel. Deze effecten zijn in deze vervolgstudie niet nader bepaald. De PM-post uit de Quicksan blijft dan ook gehandhaafd.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Grondwateronderlastproblemen	0	PM	PM	PM

#### 6.2.5 Aanpassingen monitoring van bodemverontreinigingen en saneringen

In paragraaf 5.6 is uiteengezet op welke manier verontreinigingen en saneringen beïnvloed kunnen worden door reductie van de winning. Daaruit bleek al dat er geen effecten worden verwacht in Rijnmond omdat er geen verschuiven van de waterscheiding optreedt. Daarom wordt dit risico in dit onderzoek niet meer meegenomen.

Naar verwachting zullen ook de nabij geleven verontreinigingen waarvoor een eigen sanering is ingericht weinig effect ondervinden van reductie van de winning. Het tijdsaspect is daarvoor een belangrijke reden. Saneringen hebben over het algemeen een looptijd van 5 tot 10 jaar. Bij nieuwe saneringen wordt rekening gehouden met mogelijk sluiting van de winning. Voor bestaande saneringen geldt dat het maximale effect van de winning naar verwachting niet meer tijdens de looptijd merkbaar zal zijn. De situatie lijkt momenteel zo dat als de winning al volledig wordt gesloten dat niet op korte termijn zal gebeuren. Daarbij heeft het tijd nodig voordat het effect van reductie doorwerkt over een afstand van meerdere kilometers.

Voor de verontreinigingen in de regio Delft die worden beheerst door de winning wordt dezelfde kostenschattting aangehouden als in de Quicksan. Daarbij is nog onduidelijk of verontreinigingen zullen afbreken zodat monitoring volstaat of dat een *pump and treat* sanering moet worden ingericht. Er wordt vanuit gegaan dat bij reductie tot 1000 of 800 m<sup>3</sup>/uur verontreinigingen nog steeds worden ingevangen door de winning. Sanering is pas nodig bij het scenario waarbij de winning sluit. Andere uitgangspunten zijn:

- er zijn 10-20 gevallen en 20-50 potentiële gevallen (bij het gereedkomen van de rapportage waren de exacte gegevens m.b.t. de situatie in Delft nog niet bekend);
- Kosten voor onderzoek en monitoring in het geval alle 20 verontreinigingen biologisch afbreekbaar zijn eenmalig EUR 125.000;
- Jaarlijkse kosten voor sanering zijn EUR 25.000 per geval (EUR 500.000 per jaar).

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Saneringskosten indien biologisch afbreekbaar (EUR)	0	0	0	125.000 eenmalig
Saneringskosten indien niet biologisch afbreekbaar (EUR)	0	0	0	500.000 jaarlijks

#### 6.2.6 Toename waterbezwaar gemalen

Door het reduceren van de grondwaterwinning zal de hoeveelheid kwel die in de sloten terecht komt, toenemen. Deze kweltoename zal door de gemalen uitgemalen moeten

worden. Uit de berekeningen van het grondwatermodel blijkt de toename van de toestroming van grondwater naar het oppervlaktewater.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Waterbezwaar gemalen (m <sup>3</sup> /jaar)	0	2.600.000	4.000.000	9.400.000

Het waterbezwaar wordt eerst door de poldergemalen en vervolgens door de boezemgemalen uitgeslagen op de Noordzee of de Nieuwe Waterweg. Uit informatie van het HH van Delfland blijkt dat de onderhouds- en energiekosten van de gemalen € 0,009/m<sup>3</sup> voor de poldergemalen en EUR 0,003/m<sup>3</sup> voor de boezemgemalen zijn. In onderstaande tabel zijn de jaarlijkse kosten voor het extra waterbezwaar opgenomen.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Energie- en onderhoudskosten (EUR/jaar)	0	31.500	48.300	112.700

#### 6.2.7 *Rioolvreemd water*

In het grondwatermodel is een post "toestroming grondwater naar stedelijke ontwatering" opgenomen. Aangezien deze toestroom meer is dan alleen afvoer naar de riolering, wordt een vergelijking gemaakt tussen de berekening van de huidige situatie en die van de toekomstige alternatieven. Hieruit blijkt een toename van de toestroming volgens onderstaande tabel. Hierbij wordt aangenomen dat de verhouding tussen de afvoer richting riool en andere afvoermogelijkheden (drainage e.d.) gelijk blijft. In de huidige situatie is volgens de DWAAS-studie [Droog Weer Afvoer Analyse Systematiek, Stowa (2005)] van het Hoogheemraadschap de toestroming van grondwater naar de rioolzuiveringsinstallatie via het riool in de gemeente Delft ongeveer 1,2 miljoen m<sup>3</sup>/jaar (12% van de aanvoer). In de onderstaande tabel staat dan ook tevens de absolute toename van het rioolvreemd water.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Relatieve toename toestroming naar riolering (%)	0	+88%	+128%	+263%
Toename toestroming naar riolering (m <sup>3</sup> /jaar)	0	1.100.000	1.500.000	3.200.000

Uit de Optimalisatie Afvalwater Studie (OAS) De Groote Lucht van het Hoogheemraadschap [getekend op 23 april 2008] blijkt dat er op de beheerskosten (energie- en heffingskosten) EUR 0,018 bespaard kan worden per voorkomen m<sup>3</sup> rioolvreemd water. In deze studie is aangenomen dat hetzelfde geldt voor de Delftse situatie. De jaarlijkse kosten als gevolg van een toename van de toestroming van grondwater naar de riolering staat in de onderstaande tabel.

	Huidige situatie	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Extra beheerskosten door meer rioolvreemd water (EUR/jaar)	0	19.000	27.600	56.800

#### 6.2.8 *Geotechnische effecten bij de spoortunnel Rijswijk*

Op basis van het grondwatermodel is de verwachting dat het kwelbezwaar zal toenemen tot 150% van de huidige hoeveelheid omdat het stijghoogteverschil over de tunnelbodem 1,5 keer groter wordt.

Bij de bouw van de spoortunnel is zeer waarschijnlijk rekening gehouden met de mogelijkheid dat de winning zou kunnen wegvallen, zowel voor wat betreft de constructie als de afvoer van overtollig (grond)water. Dat vermoeden wordt bevestigd door medewerkers van de gemeente Rijswijk. De verwachting is dus dat bij het ontwerp van de bemaling met deze kweltoename rekening is gehouden. Daarbij lijkt het ook redelijk om te veronderstellen dat neerslag op de tunneltoeritten door hetzelfde systeem wordt afgevoerd. In dat geval is het systeem waarschijnlijk voldoende groot gedimensioneerd. Immers, de ontwerpneerslagintensiteit is vele malen groter dan de hoeveelheid kwel.

	Huidige situatie	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Kosten aanpassingen spoortunnel Rijswijk	0	Nihil	Nihil	Nihil

#### 6.2.9 *Geotechnische effecten op leidingen*

Als gevolg van differentiële zettingen, met andere woorden onregelmatige zettingen, kunnen er krachten op leidingen uitgeoefend worden, die mogelijk te groot zijn voor de leidingen. Hierdoor kunnen deze breken. Onregelmatige zettingen komen met name voor in situaties waar een aansluiting is op een constructie die op een ander niveau is gefundeerd. Dit effect is moeilijk op dit schaalniveau te voorspellen. Dit aspect zal nader moeten worden onderzocht, zeker betreffende grote transportleidingen (gas, water en riool) Daarom wordt deze post in de kosten- en batenanalyse opgenomen als PM-post.

	Huidige situatie	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Kosten als gevolg van breuken in leidingen	0	PM	PM	PM

#### 6.2.10 *Geotechnische effecten bij parkeergarages en tunnels*

In dit vervolgonderzoek is hier geen nader onderzoek naar gedaan. Daarom handhaven we de PM-post uit de Quicksan. Voor aquaduct De Gaag en de verdiepte A4 is in de Quicksan de aanname gedaan dat hier geen effecten te verwachten zijn.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Schade aan parkeergarages en diepe constructies	0	PM	PM	PM

#### 6.2.11 *Geotechnische effecten bij wegen*

Door hogere grondwaterstanden zouden de wegen vaker kunnen opvriezen wat tot schade kan leiden aan de wegen. In de Quicksan is al gesteld dat dit effect nihil zal zijn, en is daarom uiteraard niet verder onderzocht.

	Huidige situatie	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Schade aan wegen door opvriezen	0	Nihil	Nihil	Nihil

#### 6.2.12 *Waterkeringen*

In overleg met team waterkeringen van Delfland is besloten tot de onderstaande wijze van kostenberekening



Er wordt onderscheid gemaakt tussen kades die nu als veilig aangemerkt zijn en kades waarvan bekend is dat zij nu al versterking behoeven. In de RRD-inventarisatie [Rationele Risicobenadering Dijken] van het Hoogheemraadschap is een beoordeling gemaakt van de kades in “evident veilig” en “slecht”. Hieruit blijkt dat van de 420 km genormeerde kades in het totale gebied 65 km kades als “slecht” beoordeeld is en de overige 355 km als “evident veilig”.

Aangezien het effect van een stijghoogtetoeename op de stabiliteit van de kade niet precies te voorspellen is, wordt voor deze kostenpost een bandbreedte aangehouden. De belangrijkste input voor deze bandbreedte is een variatie in kritische stijghoogtetoeename. We rekenen hier met 0,25 m, 0,50 m en 1 m stijghoogtetoeename als drempels waarboven we effecten kunnen verwachten. In de onderstaande tabel staat aangegeven hoeveel km kades binnen deze invloedszone vallen.

Voor de kades die als “evident veilig” zijn aangemerkt hebben we aangenomen dat bij 20% van deze kades binnen de genoemde stijghoogteverandering-drempel versterkingen nodig zullen zijn. De eenheidsprijs voor kadeverbetering van het Hoogheemraadschap is EUR 1 miljoen/km kade, dus effectief EUR 0,2 miljoen/km.

Voor de kades die als “slecht” zijn aangemerkt wordt aangenomen dat zij extra verbeteringen behoeven door de stijghoogtetoeename, ondanks het gegeven dat zij (op termijn) toch al verbeterd zouden moeten worden. Deze extra kosten worden geschat op 20% van de eenheidsprijs. Dus voor deze kades wordt gerekend met EUR 0,2 miljoen/km kade. In de onderstaande tabel staan de kosten voor de drie alternatieven en bij verschillende drempelwaardes vermeld.

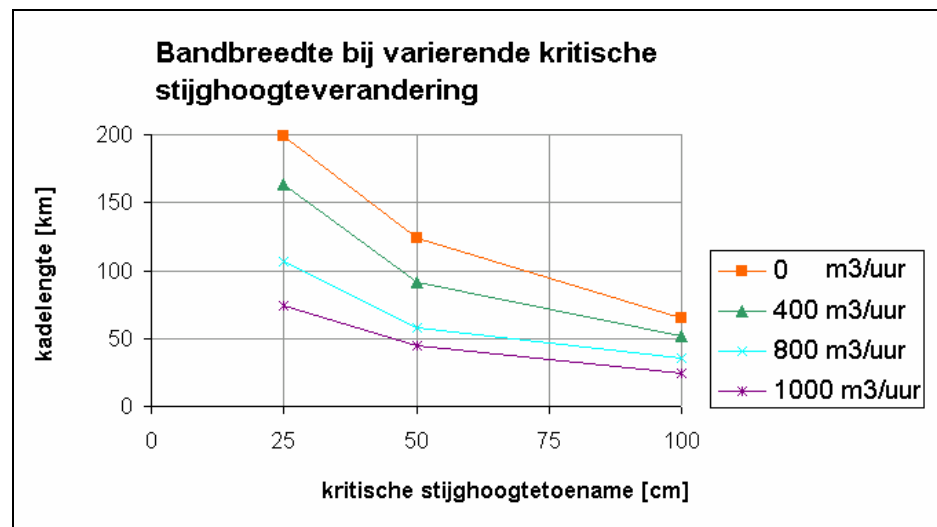
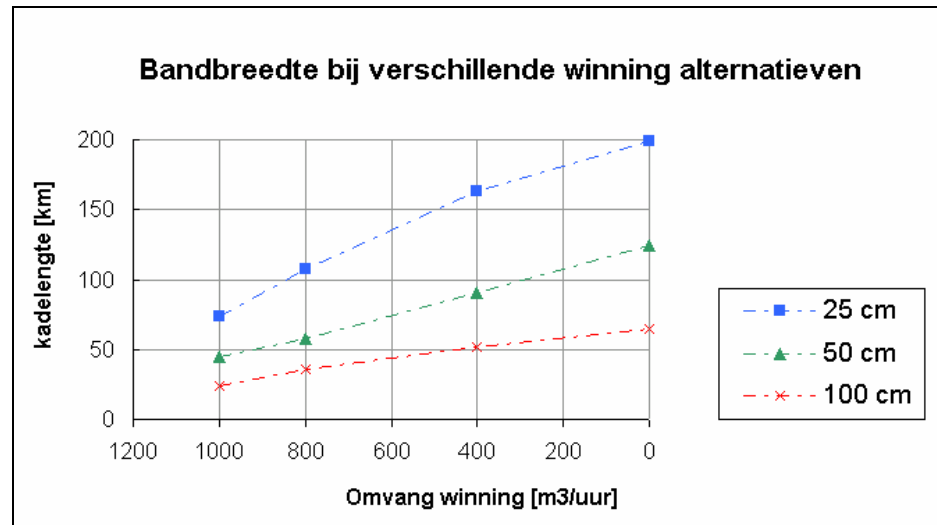
Dit betekent dus dat het aantal kilometer kades binnen de cirkel met een bepaalde stijghoogtetoeename-drempel vermenigvuldigd kan worden met EUR 0,2 miljoen. Het onderscheid “evident veilig” en “slecht” is hierdoor niet meer noodzakelijk voor de kostenberekening. In onderstaande tabellen staan het aantal kilometers kade en de kosten voor versterking binnen de drie gestelde drempelwaardes voor de stijghoogte.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Kilometers kades binnen een stijghoogteverandering 0,25 m	0	74	107	199
Kilometers kades binnen een stijghoogteverandering 0,5 m	0	45	58	124
Kilometers kades binnen een stijghoogteverandering 1,0 m	0	24	36	65

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Kosten kadeversterking (EUR) bij drempelwaarde 0,25 m	0	15.000.000	21.000.000	40.000.000
Kosten kadeversterking (EUR) bij drempelwaarde 0,5 m	0	9.000.000	12.000.000	25.000.000
Kosten kadeversterking (EUR) bij drempelwaarde 1,0 m	0	5.000.000	7.000.000	13.000.000

Uit de bovenstaande tabel is af te leiden dat binnen een alternatief de omvang bij een drempelwaarde voor stijghoogteverandering 0,25 meter 3 keer zo groot is dan bij een drempelwaarde van 1 meter. Gegeven een bepaalde drempelwaarde voor de

stijghoogteverandering is het aantal kilometer kades dat aangepakt moet worden 2,7 keer zo hoog als de winning uitgezet wordt dan bij de situatie waarin er nog 1000 m<sup>3</sup>/uur gepompt wordt. Uit onderstaande grafieken (waarin ook het alternatief waarin 400 m<sup>3</sup>/uur wordt gepompt, opgenomen is) blijkt dat het aantal kilometer kade dat aangepakt zou moeten worden, vrij lineair is aan het pompdebiet.



Figuur 6.3: Grafieken met aantal km risicovolle kades bij verschillende niveaus van de winning en verschil in gevoeligheid

6.2.13 *Beheerskosten natuurgebieden*

Door een hogere grondwaterstand zouden de beheerskosten toe kunnen nemen. In de Quickscan is al gesteld dat de extra kosten voor beheer zeer beperkt zullen zijn, mede omdat de freatische grondwaterstand in de natuurgebieden niet sterk zal stijgen.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Extra beheerskosten	0	Nihil	Nihil	Nihil

#### 6.2.14 *Eutrofiëring*

In de Quicksan is al voorgesteld om de het effect van een toename van nutriënten op de natuur op PM Marginaal te stellen. Uit de waterkwaliteitsberekeningen voor chloride blijkt dat de toestroom van diep grondwater richting het oppervlaktewater beperkter is dan in de Quicksan ingeschat werd. Aangezien het transport van nutriënten niet gelijk is aan die van chloride en dit niet nader onderzocht is, handhaven we de PM Marginaal.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Eutrofiëring in de natuur	0	PM Marginaal	PM Marginaal	PM Marginaal

#### 6.2.15 *Opbrengstderving landbouw door hogere grondwaterstanden*

Modelberekeningen geven aan dat de verandering van de grondwaterstand in landelijk gebied gering is (tot 5 cm) en slechts op een klein oppervlak, veel minder dan waar in de Quicksan van uit is gegaan. Wanneer ook het areaal glastuinbouw buiten beschouwing wordt gelaten zal de totale omvang van opbrengstderving nihil zijn.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Opbrengstderving landbouw (EUR/jaar)	0	Nihil	Nihil	Nihil

#### 6.2.16 *Doorspoeling tegen verzilting*

Uit de berekeningen van paragraaf 5.4 blijkt dat de verzilting beperkt is voor de komende 50 jaar. Daarom zijn de extra kosten voor doorspoeling als gevolg van het eventueel stopzetten van de winning op nihil gesteld.

In de Quicksan is de aannahme gedaan dat door de toename van verzilting de aanleg van regenwaterbassins voor beregening noodzakelijk kan worden. Nu blijkt dat de verzilting niet heel sterk toeneemt door reductie van de winning, is het ook niet noodzakelijk om deze aan te leggen ter compensatie van de verziltingseffecten.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Extra kosten doorspoeling	0	Nihil	Nihil	Nihil
Aanleg regenwaterbassins	0	Nihil	Nihil	Nihil

#### 6.2.17 *Verzilting drinkwaterputten*

Verspreid door Den Haag liggen 75 drinkwaterputten die in geval van calamiteit in werking kunnen worden gesteld. De putten zijn in beheer bij Duinwaterbedrijf Zuid Holland (DZH) en informatie over dit netwerk is confidencieel. De vraag is of ten gevolge van verandering in het stromingspatroon (een deel van) deze putten door verzilting onbruikbaar wordt. Er van uitgaande dat het aantal putten gelijk moet blijven zal dan elders een nieuwe put moeten worden geïnstalleerd. De kosten daarvoor worden geschat op 100 kEUR (inclusief monitoring en leiding-infrastructuur).

Het stoftransportmodel is ontwikkeld om inzicht te krijgen in de verandering van chlorideconcentraties in het watervoerend pakket. Echter, door het ontbreken van voldoende recente metingen is de onzekerheid in de huidige verdeling van chlorideconcentratie dermate groot dat het niet mogelijk is om de *absolute* uitkomsten van het model te gebruiken bij deze analyse. Net als bij de bepaling van de mogelijke verzilting van het oppervlaktewater is daarom slechts gekeken naar het berekende *concentratieverschil* in de situatie mét en zonder winning.

De berekende concentratie lijkt aan de hoge kant te liggen. Uit de absolute modeluitkomsten is namelijk af te leiden dat 60 % van de winputten op dit moment een concentratie zou hebben boven de norm (bij een concentratienorm van 250 mg/l).

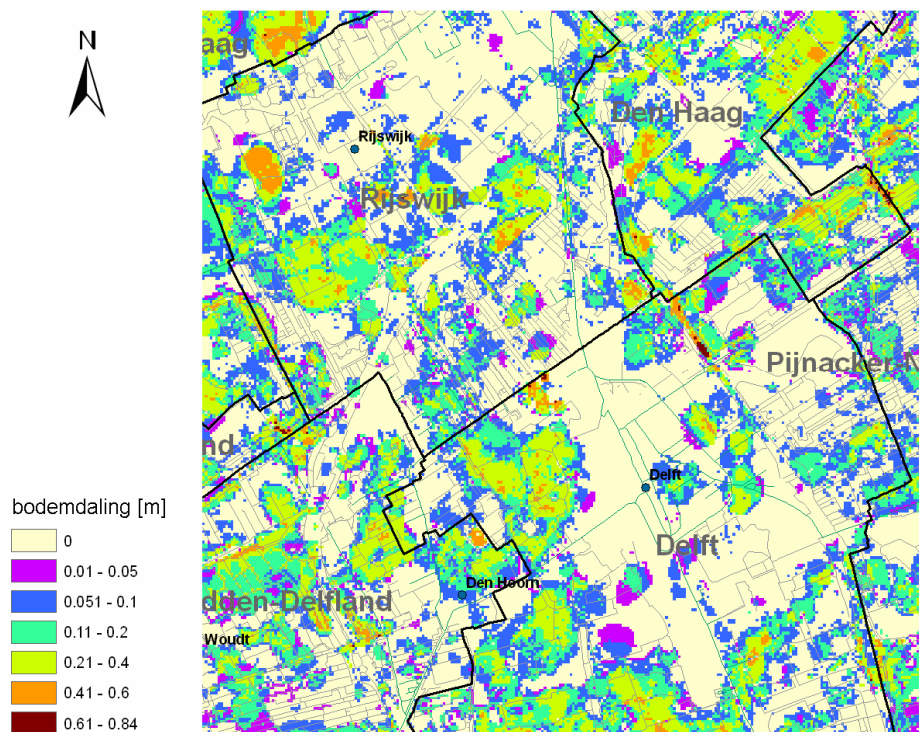
De concentratietoename is voor alle putlocaties vastgesteld. Voor ongeveer 5 putten geldt dat de berekende concentratie op dit moment groter is dan 200 mg/l en wanneer de winning sluit met meer dan 50% zal toenemen.

Wanneer de winning wordt gesloten worden de kosten geschat op EUR 500.000. De kosten voor de tussenliggende scenario's zijn geschat op basis van verhouding van onttrekkingsdebiet.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Verplaatsen drinkwaterputten door verzilting (EUR)	0	145.000	215.000	500.000

#### 6.2.18 Veenoxidatie

Dit is de enige post waar een baat verwacht wordt als de winning reduceert of stopt. In dit onderzoek is uitgerekend hoeveel de bodem zal dalen als gevolg van veenoxidatie. In onderstaand figuur staat de bodemdaling als gevolg van veenoxidatie na 10.000 dagen (ruim 30 jaar), als het pompdebiet onveranderd blijft. Dit zijn dus geen kaarten met jaarlijkse bodemdaling.



Figuur 6.4: Bodemdaling als gevolg van veenoxidatie na 30 jaar mét onttrekking

Uit de verschillen tussen de scenarioberekeningen met en zonder de winning is af te leiden hoeveel veen er *niet* zal oxideren door een hogere grondwaterstand. Zo leidt 1 mm veenoxidatie op 1 hectare tot het verlies van 10 m<sup>3</sup> bodem- en watermateriaal. Deze

hoeveelheden staan aangegeven in onderstaande tabel. Het gaat hierbij dus om de verschillen ten opzichte van de huidige situatie.

Uit het Alterra-rapport (Rienks 2004) in het kader van het onderzoek naar de veenweidegebieden in Fryslân, staat aangegeven dat er een eenvoudige rekenregel bestaat om de hoeveelheid CO<sub>2</sub>-uitstoot per mm bodemdaling als gevolg van veenoxidatie te bepalen. Hieruit blijkt dat per mm veenoxidatie per ha 2,25 ton CO<sub>2</sub> vrijkomt. Dit komt neer op 0,225 ton CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup>.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Reductie in veenoxidatie (m <sup>3</sup> )	0	66.023	83.543	145.197
CO <sub>2</sub> uitstoot (ton) na 27 jaar	0	14.855	18.797	32.669

De maatschappelijke waarde van de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot is niet rechtstreeks te bepalen. Zoals eerder in de Quickscan zal dat hier ook gedaan worden op basis van de marktwaarde voor de emissierechten van CO<sub>2</sub>. Uit het rapport van het MNP en CPB (Dril 2005) wordt de waarde van de emissierechten in de periode 2005 tot 2020 op gemiddeld EUR 11 per ton gesteld. Dit is EUR 2 per ton hoger dan in de Quickscan aangenomen. De huidige waarde voor een ton CO<sub>2</sub> is EUR 50 per ton. Overigens ligt de huidige prijs voor de emissie van 1 ton CO<sub>2</sub> rond € 23 [bron: www.pointcarbon.com].

Aangezien uit de eindbeelden (na 30 jaar) niet te bepalen is wanneer gedurende de komende jaren de bodemdaling precies plaatsvindt, wordt de bodemdaling richting het eindjaar lineair veronderstelt voor deze kosten- en batenanalyse. Het resultaat van de bewerking van de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot richting de baten per jaar, staat in onderstaande tabel.

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Baten reductie CO <sub>2</sub> -uitstoot (EUR/jaar) gedurende t <sub>1</sub> tot t <sub>27</sub>	0	6.000	7.700	13.300

#### 6.2.19 Verschillen t.o.v. de Quickscan

In de voorgaande paragrafen zijn alle (potentiële) effecten zoals in de Quickscan behandeld de revue gepasseerd. Op enkele punten levert dit onderzoek andere inzichten dan in de Quickscan naar voren zijn gekomen.

Uit modelanalyse blijkt dat het effect van reductie van de winning op de (oppervlakte)waterkwaliteit zeer gering is. Effecten die daaraan zijn gerelateerd komen daarom niet meer voor in de uiteindelijke lijst met kosten.

In de Quickscan is verondersteld dat het sluiten van de winning de saneringen in Rijnmond nadelig zou beïnvloeden. Uit analyse van de stromingsrichting van het grondwater is geconcludeerd dat dat niet het geval zal zijn zodat voor Rijnmond geen maatregelen nodig zijn.

Met betrekking tot het aspect grondwateroverlast is er voor gekozen om de kosten te bepalen voor de maatregel, namelijk de aanleg van drainage. Dit in tegenstelling tot de Quickscan waar de kosten zijn geschat voor de verschillende gebiedsfuncties. Het grondwatermodel laat zien in welke zone de freatische grondwaterstand naar verwachting gaat stijgen als de winning afneemt. Dit gebied is kleiner van omvang dan indertijd met het Iwaco model vastgesteld en waar de Quickscan vanuit is gegaan.

### 6.3 Kosten en baten van de alternatieven

#### 6.3.1 Overzicht kosten uit voorgaande paragraaf

In onderstaande tabel staat een overzicht met de in de vorige paragraaf genoemde kostenposten. Deze zijn hier uitgesplitst naar investeringskosten en jaarlijkse kosten. Daaronder staat nog een overzicht van de PM-posten en de posten die als nihil gesteld zijn. Voor alle alternatieven geldt dat er slechts één, in omvang beperkte, batenpost is geformuleerd (vermindering CO2 uitstoot door verminderde veenoxidatie), en de kosten- en batenbalans voor de drie gekozen alternatieven dus negatief is ten opzichte van de huidige situatie.

Tabel 6.6: Verzamelde investeringskosten en jaarlijkse kosten per winningalternatief

#### Investeringskosten

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Grondwateroverlast (t=5)	0	8.500.000	13.100.000	27.500.000
- herhalingsinvestering (t=35)	0	8.500.000	13.100.000	27.500.000
Geotechnische effecten bebouwing (t=5)	0	2.600.000 (1 - 10 miljoen)	3.900.000 (2 - 14 miljoen)	9.200.000 (4 - 33 miljoen)
Saneringen aanpassen of extra (t=5) (Afwijkend tov quickscan)	0	0	0	125.000*
Extra kosten verbetering waterkeringen (t=5)	0	5- 15 miljoen	7- 21 miljoen	13- 40 miljoen
Verplaatsen drinkwaterputten (t=5)	0	145.000	215.000	500.000

\* indien de verontreinigingen biologisch afbreekbaar blijken

#### Jaarlijkse kosten

	1400 m <sup>3</sup> /uur	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Grondwateroverlast	0	5.900	9.100	19.200
Extra saneringslocaties	0	0	0	500.000*
Extra waterbezwaar gemalen	0	31.500	48.300	112.700
Extra transport- en zuiveringskosten rioolvreemd water	0	19.000	27.600	56.800
Veenoxidatie (Baten)	0	EUR - 6.000	EUR - 7.700	EUR - 13.300

\* indien de verontreinigingen niet biologisch afbreekbaar blijken

#### PM-posten

- Grondwateronderlast bij bebouwing;
- Geotechnische effecten op leidingen;
- Geotechnische effecten op parkeergarages en tunnels;
- Geotechnische effecten op bedrijfspanen DSM/Calve;
- PM Marginaal: eutrofieringseffecten bij natuur.

#### Nihil posten

- Waardedaling woningen;
- Geotechnische effecten spoortunnel Rijswijk;
- Geotechnische effecten bij wegen;
- Extra beheerskosten natuurgebieden;
- Doorspoelen tegen verzilting voor de landbouw;
- Aanleg regenwaterbassins;
- Opbrengstderving landbouw door verhoogde grondwaterstanden.

### 6.3.2 *Netto contante waarde*

Voor het goed kunnen vergelijken van de alternatieven en de verhouding tussen investeringskosten en jaarlijkse kosten is het noodzakelijk om de Netto Contante Waarde van de kosten uit te rekenen. Hierbij wordt rekening gehouden met het gegeven dat investeringen en baten in de toekomst een andere (lagere) waarde vertegenwoordigen dan investeringen op dit moment.

Hier worden de berekende kosten en batenposten uiteen gezet in de tijd (tot 50 jaar). Door de verschillende kosten- en batenposten uit te zetten in de tijd en te verdisconteren (discontorente = 4%<sup>3</sup>), kan de netto contante waarde van projectalternatieven bepaald worden en conclusies getrokken worden over de aantrekkelijkheid van de alternatieven. De kosten en baten van de voorgestelde alternatieven zijn onzeker, omdat ze in de toekomst liggen. Via scenarioanalyses kan deze onzekerheid worden uitgewerkt. Als variabelen hierbinnen kunnen dan spelen klimaatsverandering, andere bepaling van historische waarden (bij monumenten) en andere economische ontwikkeling. Hieraan is echter geen aandacht besteed. Een andere bron van onzekerheid in de kosten-batenanalyse is de betrouwbaarheid over de hydrologische effecten, hoewel deze nu sterk verbeterd is ten opzichte van de Quicksan. Deze onzekerheden zijn niet nader in de discontovoet vertaald. Hiervoor is nader onderzoek echter wel gewenst. Dit alles betekent dat over de absolute bedragen zeker geen uitspraken gedaan kunnen worden. In principe, bij de aanname dat de onzekerheden overal in gelijke mate invloed hebben bij de verschillende alternatieven, kan wel over een ordening van de alternatieven gesproken worden naar kosten-batensaldo.

### 6.3.3 *Fasering van maatregelen*

De fasering van maatregelen bepaalt deels ook de uitkomsten van de netto contante waarde van de alternatieven. Toch wordt niet expliciet gebruik gemaakt van een projectfasering. De reden hiervoor is dat in de MKBA onvermijdelijk een aantal onzekerheden zitten die deels als PM-post en deels als bandbreedte in de totale kosten tot uiting komen. De eveneens onvermijdelijke, maar niet expliciet gemaakte onzekerheden in de faseringen leiden tot een 'vervuiling' van de MKBA-resultaten met een schijnzekerheid die betrekking heeft op de fasering. Het rekenen met expliciete faseringen is in de methodiek van MKBA overigens niet gebruikelijk en wordt als onzuiver beschouwd, indien er aan de fasering niet echt inhoudelijke afhankelijkheden aan ten grondslag liggen.

Voorbeelden van het laatste zijn effecten waarvan mag worden aangenomen dat deze zich pas na enkele jaren of een veelvoud daarvan zullen openbaren. In dit geval zijn dat geotechnische effecten en effecten met betrekking tot verzilting en eutrofiëring. Maatregelen die betrekking hebben op deze categorieën worden in de MKBA verondersteld genomen te worden op een tijdstip 5 jaren na sluiting van de winning "t<sub>5</sub>". Wat betreft het tijdstip van de overige effecten wordt uitgegaan van "t<sub>0</sub>", het moment waarop de winning sluit. Doordat de facto maatregelen opschuiven in de tijd zullen de werkelijke kosten en baten lager zijn dan in de MKBA. Dit is echter een kwestie van optimalisatie bij het uitwerken van het uiteindelijk gekozen alternatief.

<sup>3</sup> De hoogte van de discontovoet is belangrijk voor de hoogte van de resultaten. Een hogere discontovoet betekent dat er meer belang gehecht wordt aan de kosten en baten op korte termijn. De 4% wordt toegepast bij infrastructuurprojecten. In de Quicksan is aangegeven dat nader onderzocht dient te worden of deze discontovoet van 4% ook voor dit type projecten toegepast mag worden. Bij infrastructuurprojecten wordt bovendien een risicotoeslag opgenomen van 3%. Er is voor gekozen dit percentage niet aan te passen, om de vergelijkbaarheid met de Quicksan zo veel mogelijk in tact te laten en alleen op basis van nieuwe kennis tot nieuwe cijfers te komen.

### 6.3.4 Vergelijking van de alternatieven

In Tabel 6.7 staan de netto contante waarden van de verschillende kostenposten en van de alternatieven samengevat.

Tabel 6.7: Netto contante waarden per post voor drie alternatieven

Kostenpost	1000 m <sup>3</sup> /uur	800 m <sup>3</sup> /uur	Stopzetting
Grondwateroverlast			
- aanleg drainage	6.930.668	10.681.382	22.422.749
- onderhoud drainage	101.876	157.130	331.528
- herhalingsinvestering	2.036.630	3.138.806	6.589.096
Schade bebouwing:			
- verwachtingswaarde	2.119.969	3.179.954	7.501.429
- <i>minimaal</i>	896.910	1.386.134	3.261.491
- <i>maximaal</i>	7.746.041	11.578.292	27.070.374
Saneringen			
- indien biologisch afbreekbaar	0	0	101.922
- indien niet biologisch afbreekbaar	0	0	8.633.529
Waterkeringen			
- Drempelwaarde 1,0 meter	4.076.863	5.707.609	10.599.845
- Drempelwaarde 0,25 meter	12.230.590	17.122.827	32.614.908
Verplaatsen drinkwaterputten	118.229	175.305	407.686
Waterbezwaar gemalen	657.806	1.008.636	2.353.485
Kosten toename rioolvreemd water	396.772	576.364	1.186.140
CO <sub>2</sub> -reductie (baten)	-96.765	-122.886	-213.121
<b>Netto contante waarde</b>			
<b>Minimum</b>	15.118.989	22.708.480	47.040.820
<b>Maximum</b>	30.121.847	44.315.857	101.396.374
<b>Gemiddelde</b>	20.418.912	30.209.909	66.554.094

De bandbreedte van de nu al bekende onzekerheid in de effecten- en kostenberekening bedraagt rond de 30%. Deze bandbreedte is op basis van de minimum en maximumvarianten voor de schade aan bebouwing, waterkeringen en de saneringen. Uiteraard spelen bij alle berekeningen onzekerheden mee in zowel de berekening van de effecten als bij de toekenning van classificaties en kengetallen voor de kostenberekening.

## 6.4 Slotconclusies

In Figuur 6.5 staan de kosten voor schadebeperkende maatregelen zoals die in paragraaf 6.3 zijn berekend, in het blauw weergegeven voor de vier alternatieven. Ter vergelijking zijn met de rode lijn de pompkosten weergegeven. Deze vergelijking tussen de alternatieven is gebaseerd op een perspectief van 50 jaar.

Deze pompkosten zijn bepaald op basis van het debiet op volcontinu vermogen en een kostprijs van 20,1 eurocent per m<sup>3</sup> voor de komende 50 jaar. Deze 20,1 cent per m<sup>3</sup> is gebaseerd op heffingen, energie- en onderhoudskosten. De afschrijvingskosten zitten hier niet in verwerkt. In het paars zijn de pompkosten + kosten voor schadebeperkende maatregelen opgeteld. De lichtblauwe en lichtpaarse lijnen geven de nu al gevonden bandbreedte in die kosten weer.

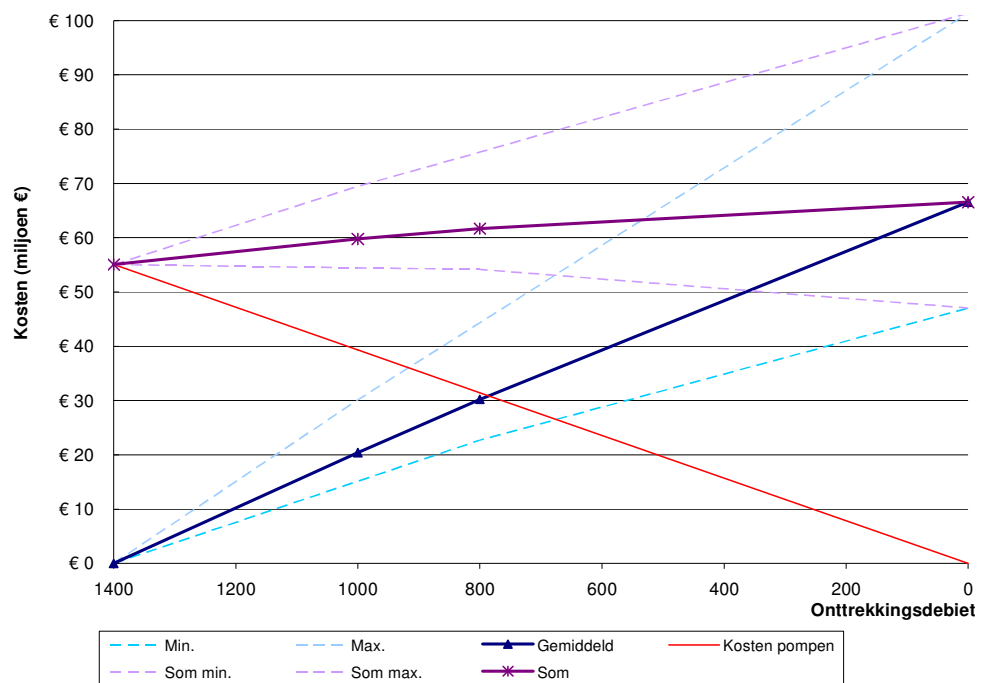


Geconcludeerd kan worden dat met een perspectief van 50 jaar de gemiddelde kosten voor schadebeperkende maatregelen nagenoeg lineair zijn. Deze kosten lopen net iets steiler op dan dat het voordeel bij de pompkosten afneemt. Daardoor lijkt het door blijven pompen op basis van deze cijfers voordeliger. Maar indien de kosten voor schadebeperkende maatregelen lager dan gemiddeld blijken te zijn, kan het stopzetten voordeliger blijken.

De MKBA doet verder geen uitspraken over de verdeling van de kosten en baten naar verschillende partijen. Met als sterkste voorbeeld dat de baten van CO<sub>2</sub>-reductie niet bij een specifieke partij terecht zullen komen.

Hiermee lijkt, financieel gezien, de afweging een keuze te worden tussen zekerheid van pompen versus de onzekerheid in de kosten voor schadebeperkende maatregelen. Maar op die conclusie valt nog een en ander af te dingen. Zo is het voorstelbaar dat na verloop van jaren een maatregel, zoals aanleg van drainage, al autonoom wordt genomen zodat de restinvestering minder groot is.

Dit uiteraard naast de discussies omtrent de verdeling van kosten en de duurzaamheid van doorpompen of reductie/stopzetting.



Figuur 6.5: Kosten voor de vier alternatieve onttrekkingsdebieten



## 7 Toekomstmogelijkheden winning

### 7.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken zijn de effecten bij een eventuele reductie van de winning en mogelijke maatregelen uitvoerig beschreven. Daarbij is steeds uitgegaan van een zogenaamde eindtoestand van de verschillende alternatieven. Een benadering vanuit de werkelijkheid is complexer. Zowel aan het optreden van effecten door reductie van de winning als de inzet van mitigerende maatregelen en het daadwerkelijk optreden van de effecten hiervan is een duidelijk tijdselement verbonden. Er blijven dus ten alle tijden onzekerheden.

Dit hoofdstuk heeft tot doel de bevindingen uit eerdere hoofdstukken te vertalen naar aanbevelingen over hoe een mogelijke reductie van de winning zou kunnen plaatsvinden. Het hoofdstuk geeft geen sluitend overzicht van de te nemen stappen maar geeft overwegingen die de besluitvorming kan ondersteunen. Hierbij gaat het om praktische vragen over de mogelijkheid om de winning te reduceren en de toekomst ervan. Kunnen we de winning reduceren en zo ja, hoever kunnen we dan terug? Wat is de omvang van de maatregelen die we moeten nemen als we reduceren? Welke tijdsaspecten zijn er aan verbonden, welke financiële consequenties komen in beeld waar liggen onzekerheden en wat is de rol van monitoring?

### 7.2 Belangrijkste conclusies

In het vervolg wordt in meer detail ingegaan op de toekomst van de winning.

Daarop vooruitlopend kunnen de volgende belangrijke conclusies worden getrokken:

- Reductie en eventueel sluiting van de winning veroorzaken stijghoogteverandering in het eerste watervoerende pakket. Niet alleen bij sluiting maar ook bij winningreductie werken de effecten door op de ondiepe grondwaterstand. Deze verhoging van de waterdruk heeft negatieve invloed op de stabiliteit van aanwezige kades en ook zal de bodembeweging (zwellen) die daar het gevolg van is leiden tot ongelijke zetting van fundering in een stedelijke zone rondom de winning;
- De verwachte effecten van winningreductie op de waterkwaliteit (chlorideconcentratie) vallen mee. De chlorideconcentratie in grond- en oppervlaktewater nemen niet zodanig toe dat maatregelen nodig zijn om een concentratie toename door middel van extra doorspoelencapaciteit te voorkomen;
- Voor de effectanalyse zijn een drietal winningsscenario's uitgewerkt namelijk 1000 m<sup>3</sup>/uur, 800 m<sup>3</sup>/uur en sluiting. Deze hoeveelheden zijn geanalyseerd ten opzichte van een debiet van 1400 m<sup>3</sup>/uur, de gemiddelde situatie van de afgelopen jaren;
- Reductie van de winning op korte termijn naar 1000 m<sup>3</sup>/uur levert nu nog risico's voor de veiligheid op maar onbekend is wat de omvang daarvan is. Dit is het gevolg van de onduidelijkheid over het effect van de reductie op de stabiliteit van kades in het gebied. Uit de uitgevoerde berekeningen blijkt de stijghoogteverandering snel door te werken in het systeem en dus is de verwachting dat negatieve effecten op kadestabiliteit snel kunnen toenemen. Delfland voert op dit moment nader onderzoek uit;
- Reductie en eventueel sluiting van de winning op langere termijn is mogelijk nadat maatregelen getroffen zijn.

Er zijn twee activiteiten die het tijdspad in sterke mate bepalen: naast herstel van

risicovolle kades is de aanleg van drainage noodzakelijk. De realisatie van beide maatregelen neemt veel tijd in beslag. Dit komt omdat het hier om een ingrijpende maatregel gaat die over het algemeen in combinatie met rioolvervanging wordt uitgevoerd. De aanleg van drainage kan afhankelijk van de omvang van het oppervlak tientallen jaren duren;

- Starten met monitoring is van groot belang.

Het uitgebrachte monitoringadvies voorziet in een speciaal op de winning gericht integraal monitoringnetwerk. Een deel daarvan moet worden aangelegd.

Monitoring is belangrijk zodat nadelige effecten tijdig kunnen worden gesignaleerd en maatregelen getroffen kunnen worden. Hoe langer een meetreeks is, hoe beter het effect van reductie zelf kan worden vastgesteld en daarmee worden voorspellingen van eventuele verdere reductie nauwkeuriger.

### 7.3 Alternatieven

In de Quicksan die voorafging is een drietal hoofdrichtingen geformuleerd voor het omgaan met de winning. Deze alternatieven worden hieronder nogmaals beschreven.

#### **Alternatief 1: voortzetting van de winning.**

Door de gezamenlijke overheden wordt onderzocht of het grondwater dat met de bestaande winning beschikbaar komt voor andere doelen aangewend kan worden. Bij het afronden van dit rapport was hierover nog geen uitslag bekend. Dit alternatief brengt geen verandering in de huidige situatie van bodem en grondwater en wordt in het huidige onderzoek als referentiesituatie gebruikt. Wel is het effect op de grondwaterstand berekend van de aanleg van de Spoorzone in Delft.

#### **Alternatief 2: reductie en reallocatie**

De reductie van de winning kan in stappen plaatsvinden. De effecten en maatregelen behorend bij twee reductiestappen zijn geanalyseerd waarbij gekeken is naar grondwateroverlast, grond- en oppervlaktewaterkwaliteit en bodembeweging. Reallocatie ging uit van de gedachte dat door de resterende winning te verdelen over andere locaties dan het DSM terrein de negatieve effecten op die plaatsen verminderd kunnen worden. Uit dit onderzoek blijkt dat reallocatie niet het gewenste effect heeft en leidt tot meerkosten die waarschijnlijk niet in verhouding staan tot de meerwaarde van gespreide winning.

#### **Alternatief 3: stopzetting van de winning.**

Dit alternatief geeft inzicht in de maximale effecten en bijkomende maatregelen die volledige sluiting van de winning met zich meebrengen. Dat eindbeeld maakt het mogelijk de effecten van een gereduceerde winning in perspectief te plaatsen. Op basis van het huidige inzicht is volledige reductie van de winning op korte termijn zeer onwaarschijnlijk gezien de veiligheidsrisico's.

In het vervolg zal een reductie van de winning centraal staan, omdat dit op dit moment de meest voor de hand liggende optie is. Dit onderzoek bevestigt het eerdere beeld uit de Quicksan dat stapsgewijze reductie de voorkeur heeft. Alternatief 3 zou daarom beginnen met een kleine reductie, bijvoorbeeld 50 m<sup>3</sup>/uur. Met behulp van de uitkomsten van de monitoring kunnen dan gedurende het traject besluitmomenten ingebouwd worden over vervolgstappen en hoe ver de reductie doorgevoerd wordt. Zoals uit hoofdstuk 6 blijkt, zijn de kosten in de omgeving vrij recht evenredig met de omvang van de reductie. De kosten in de omgeving lijken bij de eerste reductiestappen

relatief sneller op te lopen dan bij latere reductiestappen, maar van een echte drempel in de kosten lijkt geen sprake te zijn. Daarmee komen alternatief 2 en 3 op korte termijn samen als dezelfde oplossingsrichting.

#### 7.4 Fasering

Wanneer tot reductie van de winning wordt besloten zijn maatregelen nodig. Deze zullen gefaseerd plaatsvinden. Voor de totale fasering sluiten we aan bij de indeling zoals in de Quicksan opgesteld:

- Nulmeting en onderzoek;
- Trend- en effectmonitoring;
- Maatregelen voor en tijdens de periode van sluiting;
- Eventueel of later te nemen maatregelen;
- Aanpassingen beheer.

Het vervolg van deze paragraaf geeft een korte toelichting op elk van deze fasen. De daaropvolgende paragraaf gaat verder in op de activiteiten die in de verschillende fasen uitgevoerd (zouden) moeten worden. Een overzichtelijke samenvatting daarvan is weergegeven in Tabel 7.1. Dit overzicht komt oorspronkelijk uit de Quicksan en is aangepast op basis van de resultaten uit het onderzoek.

##### Nulmeting

De nulmeting dient om de huidige situatie vast te leggen. De nulmeting is belangrijk voor het vergelijken van de nieuwe situatie met de oude om veranderingen in het watersysteem of daaraan gerelateerde aspecten te kunnen zien. De nulmeting is in sommige gevallen een eenmalige meetronde maar veelal de start van het opbouwen van een meetreeks, zodat een gemiddeld beeld en seizoensafhankelijke parameters van de oude situatie kunnen worden bepaald. Om de seizoensafhankelijkheid te kunnen vaststellen zou deze periode minimaal 1 jaar moeten duren.

Geadviseerd wordt de nulmeting uit te voeren voor alle (nieuwe) meetpunten die genoemd zijn in het monitoringadvies dat eerder in verband met dit onderzoek is uitgebracht.

##### Onderzoek

Het huidige onderzoek heeft een antwoord opgeleverd op vragen over stijghoogteverandering, beïnvloedingsgebied, waterkwaliteit, zetting en geotechniek. Er zijn ook enkele vragen blijven staan:

- Met name het lopende onderzoek naar kadestabiliteit door het waterschap is van belang voor de (on)mogelijkheden van afbouw van de winning. Dat onderzoek gaat in op stabiliteitsbeoordeling, schade, onzekerheid in ontwerpmodellen en kadeversterkingen;
- Een belangrijke maatregel is de aanleg van drainage. Wanneer daadwerkelijk tot aanleg wordt overgegaan is extra aandacht nodig voor de optimale methode van aanleg, beheer en onderhoud van het drainagenetwerk.

Het onderzoek geeft antwoord op de vraag wat reductie tot gevolg heeft voor de bodembeweging. Op locatiegebonden vragen over de gevolgen op de stabiliteit van funderingen etc. van individuele panden kan geen uitsluitend worden gegeven. Monitoring is in dit kader van groot belang. De mogelijkheid dat kelderconstructies opdrijven is niet onderzocht. In een apart onderzoek (beoordelen van constructiegegevens) moet worden vastgesteld of maatregelen noodzakelijk zijn.

**Trend- en effectmonitoring**

Meteen vanaf de start van de gefaseerde reductie van de winning zullen de effecten gemonitord moeten blijven zodat de maatregelen goed afgestemd kunnen worden op de veranderingen in de situatie. Ook voor het beperken of voorkomen van schades is het van belang snel te weten hoe de situatie zich ontwikkelt. Dus naast het verkrijgen van een beeld van de veranderende situatie, heeft het inzichtelijk hebben van de trends meerwaarde.

Bovendien is het goed om te kijken of veranderingen conform de voorspellingen van het onderzoek zijn. Deze schat aan informatie geeft mogelijk aanleiding tot het verbeteren van de modellen zodat voorspellingen betrouwbaarder worden. Naast de verbetering van de modellen kan er aanleiding zijn om de monitoringsstrategie te wijzigen. Te denken valt aan het verdichten dan wel uitdunnen van meetlocaties of het wijzigen van de meetfrequentie. Daarmee is trend- en effectmonitoring geen korte, afgesloten fase maar zal in ieder geval duren totdat het de effecten van reductie en genomen maatregelen bekend zijn.

**Maatregelen voor en tijdens de periode van sluiting**

Dit zijn de maatregelen die in ieder geval genomen moeten worden en waarmee niet gewacht kan worden tot na de reductie of sluiting van de winning. Veelal omdat de effecten van reductie relatief snel tot stand komen zoals dat het geval is bij verhoging van de stijghoogte in het watervoerende pakket.

Aangezien de reductie of sluiting van de winning gefaseerd zal verlopen, hoeven de maatregelen niet volledig te zijn uitgevoerd voordat de eerste reductie plaatsvindt. Het is echter wel zo dat de maatregelen uitgevoerd moeten worden voordat in het maatregelgebied de ongewenste gevolgen van de reductie merkbaar zullen zijn. Met andere woorden de maatregelen moeten “voor de (gevolgen van de) reductie of sluiting uitlopen”.

**Eventueel of later te nemen maatregelen**

Deze maatregelen kenmerken zich doordat ze ten tijde van het optreden van het effect genomen kunnen of zullen worden. Voor een groot aantal maatregelen geldt dat zij niet preventief ingezet kunnen worden (herstellen schade) of dat het preventief inzetten hiervan weinig efficiënt is.

Ook kan het zijn dat sommige effecten pas op lange termijn verwacht worden en is er voor het nemen van preventieve maatregelen voorlopig voldoende tijd beschikbaar. Een deel van de gebieden met grondwateroverlast kan in een later stadium gedurende de afbouw van de winning nog van drainage voorzien worden, zonder dat zich hier echt onacceptabele grondwaterstanden voordoen.

**Aanpassingen beheer**

Als gevolg van het grote aantal maatregelen dat genomen kan of zal worden, zal het beheer van (water-)infrastructuur, saneringen etc. veranderen. De wijzigingen in beheer – aanpassing aan de nieuwe situatie – hebben in principe een blijvend karakter.

## 7.5 Tijds- en kostenaspecten

Wanneer wordt besloten tot reductie van de winning zijn de aanleg van drainage en het kadeverbeteringsprogramma maatgevend voor de tijdsduur en fasering van de winningsreductie.

De precieze omvang van het verbeteringsprogramma voor kaden inclusief het tijdsaspect is onderdeel van vervolgonderzoek waarvoor Delfland opdracht heeft gegeven.

Drainage is een van de maatregelen die bij voorkeur op de reductie vooruitloopt. Deze maatregel is kapitaalintensief en geeft veel overlast door het openbreken van de straten. Het vergt bovendien een langjarige planning omdat het de voorkeur verdient om bij bestaande plannings van werkzaamheden aan te haken (bijv. geplande rioolvervangings).

In de Quickscan is een inschatting gemaakt van de looptijd voor aanleg van drainage. Daarbij kunnen verschillende aspecten bepalend zijn voor de snelheid van aanleg. Te denken valt aan beschikbaarheid van ploegen die de uitvoering doen, het percentage van de stad dat tegelijk opgebroken kan worden en de bestaande planning van rioolherstel. De inschatting is dat uitvoering meerdere jaren tot 10 jaar kan duren. Bepalend is echter in hoeverre aansluiting gevonden kan worden bij de geplande rioolvervangings. Is dat niet het geval dan kan de realisatie pas vele jaren later plaatsvinden of duurder worden omdat van aansluiting op externe plannings wordt afgezien. Veelal wordt 50 jaar als afschrijftermijn van riolering gehanteerd.

In hoofdstuk 6 is een inschatting gemaakt van de kosten behorend bij de verschillende effecten. Geconcludeerd kan worden dat met een perspectief van 50 jaar de gemiddelde kosten voor schadebeperkende maatregelen nagenoeg lineair zijn. Deze kosten lopen net iets steiler op dan dat het voordeel bij de pompkosten afneemt. Daardoor lijkt het door blijven pompen op basis van deze cijfers voordeliger. Maar indien de kosten voor schadebeperkende maatregelen lager dan gemiddeld blijken te zijn, kan het stopzetten voordeliger blijken.

Hiermee lijkt, financieel gezien, de afweging een keuze te worden tussen zekerheid van pompen versus de onzekerheid in de kosten voor schadebeperkende maatregelen. Maar op die conclusie valt nog een en ander af te dingen. Zo is het voorstelbaar dat na verloop van jaren een maatregel, zoals aanleg van drainage, al autonoom wordt genomen zodat de restinvestering minder groot is.

Dit uiteraard naast de discussies omtrent de verdeling van kosten en de duurzaamheid van doorpompen of reductie/stopzetting.

Tabel 7.1: Activiteiten en fasering voor Alternatief 2 'Winning optimaal reduceren'

	Nulmeting en onderzoek	Trend- en effectmonitoring	Maatregelen voor en tijdens periode van reductie	Later eventueel te nemen maatregelen	Aanpassingen beheer
<b>GRONDWATER</b>					
<b>Bebouwing</b> Extra gw-overlast voorzien, met drainage als middel voor tegengaan stijging van freatisch grondwater	<u>Nulmetingen:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Meetnet op basis van advies uitbreiden</li> <li>• gemeentelijke enquête</li> <li>• monumenten: nagaan huidige gw-overlast</li> </ul> <u>Onderzoek:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• drainage op grote schaal: ontwerp en beheer</li> <li>• Drainage bij aanleggen spoortunnel</li> <li>• Bouwtechnische maatregelen op grote schaal: gezamenlijke aanpak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volgen waar gw-overlast zich echt voordoet m.b.v. meetnet en gerichte enquêtes</li> <li>• Effectiviteit maatregelen volgen</li> <li>• Schat aan metingen gebruiken om op zeker moment de modellen te verbeteren.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bouwtechnische en private ingrepen op eigen terrein (o.a. in huis en tuin)</li> <li>• Gemeentelijk drainagenetwerk afstemmen op ontwatering van private terreinen</li> <li>• Gemeentelijke drainagecyclus intensiveren; rioolcyclus afstemmen op gw-overlastgebieden; gebruik maken van spoortunnelaanleg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Drianageaanleg: aansluiting zoeken bij rioolcyclus</li> <li>• Communicatie met burgers over grondwateroverlast; verandering van acceptatie en tips over o.a. ventilatie of hoe hiermee omgaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Extra beheer drainagesysteem en monumenten</li> </ul>
<b>Waterhuishouding-infrastructuur</b> Gering extra waterbezwaar voor oppervlaktewater-systeem; omvang hangt af van reductie winning		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volgen extra waterbezwaar (monitoring is er al in de vorm van maalstaten: alleen analyse uitvoeren)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringe hoeveelheid extra water uitmalen</li> </ul>
<b>Natuur</b> Enige vernatting niet problematisch. Gevolgen m.n. door waterkwaliteit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natuurdoeltypen evalueren op gevoeligheid voor verandering</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beleidsdoelstellingen evalueren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beheer afstemmen op eventueel nieuwe beleidsdoelstellingen</li> </ul>



	Nulmeting en onderzoek	Trend- en effectmonitoring	Maatregelen voor en tijdens periode van reductie	Later eventueel te nemen maatregelen	Aanpassingen beheer
<b>Landbouw en recreatie</b> Vernatting leidt waarschijnlijk tot geringe gewasschade. Gevolgen vnl. gerelateerd aan kwaliteit.		Hoe bepaal je of extra drainage evt nodig is?		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incidenteel extra drainage waar nodig</li> </ul>	
<b>WATERKWALITEIT</b>					
<b>Bedrijven</b> Verontreinigingslocaties in Delftse regio zijn niet meer 'beheerst' door de winning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inventarisatie locaties en omvang verontr.</li> <li>• Bepaling nieuwe stromingsrichting, natuurlijke afbraak en invloed op functies</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volgen waterkwaliteit en verplaatsing verontreinigingen</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Saneringen aanleggen of bestaande saneringen aanpassen aan nieuwe omstandigheden</li> </ul>	
<b>Landelijk gebied</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutriënten</li> <li>• Zware metalen</li> <li>• Verzilting</li> <li>• Algen in zwemwater</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huidige kwaliteitstoestand grond- en oppervlaktewater vastleggen</li> <li>• Waterkwaliteit nutriënten kwantificeren (effect verzilting is ingeschat)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volgen zoutbelasting en waterkwaliteit van grond- en oppervlaktewater</li> </ul>			
<b>Drinkwater</b> Noodputten verzilten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Huidige verziltings-toestand vastleggen</li> <li>• Verzilting putten is voorspeld</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volgen verzilting noodputten</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eventueel nieuwe putten slaan</li> </ul>	

	Nulmeting en onderzoek	Trend- en effectmonitoring	Maatregelen voor en tijdens periode van reductie	Later eventueel te nemen maatregelen	Aanpassingen beheer
<b>GEOTECHNIEK</b>					
<b>Bebouwing</b> Schade door zetting en verminderde draagkracht	<ul style="list-style-type: none"> <li>Huidig schadebeeld vastleggen</li> <li>Monumenten en grote objecten: hoogtemetingen</li> <li>Onderzoek naar vervormingsrisico monumenten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volgen hoe schadebeeld zich ontwikkelt</li> <li>Volgen hoogtemetingen</li> <li>Volgen mogelijk ontstaan van gw-onderlast</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informatie verschaffen aan burgers over mogelijke gevolgen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eventueel panden herstellen</li> <li>Eventueel infiltratie langs spoortunnel tegen gw-onderlast</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beheer van nieuwe winputten</li> <li>Beheer infiltratie en drainage bij spoortunnel</li> </ul>
<b>Leidingen</b> Risico op schade bij aansluitingen op gefundeerde objecten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riolering inspecteren</li> <li>Risico's in kaart brengen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verhoogde periodieke inspectie risicogebied rondom de winning</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Eventuele schade herstellen</li> </ul>	
<b>Diepe constructies</b> Parkeergarages en kelders tegen opdrijven (drijvende constructies), opbarsten (polderconstructies) en vollopen beschermen.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Huidig schadebeeld vastleggen</li> <li>Evt. hoogtemetingen, divers plaatsen</li> <li>aanlegmethode en risico opdrijven per constructie in beeld brengen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volgen gw-stand, stijghoogte en hoogtemetingen</li> <li>Volgen evt. schadebeeld</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Per cluster van objecten: stijghoogte voldoende verlagen</li> <li>Evt. uitbreiden polderbemaling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eventuele schade herstellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meer polderbemaling uitslaan</li> </ul>
<b>Wegen</b> Drainage inzetten ter voorkoming afname draagkracht en vorstschade	<ul style="list-style-type: none"> <li>Huidig schadebeeld vastleggen</li> <li>vereiste ontwatering en huidige situatie wegen vaststellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volgen ontwatering ??</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nieuwe drainage afstemmen op wegen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eventueel ontstane schade herstellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hogere beheerskosten ??</li> </ul>
<b>Waterkeringen</b> Voorkomen falen waterkeringen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Delfland voert inventarisatie uit in kadeonderzoek- en verbeteringsprogramma. Effecten van de winning worden meegenomen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volgen toestand van de kaden mbv voorgesteld monitoringnetwerk en meetnet voor het kadeverbeteringsprogramma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preventief kadeherstel uitvoeren waar nodig. Dit volgt uit het kadeverbeteringsprogramma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eventueel herstellen schade</li> </ul>	

## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Conclusies

Het onderzoek naar de effecten van de winning op de omgeving heeft naast meer inzicht in effecten en mogelijke maatregelen ook concrete producten opgeleverd namelijk de integrale monitoringstrategie en het modelinstrumentarium. Daarmee is invulling gegeven aan de belangrijkste aanbevelingen vanuit de Quicksan, het onderzoek dat de problematiek op een meer kwalitatieve manier heeft beschouwd.

De *monitoringstrategie* stelt de betrokken overheden en belanghebbende partijen in staat de ontwikkelingen te volgen wanneer wordt besloten de winning te reduceren. Op een meer technisch niveau stelt het partijen in staat de effecten ten gevolge van de winning te scheiden van andere (autonome) veranderingen en biedt het kansen om de betrouwbaarheid van nieuwe voorspellingen te vergroten.

Om het meetnet optimaal te kunnen inzetten is haast geboden bij de inrichting ervan. In dat licht is het een goede ontwikkeling dat op het moment van schrijven de eerste activiteiten zijn ondernomen om tot aanleg van het monitoringnetwerk te komen.

Voor de besluitvorming van de belanghebbende partijen is het van belang inzicht te hebben in de effecten van reductie van de winning. Dankzij de ontwikkeling van het *modelinstrumentarium* is het mogelijk geworden juist dat inzicht te krijgen alsook inzicht in de mogelijkheid van maatregelen. Het modelinstrumentarium bestaat uit een:

- gedetailleerd geologisch model van de ondergrond;
- grondwaterkwantiteitsmodel;
- grondwaterkwaliteitsmodel;
- oppervlaktewatermodel;
- geotechnisch model.

Met deze instrumenten zijn effecten berekend van het reduceren van de winning op de thema's grondwateroverlast, (grond)waterkwaliteit en geotechniek. De belangrijkste conclusies worden hieronder systematisch weergegeven.

#### *Algemeen*

- Het stopzetten van de winning zonder het treffen van adequate maatregelen leidt tot extra grondwateroverlast, verhoging van risico's op kadeinstabiliteit en verhoging van risico's op matige schade aan panden en constructies. Ook bij reductie van de winning zullen maatregelen nodig zijn.
- Vermindering op korte termijn van de huidige winning is niet mogelijk. Op langere termijn is het slechts in beperkte mate mogelijk alleen wanneer de juiste maatregelen getroffen worden om risico's op overlast of schade te voorkomen.
- Om de drie winningsscenario's te kunnen vergelijken zijn de netto contante waarden voor de verschillende posten bepaald. De *gemiddelde netto contante waarden* voor de scenario's zijn achtereenvolgens 20 miljoen Euro (bij 1000 m<sup>3</sup>/uur), 30 miljoen Euro (bij 800 m<sup>3</sup>/uur) en 67 miljoen Euro (bij sluiting van de winning). Op basis van de nu bekende onzekerheden in de effecten- en kostenberekening kunnen de genoemde bedragen 30% hoger of lager uitvallen.

#### *Grondwateroverlast*

- De belangrijkste maatregel om grondwateroverlast te voorkomen, is het aanleggen van drainage. Bij een debiet van 1000 m<sup>3</sup>/uur is naar schatting 40 km drainage nodig in Delft, Rijswijk, Den Haag. De kosten hiervoor bedragen ca. 8,5 miljoen euro. De termijn waarop dit redelijkerwijs kan worden aangelegd bedraagt 5 tot 10 jaar en kan oplopen tot tientallen jaren wanneer niet aangesloten wordt bij rioolvervangingsprogramma's.

#### *Geotechniek*

- Kadeherstel is de maatregel om schade aan kadelichamen te voorkomen. Bij een debiet van 1000 m<sup>3</sup>/uur moet, afhankelijk van het risico op detailniveau, 25 tot 75 km kade worden onderzocht en mogelijk hersteld. De kosten hiervoor bedragen 0,2 miljoen euro per km. Omdat uitvoering ook jaren kan duren is kadeherstel samen met drainageaanleg bepalend voor de snelheid waarmee reductie van de winning mogelijk is.
- Delft en omgeving hebben te maken met bodemdaling. Een positief effect van het stopzetten van de winning is dat bodemdaling door veenoxidatie zal afnemen. Zeer lichte tot matige schade aan panden (o.a. gedefinieerd als 'scheuren van maximaal 1,5 cm') kan echter optreden op plaatsen waar bodemrijzing (door zwel) verwacht wordt. Bodemrijzing kan plaatselijk snel (binnen een jaar) volgen op reductie van de winning. Om het werkelijke effect met monitoring te kunnen volgen en vanwege de onzekerheid op verschillende punten heeft langzame afname van de winning de voorkeur boven snelle reductie.

#### *Waterkwaliteit*

- In het geval dat de winning volledig wordt gesloten zal er op termijn slechts een zeer geringe toename van de chlorideconcentratie van het oppervlaktewater plaatsvinden die met de beschikbare doorspoelcapaciteit te beheersen is.
- In het verleden is rekening gehouden met een kans dat saneringen in het Rijnmondgebied te maken krijgen met belangrijke veranderingen in de stromingsrichting. Analyse van de stromingsverandering met het *grondwatermodel* wijst uit dat zelfs in het uiterste geval dat de winning sluit geen veranderingen van belang de noordgrens van Rotterdam bereikt.

#### *Monitoring*

- Monitoring van de verschillende effecten is van groot belang. Een nulmeting dient als referentie voor toekomstige veranderingen. Vervolgmonitoring maakt het mogelijk nadelige effecten tijdig te signaleren waarna maatregelen getroffen kunnen worden en het wordt duidelijk welke effecten daadwerkelijk het gevolg zijn van verandering in de winning. Daarnaast maken nieuwe meetgegevens het mogelijk meer betrouwbare voorspellingen te doen voor verdere reductie. De monitoring op het gebied van grondwateroverlast, grondwater- en oppervlaktewaterkwaliteit bevindt zich op dit moment in de aanbestedingsfase. De kosten daarvoor zijn geraamd op 190 kEUR (aanleg) en 150 kEUR (jaarlijkse exploitatie). Deze kosten worden op basis van taakstelling gedeeld door de betrokken partijen. De monitoring voor geotechniek is nog in onderzoek en wordt voorlopig geraamd op een jaarlijkse exploitatie van 350 kEUR naast de eenmalige aanlegkosten van 470 kEUR.

## 8.2 Aanbevelingen

- De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op de uitkomsten van de ontwikkelde modelinstrumenten. Hoe gedetailleerd deze ook zijn, de uitkomsten worden gegeven met een zekere onzekerheid. Aanvullende monitoring wordt van groot belang geacht omdat het informatie levert over de nul-situatie en zo de mogelijkheid biedt om in de toekomst het effect van de winning te onderscheiden van andere effecten. Belangrijk is dat monitoring de mogelijkheid biedt om tijdens het verminderen van het debiet eventuele problemen te identificeren. Om die reden is een rapport opgesteld met daarin een voorstel voor een integraal **monitoringnetwerk** om daarmee zowel de overheden als andere belanghebbende partijen een concreet advies in handen te geven.
- De inrichting van een monitoringnetwerk is om meer dan een reden zinvol. Het vergelijken van de metingen met de gemodelleerde effecten verhoogt de kennis omtrent de nauwkeurigheid van de gemodelleerde effecten. Daarnaast geeft het inzicht in de opbouw van de ondergrond en de reactie van de ondergrond en het (grond)watersysteem. Daarmee ontstaat de mogelijkheid het modelinstrumentarium te verbeteren en daarmee **beter modelvoorspellingen** te kunnen leveren.
- Herstel van kades om kadestabiliteit te voorkomen is een onzekere maar omvangrijke kostenpost. Reductie van die **onzekerheid** geeft betere inzicht in de te verwachten kosten.
- Met betrekking tot het thema Geotechniek is een inschatting gemaakt van mogelijke kosten bij stopzetting van de winning. Er wordt voorgesteld dit zogenaamde herstelbedrag te zien als **reservering voor mogelijke kosten** bij schademelding door particulieren. Het is dan ook aan te bevelen om bij stopzetting van de winning een fonds voor schadeherstel en een schadecommissie in te stellen.
- Op basis van de grondmechanische analyse van de bodemrijzing is de aanbeveling om bij reductie een voorzichtige strategie te volgen en reductie gefaseerd plaats te laten vinden. De winning kan onder voortdurende monitoring van effecten worden **afgebouwd in stappen** en bij ongewenste effecten is dan tijdig ingrijpen mogelijk. De grootte van de reductiestap zal proefondervindelijk worden bepaald waarbij als indicatie een reductie van 50 m<sup>3</sup>/uur wordt voorgesteld.
- De problematiek rond de winning in Delft is niet het enige watergerelateerde vraagstuk dat in de regio speelt. Het ontwikkelde modelinstrumentarium kan van nut zijn voor meerdere vraagstukken. Onderhoud en beheer van gebruikte databestanden en modellen maakt toekomstig gebruik voor **meerdere toepassingen** mogelijk en voorkomt dat de ontwikkeling een eenmalige inspanning is geweest. Daarvoor zijn afspraken nodig op het gebied van het toevoegen meer gedetailleerde informatie als ook het verwerken van nieuwe inzichten. Te denken valt aan informatie over stedelijke drainage, wijze van bouwrijp maken en werkelijke verdeling van verhard oppervlak.



## 9 Referenties

- Doherty, J., L. Brebber en P. Whyte (1994). Pest - Model-independent parameter estimation. User's manual; Watermark Computing, Australia.
- Dril, A.W.N. van en H.E. Elsenga (2005). Referentieramingen energie en emissies 2005-2020. MNP rapportnr. 773001031]
- Ek, R. van et.al. (2007). Inventarisatie van effecten van klimaatverandering op HHD\_Deltares. Rapportnummer 2007-U-R01023/A
- Gehrels, H. e.a. (2005). Quickscan DSM-spoorzone: Verkenning van duurzame oplossingsrichtingen voor het waterbeheer in Delft en omgeving. Rapport NITG 05-134-B0905
- Hoogheemraadschap Delfland, 2006. Realiseren en intensiveren – Waterbeheerplan 2006-2009;
- Konikow, L.F., D.J. Goode & G.Z. Hornberger (1996). A three-dimensional method-of-characteristics solute-transport model (MOC3D); U.S.G.S. Water-Resources Investigations Report 96-4267, 87 pp.
- Linden, van der, W. (1999). Effecten stopzetten grootschalige onttrekkingen in de provincie Zuid-Holland, IWACO i.o.v. provincie Zuid-Holland.
- McDonald, M.G. & A.W. Harbaugh (1988). A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model; U.S.G.S. Techniques of Water-Resources Investigations, Book 6, Chapter A1, 586 pp.
- Minnema, B., Kuijper, B., & Oude Essink, G.H.P., (2004), Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland, TNO-NITG 04-189-B, 89p.
- Oude Essink, G.H.P., Houtman, H. & B.J.M. Goes (2005). Chloride-concentratie onderkant deklaag in Nederland, NITG 05-056-A, 17p., TNO Bouw en Ondergrond, Utrecht.
- Rienks W. e.a. (2004). Veenweidegebied in Fryslân – de effecten van vier peilstrategieën (bijlagen), Alterra 2004
- Roelofsen, F.J. e.a. (2008). Onderzoek naar effecten van stopzetting grondwateronttrekking DSM Delft. Fase 1: Monitoringstrategie voor grondwaterstijging, waterkwaliteit en geotechniek
- STOWA (2005). DWAAS, vervolgonderzoek rioolvreemd water. Rapportnummer 2005-20, ISBN 90.5773.309.9
- Veldhuizen, A.A., Poelman, A., Stuyt, L.C.P.M. (1998a). Software documentation for SIMGRO V3.0: regional water management simulator. SC Technical Document 50, 289 p.
- Wl|Delft Hydraulics (2001). SOBEK Rural, managing your flow; Manual version 2.07, Wl|Delft Hydraulics, Delft.
- Zaadnoordijk, W.J. (2005). Effecten verminderen grondwaterwinning door DSM Gist in Delft. Royal Haskoning, 22 november 2005. Referentie 9R3204/R00002/WJZ/Rott1

- Zheng, C & P.P. Wang. (1998). MT3DMS. A Modular Three-dimensional Transport Model for simulation of advection, dispersion and chemical reactions of contaminants in groundwater systems. Version 4. Documentation and User's Guide.



## A Vergelijkende analyse onderzoek Royal Haskoning

### A.1 Inleiding

In opdracht van DSM Gist is door Royal Haskoning-onderzoek uitgevoerd naar de effecten van vermindering van de grondwaterwinning. Van de uitkomsten is op 22 november 2005 een rapport verschenen onder de titel “Effecten vermindering grondwaterwinning door DSM Gist in Delft” (nr. 9R3204).

Nu de resultaten van het Delft Cluster-onderzoek bekend zijn is de wens geuit om beide uitkomsten naast elkaar te leggen en na te gaan wat de overeenkomsten en verschillen zijn. In deze paragraaf worden de conclusies uit het Royal Haskoning-rapport (in het vervolg RH rapport) geciteerd en vergeleken met de uitkomsten van het Delft Cluster-onderzoek (in het vervolg DC). Er zijn in dit verband geen nieuwe berekeningen uitgevoerd door Royal Haskoning of Deltares. Bij een verwijzing naar het Royal Haskoning-rapport wordt tussen haken de betreffende pagina aangegeven.

### A.2 Opbouw Royal Haskoning-onderzoek

De lijn in het rapport van Royal Haskoning is overzichtelijk: op basis van modelberekeningen met het Iwaco model voor waterkwantiteit worden effecten van verschillende onttrekkingsdebieten (1.800 – 1.200 – 500 – 0 m<sup>3</sup>/uur) bepaald. Het projecteren van die uitkomsten op een zogenaamde kwetsbaarheidkaart levert inzicht in de knelpunten die ontstaan bij reductie.

Op basis van deze uitkomsten wordt ook verder gekeken richting afgeleide effecten zoals waterkwaliteit en bodembeweging. Om de uitkomsten van het Iwaco model te verifiëren is door Royal Haskoning een tijdreeksanalyse uitgevoerd op beschikbare grondwatermeetreeksen.

### A.3 Reflectie op conclusies en aanbevelingen

#### A.3.1 RH conclusie 1

*“Op basis van dit onderzoek wordt geconcludeerd dat de reductie van de zomeronttrekking (max. 1.800 m<sup>3</sup>/uur) door DSM naar een regiem waarin permanent circa 1.200 m<sup>3</sup>/uur wordt onttrokken geen knelpunten oplevert door verandering van ondiepe grondwaterstanden en diepe stijghoogten.” (pag. 17)*

Een vermindering van het debiet in de zomer heeft volgens het RH onderzoek effect op de *stijghoogte*. Aanvullend wordt aangegeven dat beide situaties niet stationair moeten worden vergeleken. In werkelijkheid is er immers per seizoen een afwisseling tussen beide debieten geweest.

Een zelfde redenatie is gevolgd voor het effect op de *ondiepe grondwaterstand*. Er zijn effecten groter dan 5 cm berekend, ook buiten het DSM terrein (pag. 8), maar gezien de korte duur van de zomeronttrekking lijken die volgens het RH onderzoek overschat.

Na effectberekeningen met het grondwatermodel is door Royal Haskoning tijdreeksanalyse gebruikt om na te gaan wat dan wel het verband is tussen de DSM onttrekking en de freatische grondwaterstand. Het RH onderzoek concludeert dat *“uit analyse ... blijkt dat de tijdreeksanalyse geen verband aantoont tussen de DSM-onttrekking en de freatische grondwaterstand. Een fysische verklaring hiervoor is dat de jaarlijkse fluctuatie vertraagd en gedempt wordt door de dikke Holocene deklaag met een berging en een grote weerstand voor verticale grondwaterstroming.”* (pag. 15)

#### *Discussie*

De fysische verklaring die wordt gegeven is aannemelijk; door de demping van de deklaag zal in de grondwaterstanden slechts het effect van de jaargemiddelde onttrekking worden gemerkt. Tijdreeksanalyse kan geen uitspraken doen over de effecten van verandering van de jaargemiddelde onttrekking op de grondwaterstand. Vervolgens moet dan de conclusie zijn dat veranderingen in het jaargemiddelde debiet wél effect kunnen hebben op de freatische grondwaterstand, iets dat het Iwaco model ook aangeeft. Zo zal dus een verlaging van het jaargemiddelde debiet van 1.400 m<sup>3</sup>/uur (1.800 zomer, 1.200 winter) naar een continue onttrekking van 1.200 m<sup>3</sup>/uur wel effect kunnen hebben op de freatische grondwaterstand. Dat effect had door Royal Haskoning kunnen worden berekend.

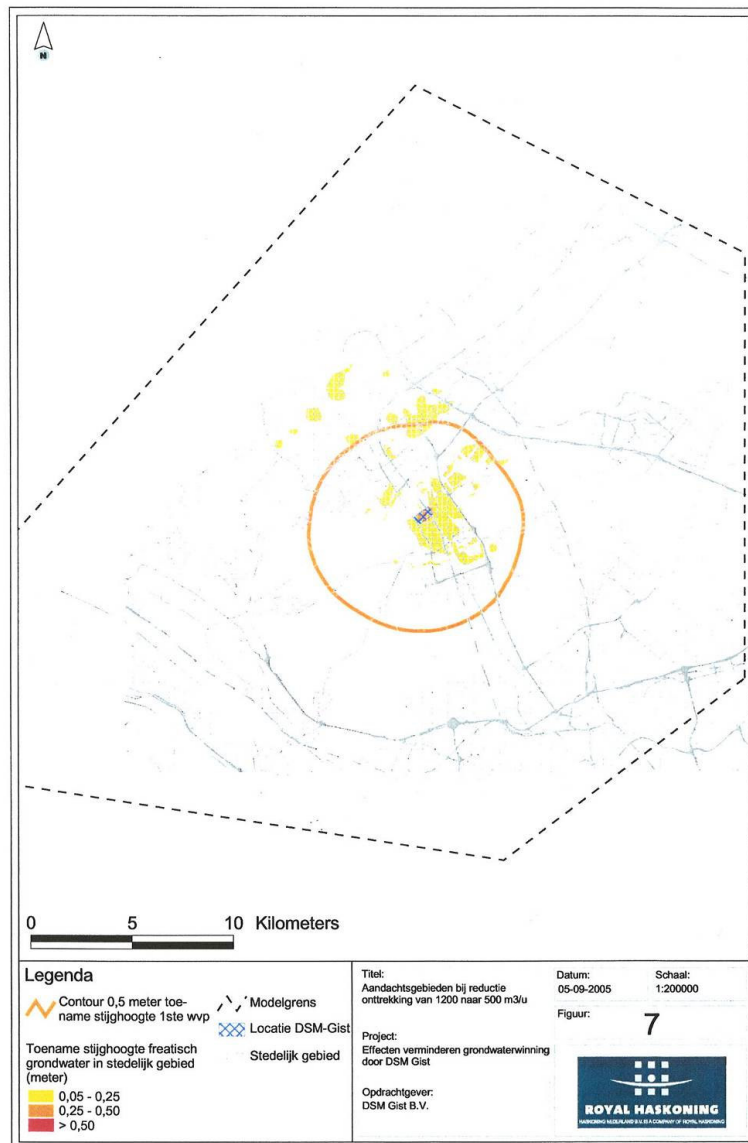
Het DC onderzoek heeft deze berekening niet uitgevoerd, wel de reductie van 1.400 m<sup>3</sup>/uur naar 1.000 m<sup>3</sup>/uur. Daaruit blijkt dat naar schatting toch 200 ha. drainage nodig is (zie paragraaf 6.2.1). Een reductie van 1.400 m<sup>3</sup>/uur naar 1.200 m<sup>3</sup>/uur zal naar verwachting ook effect hebben, zij het in mindere mate. Maar niet alleen wateroverlast is bij reductie een knelpunt waar rekening mee moet worden gehouden. Ook het mogelijk effect op kadestabiliteit is een onderwerp waar rekening mee gehouden moet worden. Paragraaf 0 gaat verder in op het mogelijke effect op de kadestabiliteit.

#### *Slotconclusie*

Samengevat is het oordeel dat de RH conclusie te snel is getrokken en dat er ook bij geringe reductie effect op de freatische grondwaterstand kan optreden. Daarnaast is bij de conclusie geen rekening gehouden met het feit dat kadestabiliteit een knelpunt kan zijn.

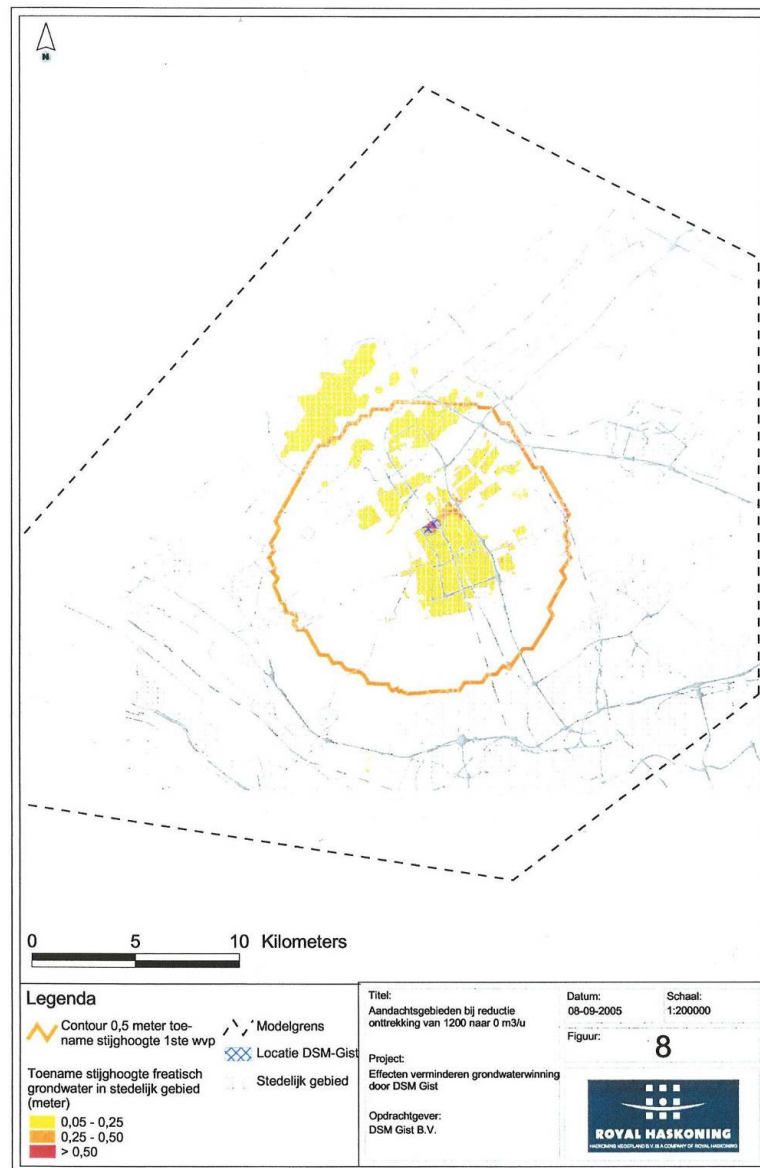
#### *A.3.2 RH conclusie 2*

*“Voor de reductie van een continue jaaronttrekking van 1.200 naar 500 m<sup>3</sup>/u kunnen negatieve effecten niet op voorhand uitgesloten worden (zie Figuur 6.5). Wateroverlast rond het noorden van Delft, Rijswijk en de zuidelijke gebieden van Den Haag kan versterkt worden, en met name op het DSM-terrein zelf moet rekening worden gehouden met hogere ondiepe grondwaterstanden. De ondiepe grondwaterstand ter plaatse van overige bebouwde gebieden worden nauwelijks beïnvloed door de veranderingen.”* (pag. 17)



Figuur 9.1: Aandachtsgebieden bij reductie onttrekking van 1200 naar 500 m<sup>3</sup>/uur

Elders laat het RH rapport de aandachtsgebieden zien voor de situatie waarin de winning volledig wordt gesloten (zie Figuur 9.2). In vergelijking met een reductie tot 500 m<sup>3</sup>/uur is het oppervlak waarbij een stijging van de freatische grondwaterstand tot 25 cm wordt verwacht duidelijk toegenomen. Effecten bij reductie tot 500 m<sup>3</sup>/uur en sluiten worden verwacht in bebouwde gebieden van Delft, Rijswijk en Den Haag (pag. 9)



Figuur 9.2: Aandachtsgebieden bij reductie onttrekking van 1200 naar 0 m<sup>3</sup>/uur

### Discussie

Beide figuren tonen de berekende effecten die slecht onder bepaalde omstandigheden leiden tot wateroverlast. Een dergelijk effectenpatroon is ook terug te vinden in de resultaten van het DC-onderzoek (zie paragraaf 5.2.2). Omdat het DSM model de deklaag en het topsysteem in meer detail heeft gemodelleerd is het patroon minder aaneengesloten. Het lijkt erop dat het totale oppervlak dat wordt beïnvloed in het RH rapport groter is dan in het DC-rapport.

Om van berekende effecten tot de zogenaamde Knelpuntenkaart te komen sluit het RH rapport droogmakerijen en hoge gebieden uit van overlast maar richt zich met name op bebouwd gebied in de daartussen gelegen overgangsgebieden.

Een vergelijkbare methode is in het DC-onderzoek toegepast om tot een inschatting te komen van de gebieden waar drainage nodig is. Er is alleen gekeken naar die stedelijke gebieden waar een stijging van de grondwaterstand van meer dan 5 cm kritiek is. Gebieden waar al drainage aanwezig is zijn niet meegenomen.

Het RH onderzoek geeft aan dat het model met name bedoeld is om aandachtsgebieden aan te wijzen (pag. 7). Reden hiervoor is dat “...*veranderingen van de ondiepe grondwaterstand echter zo sterk worden beïnvloed door lokale variaties in de bodemopbouw en de lokale ontwatering (drainage, sloten e.d.) dat de modeluitkomsten te kort schieten om voor lokale wateroverlast de relatie tussen de grondwaterstand en de winning te leggen.*” Omdat kwantificering gewenst is, is in het DC-onderzoek extra aandacht besteed aan het inbrengen van zowel de deklaag als het topsysteem.

#### *Slotconclusie*

Met betrekking tot deze conclusie zijn er tussen beide aanpakken en uitkomsten geen grote afwijkingen te ontdekken.

#### *A.3.3 RH conclusie 3*

*“De reductie van de onttrekking zal van beperkte invloed zijn op de grondwaterstromingsrichting in het watervoerende pakket. Verdergaande reductie of zelfs beëindiging van de onttrekking door DSM zal van invloed zijn op de effectiviteit van grondwatersaneringen en energieopslag in het watervoerende pakket. Ook de monitoring van de grondwaterkwaliteit op het DSM terrein dient zeker bij volledige beëindiging van de grondwaterwinning opnieuw te worden beoordeeld.” (pag. 17)*

#### *Discussie en conclusie*

Het DC-onderzoek onderschrijft dat er een effect is op de stromingsrichting, echter niet dat deze beperkt is. Het DC-onderzoek heeft zichtbaar gemaakt voor welke gebieden een verandering van stromingsrichting geldt bij volledige sluiting (zie paragraaf 5.6). Die invloed is minder groot dan bij de start van het onderzoek, in de Quickscan (Gehrels 2005), werd verwacht. Deze informatie is gebruikt om t.b.v. de MKBA een kostenschatting te maken.

#### *A.3.4 RH conclusie 4*

*“Diepe constructies in Delft en Rijswijk ondervinden mogelijk hinder en de extra kwel kan maatregelen vereisen. Het is raadzaam dat de beherende instanties hier gericht onderzoek naar verrichten.” (pag. 17)*

#### *Discussie en conclusie*

Ook het DC-onderzoek komt tot deze conclusie. In de MKBA (zie hoofdstuk 6) wordt expliciet rekening gehouden met aanvullend en gericht onderzoek naar bijvoorbeeld de kans op opdrijven van ondergrondse constructies.

#### A.3.5 RH conclusie 5

*“In de poldergebieden rondom Delft kan bij reductie van de onttrekking een toename van kwel worden verwacht. Dit zal met name een effect hebben op de oppervlaktewaterkwaliteit ten aanzien van zout en nutriënten.” (pag. 17)*

#### *Discussie en conclusie*

Elders in het RH rapport wordt dit genuanceerd door aan te geven dat met name de zomerperiode kritisch kan zijn. Vanuit diezelfde verwachting is in het DC-onderzoek gerekend aan chloridetransport en tot de conclusie gekomen dat in het worst-case scenario geen dusdanige verzilting op zal treden dat extra doorspoelcapaciteit nodig is.

#### A.3.6 Bodembeweging

Op pagina 4 van het RH rapport staat te lezen dat *“bij een toename (van de diepe stijghoogte) in principe een maaiveldsstijging kan optreden, deze stijging is naar verwachting verwaarloosbaar”*.

In het DC-onderzoek is gerekend aan de bodembeweging en de kans op schade die daar het gevolg van is. Uit dit onderzoek blijkt dat er wel degelijk maaiveldstijging te verwachten is en dat er kans bestaat op geringe tot licht schade aan panden.

#### A.3.7 Kadestabiliteit

Bij de conclusie dat vermindering tot 1.200 m<sup>3</sup>/uur mogelijk moet zijn, is in het RH-onderzoek slechts gekeken naar veranderingen van de stijghoogte en de grondwaterstand. In feite ging het om een vermindering van een jaargemiddeld debiet van 1.400 m<sup>3</sup>/uur naar het continue onttrekken van 1.200 m<sup>3</sup>/uur, gelijk aan het tot dan toe jaarlijks terugkerende winterdebiet. Op grond van door Delfland uitgezet onderzoek is echter vast komen te staan dat ook het mogelijke effect van stijghoogteverandering op kades van belang kan zijn. Om die reden is in het DC-onderzoek specifiek gekeken hoeveel kilometer kade, ook bij een geringe reductie van de winning, mogelijk risico loopt en nader onderzocht moeten worden. Gezien de grote onzekerheid op het thema kadestabiliteit komt het DC-onderzoek met het advies om bij eventuele reductie een voorzichtige strategie te volgen.