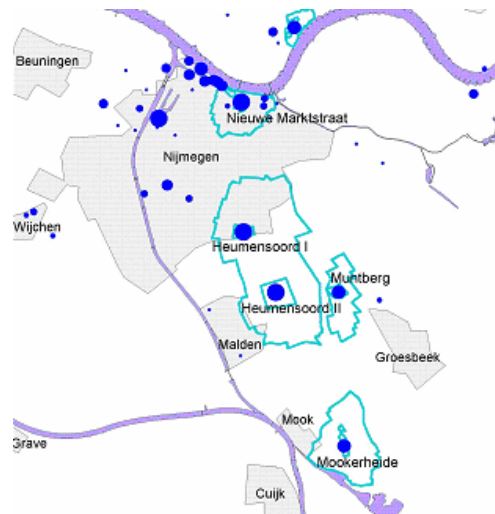


BTO 2007.026
Juni 2007

Risicoanalyse ruwwaterkwaliteit Pompstation Heumensoord

Deel 1
Hydrologisch model



Ministerie van Verkeer
en Waterstaat



Delft Cluster

BTO 2007.026

Juni 2007

Pilot study Pompstation Heumensoord

Deel 1 Hydrologisch Model

© 2002

Kiwa Water Research B.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of
openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch,
mechanisch, door
fotokopieën, opnamen, of
enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de
uitgever.

Opdrachtgever

BTO

Projectnummer

111500.050

Kiwa Water Research B.V.
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
Internet
www.kiwawaterresearch.eu



Ministerie van Verkeer
en Waterstaat

Delft Cluster

Colofon

Titel

Pilot study Pompstation Heumensoord
Deelrapport 1, Beschrijving Hydrologisch Model

Projectnummer

111.500.050

Projectmanager

Drs. Peter Hesen

Kwaliteitsborger

Dr. C. Vink

Auteur

ir. D.G. Cirkel

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

In deze rapportage wordt een beschrijving gegeven van het geohydrologische systeem en de opzet en calibratie van een grondwatermodel van de omgeving van pompstation Heumensoord. Pompstation Heumensoord is gelegen in Gelderland, tegen de zuidrand van de stad Nijmegen. De ondergrond van het gebied rond het pompstation bestaat uit (in de voorlaatste ijstijd gestuwde) pleistocene formaties. Door de stuwing bestaat de ondergrond in de omgeving van het pompstation uit een complexe afwisseling van (scheefgestelde) kleilagen en afwisselend fijn en grofzandige tot grindige afzettingen. Verder zijn door de stuwing en latere gedeeltelijke erosie grote gradiënten in maaiveldhoogte ontstaan. De stuwingsverschijnselen zijn van grote invloed op de hydrologie van het studiegebied. Door de genoemde gradiënten en scheefgestelde kleilagen kunnen op korte afstand van elkaar grote verschillen in stijghoogte voorkomen. Tevens wordt door de sterke heterogeniteit van de ondergrond het stromingspatroon van het grondwater beïnvloed. Een andere voor de hydrologie complicerende factor is de verstedelijking in de omgeving van de puttenvelden. Door het verharde oppervlak kan de grondwateraanvulling in het stedelijke gebied sterk afwijken van de omgeving. Het uiteindelijke doel van de modellering is het geven van inzicht in de toekomstige ruwwaterkwaliteit van Pompstation Heumensoord. Realisering van deze doelstelling vereist dat het complexe stromingspatroon binnen het intrekgebied van de winplaats adequaat kan worden gesimuleerd.

De gekozen calibratieperiode loopt van 1995 t/m 2004 en is gekozen omdat het een recente periode betreft, die daarmee goede representativiteit voor de toekomst heeft en ook representatief is voor hydrologische omstandigheden (gezien het onttrekkingsregime). Grondwateraanvulling is berekend op basis van landgebruik, bodemtype en grondwatertrap. Hydraulische bodemconstanten zijn berekend op basis van alle beschikbare boorgegevens uit het Dinobestand en aan de boorbeschrijving gekoppelde k-waarden. Gezien de complexiteit van de ondergrond is het ondoenlijk het model handmatig te calibreren. Om deze reden is de calibratie geautomatiseerd uitgevoerd met een genetisch algoritme, waarbij twee doelstellingen zijn geoptimaliseerd door het geautomatiseerd aanpassen van 246 calibratieparameters. De eerste doelstelling van deze parameteroptimalisatie betreft de klassieke doelstelling van modelcalibratie: het minimaliseren van het verschil tussen berekende en waargenomen stijghoogten. De tweede doelstelling betreft het minimaliseren van de afwijking van de uiteindelijke ten opzichte van de initiële waarden van modelparameters.

De verschillen tussen de berekende en waargenomen stijghoogten van de stationaire modelberekening zijn aan de hoge kant. Het gemiddelde absolute verschil bedraagt ca. 1,19 m, het gemiddelde verschil -0,07 m. Men moet er echter op bedacht zijn dat het hier gaat om een geohydrologisch complex gebied. De complexiteit van het gebied wordt veroorzaakt door stuwing door landijs tijdens het Saalien. Gevolg van deze stuwing zijn voor Nederlandse

begrippen grote gradiënten in maaiveldhoogte(hoogteverschillen tot 75 m binnen een afstand van 800 meter). Verder zijn voor het Saalien afgezette kleilagen door de stuwing scheefgesteld en verkneed. Gevolg van beide aspecten zijn (moeilijk te modelleren) extreem grote gradiënten in de grondwaterspiegel. De grondwaterstanden op de stuwwal laten hierdoor grote afwijkingen zien en beïnvloeden de gemiddelde afwijking sterk. De grondwaterstanden rond de winning Heumensoord konden (rekening houdend met de complexiteit van het gebied) bevredigend worden gemodelleerd.

De berekende intrekgebieden en reistijden voor pompstation Heumensoord komen overeen met wat op basis van de bodemopbouw en de onttrekkingdebieten verwacht mag worden. Tevens zijn de resultaten van de berekeningen in lijn met eerder door Kiwa uitgevoerde berekeningen voor pompstation Heumensoord.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING.....	1
1 INLEIDING	5
1.1 Achtergrond en aanleiding	5
1.2 Aanpak van het onderzoek.....	5
1.3 Leeswijzer	6
2 GEBIEDSBESCHRIJVING	7
2.1 Topografie en hoogteligging	7
2.2 Geologie.....	8
2.3 Oppervlaktewater in het modelgebied	10
2.4 Geohydrologie.....	11
2.5 Pompstations en onttrekkingsgegevens.....	12
3 OPZET EN BESCHRIJVING VAN HET HYDROLOGISCH MODEL	15
3.1 Algemeen.....	15
3.2 Afbakening modelgebied	15
3.3 Netwerk.....	16
3.4 Slechtdoorlatende lagen.....	17
3.5 Watervoerende pakketten	17
3.5.1 Stuwingsverschijnselen	18
3.5.2 Verticale discretisatie	18
3.5.3 Toekenning van bodemparameters aan de modellagen.....	20
3.6 Topsysteem	21
3.6.1 Grondwateraanvulling.....	21
3.6.2 Drainage	23
3.7 Onttrekkingen tijdens de calibratieperiode.....	23
3.8 Randvoorwaarden.....	24
3.9 Referentiegegevens van de stijghoogte voor de calibratie	24
4 CALIBRATIE	25

4.1	Stationaire calibratie.....	25
4.1.1	Keuze rekenperiode voor de calibratie van het stationaire model	25
4.1.2	Gevoeligheidsanalyse.....	26
4.1.3	Calibratiemethodiek.....	28
4.2	Algemeen.....	28
4.3	Resultaten	31
4.3.1	Grondwaterstanden	32
4.3.2	Intrekgebied en reistijden.....	34
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	39
6	LITERATUUR	41

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

Deze studie is onderdeel van het bedrijfstakonderzoek van de drinkwaterbedrijven en betreft een pilotstudie van het project Stedelijk Waterbeheer en Waterwinning. In het kader van dit project is kennis vergaard van grondwatersamenstelling, zuiveringstechnieken en risicoanalyse van stedelijke winningen. Eén van de onderdelen van de pilotstudy behelst de toepassing van een methode voor risicoschatting van de kwaliteit van het ruwwater, om ervaring op te doen met toepassing van de ontwikkelde methoden op een concrete situatie en te demonstreren. Daarnaast wenst Vitens inzicht te verkrijgen in risico's en te verwachten ontwikkelingen van de ruwwaterkwaliteit op pompstation Heumensoord. Het grondwatermodel voor pompstation Heumensoord, waarvan de constructie onderwerp vormt van dit rapport, vormt het hydrologische onderdeel van de ruwwaterkwaliteitsprognose en de ruwaterrisicoanalyse.

1.2 Aanpak van het onderzoek

Aanpak van het onderzoek in het algemeen is beschreven in het projectplan (Bijlage 1). De eerste stappen voor het ontwikkelen van een methode om risico's van verslechtering van de ruwwaterkwaliteit te schatten op kwantitatieve grondslag zijn al enige jaren geleden gezet bij de ontwikkeling van het programma REFLECT. Vervolgens is deze methode verbeterd in het kader van het al genoemde project Stedelijk Waterbeheer en Waterwinning. (Kiwa, 2005). In het onderhavige onderdeel van het project wordt de methode nader uitgewerkt en tegelijkertijd getoetst aan praktische toepassingen. Voor dit doel zijn twee winplaatsen geselecteerd. Naast pompstation Heumensoord is pompstation Borgharen (NV waterleidingmaatschappij Limburg) als tweede pilotlocatie gekozen.

Voor het uitvoeren van de risicoanalyse wordt een gestandaardiseerd werkplan gevolgd. Ter voorbereiding van de eigenlijke risicoanalyse worden achtereenvolgend een hydrologische modellering, hydrologische systeemanalyse en een inventarisatie van manifeste en potentiële verontreinigingsbronnen uitgevoerd. Met deze informatie wordt uiteindelijk de kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd. De resultaten van de bovengenoemde activiteiten worden aansluitend gebruikt voor een beoordeling van de geschiktheid van de zuiveringsinstallatie voor de komende 10 jaar, een beschrijving van in de toekomst eventueel benodigde additionele zuiveringsstappen, een kosten-batenanalyse van de winning en een statistisch onderbouwd voorstel voor een monitoringstrategie.

1.3 Leeswijzer

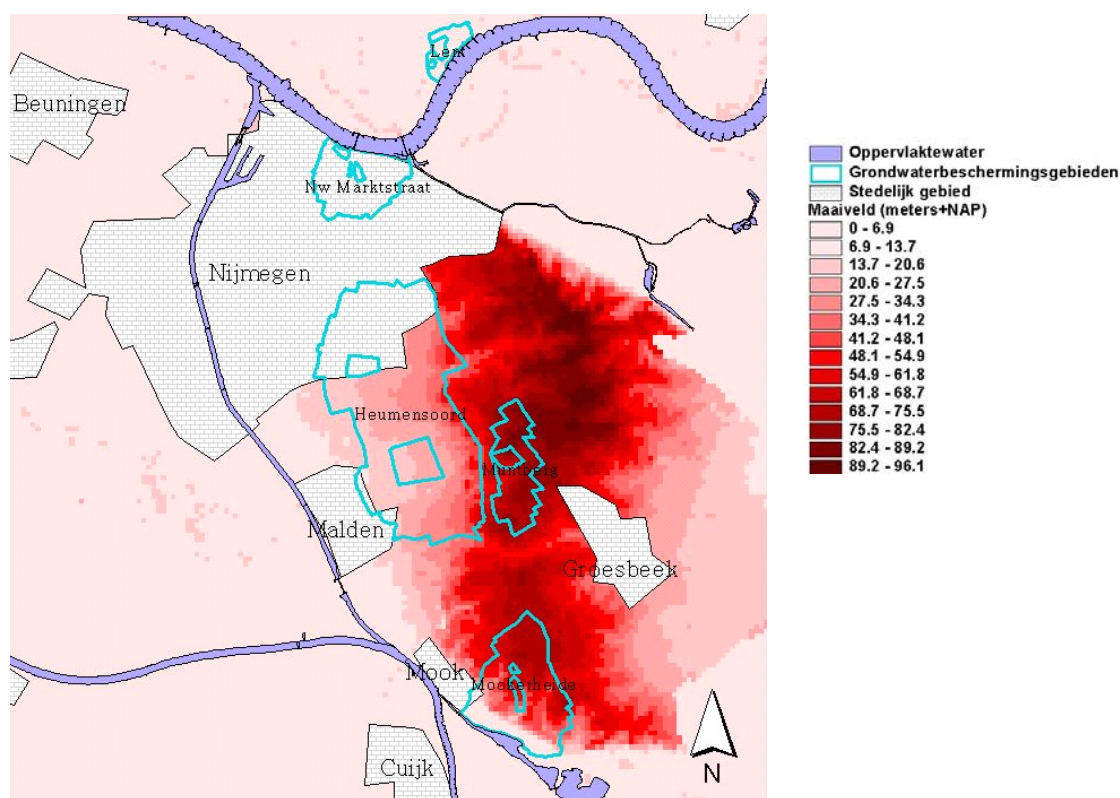
In dit deelrapport is de opzet en de calibratie van het stationaire hydrologisch model beschreven. Hoofdstuk 2 bevat een beschrijving van het gebied rond pompstation Heumensoord. In hoofdstuk 3 wordt de opzet van het model beschreven en in hoofdstuk 4 de calibratie. Tot slot wordt in hoofdstuk 5 het rapport afgesloten met conclusies en aanbevelingen. In de bijlagen zijn de resultaten van de berekeningen in kaart en tabelvorm opgenomen.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Topografie en hoogteligging

Het modelgebied beslaat de stuwwal van Nijmegen en het aangrenzende laaggelegen rivierengebied met ondermeer de rivieren Maas en Waal e het Maas-Waalkanaal. Op relatief korte afstand zijn grote hoogteverschillen aanwezig, met hoogten van 96 m +NAP op de hoogste delen van de stuwwal aflopend naar een hoogte van ongeveer 8 m + NAP in het rivierengebied.

Waterwingebied Heumensoord is ingeklemd tussen de stuwwal en de stad Nijmegen en het dorp Malden. Het noordelijk deel (Heumensoord I) van het grondwaterbeschermingsgebied ligt binnen het stedelijke gebied van Nijmegen. Rondom Heumensoord zijn nog een aantal andere drinkwaterwinningen aanwezig. Het gaat hierbij om de winning Nieuwe Marktstraat in Nijmegen en de winningen Muntberg en Mookerheide op de stuwwal.



Figuur 1 Hoogteligging en globale topografie van het modelgebied

2.2 Geologie

Het onderzoeksgebied ligt, regionaal geologisch gezien in een tektonisch laag gelegen gebied, de Venlo slenk. Deze slenk wordt in het westen begrensd door de Graven breuk en in het oosten door de Grensbreuk [Wijers, 1989]. Binnen de Venlo slenk zijn, met behulp van geo-elektrisch en stratigrafisch onderzoek een aantal verschuivingen aangetoond. De lokale verschuivingen zijn van onderaf tot in de Formaties van Peize en Waalre aanwezig. De jongere formaties zijn niet zichtbaar beïnvloed door de verschuiving.

De oudste afzettingen die nog van belang zijn voor de grondwaterstroming zijn van Tertiaire ouderdom. Het gaat hierbij ondermeer om de slechtdoorlatende mariene zanden en kleien van de Formaties van Breda en Oosterhout. Afhankelijk van de tektonische positie ligt de bovenzijde van deze formaties op een diepte van circa NAP -100 m in het noordwesten tot NAP -30 m in het zuidoosten van het onderzoeksgebied. Boven deze Formaties worden sterk van samenstelling wisselende afzettingen van de Kiezeloölietformatie aangetroffen. Afhankelijk van de tektonische positie ligt de bovenkant van de Kiezeloölietformatie tussen NAP -45 m en NAP -17 m en heeft een dikte van ongeveer 20 m in het onderzoeksgebied.

In het Kwartair vindt fluviatiele afzetting plaats door Rijn en Maas. In de opeenvolgende warme en koude perioden zetten deze rivieren pakketten af die, wat betreft samenstelling wisselen van klei tot zeer grof zand en grind. Deze afzettingen behoren tot de Formaties van Tegelen, Kedichem, Sterksel, Veghel en Urk. Op basis van de geogenese zijn in het onderzoeksgebied twee deelgebieden te onderscheiden: (1) het stuwwalgebied en (2) het rivierengebied.

1. Het stuwwal- en tongbekkengebied

De in paragraaf 2.1 beschreven hoogteverschillen zijn een gevolg van stuwing door landijs in de voorlaatste ijstijd. De stuwwal van Nijmegen en het tongbekken van Groesbeek zijn in deze tijd gevormd. De door de Rijn en Maas afgezette lagen zijn door de stuwing van het landijs scheefgesteld. De stuwwal bij Nijmegen bevat voornamelijk fluviatiele zanden en kleien uit de Formaties van Enschede, Sterksel, Veghel en Urk. Het gestuwde pakket reikt van circa NAP -15 m tot het maaiveld dat plaatselijk tot maximaal NAP + 96 m reikt. Doordat de stuwwal vanuit zowel het noorden als het oosten is gestuwd zijn de stuwingsverschijnselen zeer complex. Bij het periodiek afsmelten van het ijs stroomde het smeltwater over de stuwwal heen, waarbij materiaal van de stuwwal werd meegevoerd en tot enkele kilometers westwaarts afgezet. De dikte van deze fluvioglaciale afzetting (sandr vlakke) neemt in oostelijke richting (richting stuwwal) toe tot ongeveer 30 m. Het gelaagde pakket bestaat uit grof en fijn zand afgewisseld met veel grindbandjes. De ijsbedekking ging tevens gepaard met de vorming van een grondmorene (keileem). In het bekken van Groesbeek (waar de ijstong heeft gelegen) zijn deze grondmorenen bedekt met een dikke laag smeltwaterafzettingen, die het bekken voor een deel hebben opgevuld. De

grondmorene en fluvioglaciale materiaal worden gerekend tot de Formatie van Drente.

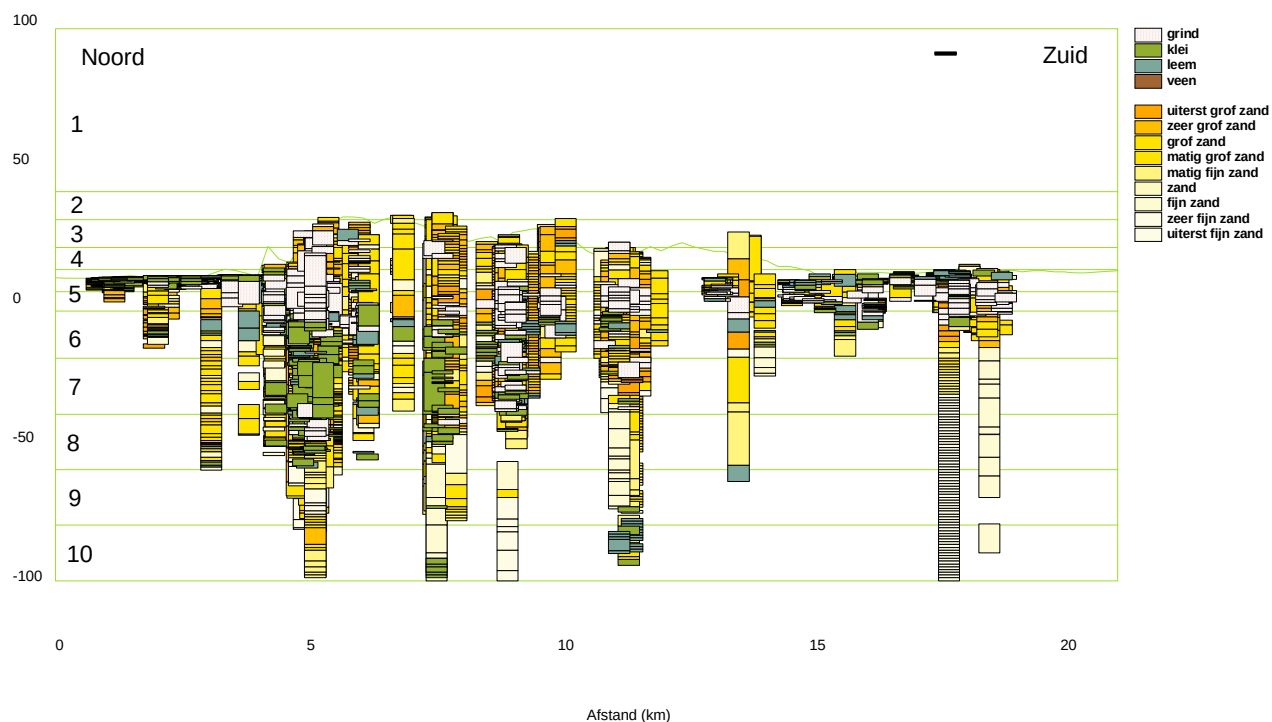
In de laatste ijstijd, het Weichselien, heersten er in Nederland periglaciale omstandigheden. Door de met dit klimaat gepaard gaande permafrost kon het in de lente vrijkomende smeltwater niet wegzakken, en stroomde oppervlakkig af. Door de oppervlakkige afstroming schuurden in de stuwwal talrijke dalen uit. In het midden van het Weichselien veranderde het landschap in een poolwoestijn. Met westelijke en noordwestelijke winden werden grote hoeveelheden zand en löss afgezet. In het bekken van Groesbeek en in de luwte van de stuwwal werd een min of meer aaneengesloten lössdek gevormd. De dekzanden en lösspakketten behoren tot de Formatie van Twente. De Rijn vertoonde in deze periode een “vervlechtend” stromingspatroon. Eén tak bleef tot aan het einde van het Weichselien in het dal van de huidige Niers stromen en ondergroef de zuidkant van de stuwwal. Waarschijnlijk is de steile noordoostflank van de stuwwal op een vergelijkbare manier ontstaan.

2. Rivierengebied

In het onderzoeksgebied zijn de fluviatiele pleistocene afzettingen voornamelijk afkomstig van de voorlopers van Rijn en Maas. Na het verdwijnen van het landijs hebben de rivieren zowel uiterst grofzandige en grindige afzettingen gevormd (Formatie van Kreftenheye), als afzettingen bestaand uit matig fijn zand en klei (Betuwe Formatie). Het rivierengebied rond Nijmegen is op te delen in een drietal deelgebieden; het jonge rivierkleigebied; het oude rivierkleigebied en het rivierduingebied. In het jonge rivierkleigebied (noorden en zuidwesten van het onderzoeksgebied) worden de Pleistocene rivierafzettingen bedekt door fluviatiele afzettingen uit het Holocene. De afzettingen vertonen een karakteristiek patroon van stroomgordel- en komafzettingen. De stroomgordelafzettingen bestaan uit zand, kleilig zand en zandige klei. De komafzettingen bestaan merendeels uit zware kalkloze kleien. De totale dikte van de Holocene rivierafzettingen bedraagt in het algemeen niet meer dan 3 meter.

De oude rivierkleigebieden (gebied ten zuiden van de stuwwal, ten westen van Cuijk en tussen Wijchen en het Maas-Waalkanaal) bestaan uit pleistocene rivierafzettingen, behorend tot de Formatie van Kreftenheye, vrijwel zonder bedekking met jongere afzettingen. Uit de afzetting komt naar voren dat de rivieren aan het einde van het Pleistoceen een vlechtend karakter hadden. De afzettingen bestaan onderin uit grof zand en grind en worden bedekt door een maximaal één meter dikke laag oude rivierklei of leem.

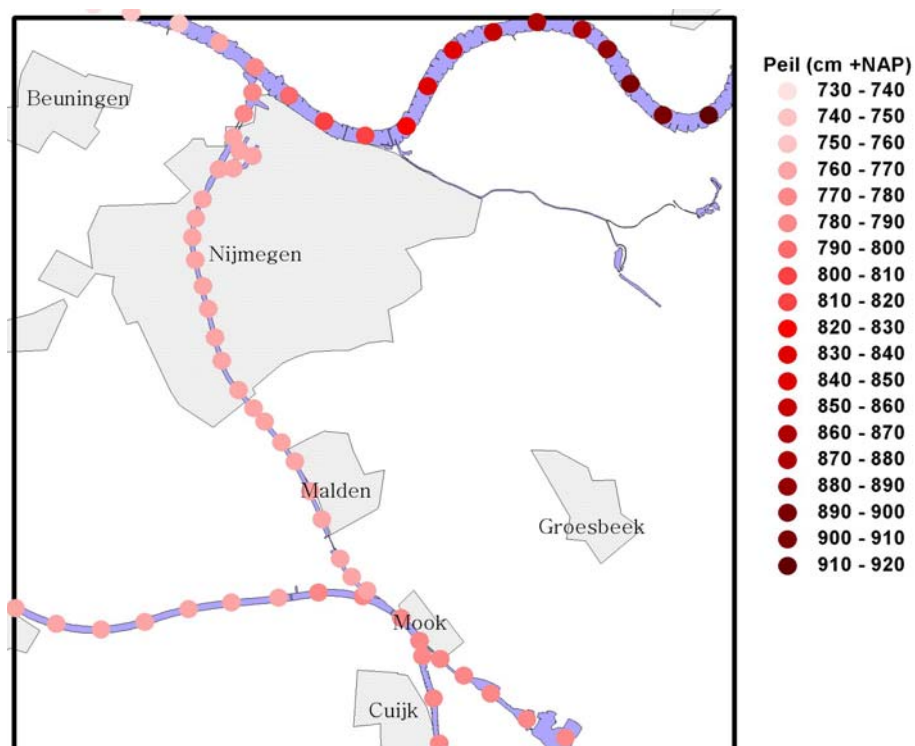
De rivierduingebieden (gebied rond de Hatertse vennen) zijn ontstaan doordat westelijke winden vanuit de regelmatig droogliggende rivierbeddingen van de vervlechtende Maas zandig materiaal opnam en langs de oostelijke oever deponeerde. In het Holocene zijn deze zanden nog enkele malen verstoven waardoor een onregelmatig stuifzandreliëf ontstaan. De afzettingen worden voornamelijk gerekend tot de Formatie van Twente



Figuur 2 Dwarsprofiel van alle beschikbare boorbeschrijvingen binnen het modelgebied, geprojecteerd langs de NW – ZO as. De cijfers aan de rechterkant corresponderen met de modellen.(Zie ook Bijlagen II en III)

2.3 Oppervlaktewater in het modelgebied

De belangrijkste oppervlaktewateren in relatie tot het onderwerp van deze studie zijn de Waal en de Maas. Het Maas- Waalkanaal is van belang voorzover er infiltratie optreedt. De mate waarin dit plaatsvindt, is niet goed bekend. De rivieren snijden voor het overgrote deel van het onderzoeksgebied het eerste watervoerende pakket aan. Vooral het peil van de Waal blijkt een relatief grote invloed te hebben op de grondwaterstand in het onderzoeksgebied. In het Maas-Waalkanaal wordt een vrij constant peil aangehouden van ongeveer NAP + 7,70 m. De gemiddelde rivierpeilen zijn afgeleid van de betrekkingenlijnen voor Waal en Maas. In Figuur 3 zijn de gemiddelde rivierpeilen weergegeven



Figuur 3 Gemiddelde rivierpeilen binnen het modelgebied (betrekkingslijn 1991.0)

Naast de rivieren zijn er in het onderzoeksgebied een aantal meren en plassen aanwezig. Het gaat hierbij om ondermeer om ontgravingen, afgesloten rivierarmen en enkele wielen. De Mookerplas aan de zuidrand van de stuwwal en het Wijlmermeer aan de noordoost-rand van de stuwwal zijn de belangrijkste meren in het onderzoeksgebied.

Beken en sprengen worden overwegend aangetroffen ten oosten en ten zuiden van de stuwwal. In het stroomgebied rondom Groesbeek wordt de aanvoer van water vooral gevormd door kwel vanuit de stuwwal. De stromingsrichting van de beken is hier voornamelijk noordoostelijk. De beken en sprengen ten zuiden van de stuwwal worden eveneens gevoed door kwel vanuit de stuwwal. De beken en sprengen in dit deel van het gebied hebben een overwegend westelijke stromingsrichting.

2.4 Geohydrologie

In het modelgebied komen twee slechtdoorlatende lagen voor die van belang zijn voor pompstation Heumensoord. Het gaat hierbij om een deklaag en een scheidende laag. De deklaag bestaat in het rivierengebied uit klei en in het bekken van Groesbeek uit plaatselijk uit löss, in het gestuwde gebied is de deklaag afwezig. De scheidende laag wordt, in het bekken van Groesbeek, gevormd door keileem van de Formatie van Drente en door kleien behorende tot de Formatie van Kedichem in het rivierengebied. Er wordt aangenomen dat in de gestuwde gebieden geen aaneengesloten scheidende laag aanwezig is. De dikte van de scheidende laag varieert van enkele meters tot meer dan 10 meter. In het noordoosten bereikt de scheidende laag een dikte van 40

meter. De weerstand van de laag wordt geschat op ongeveer 1000 dagen per meter.

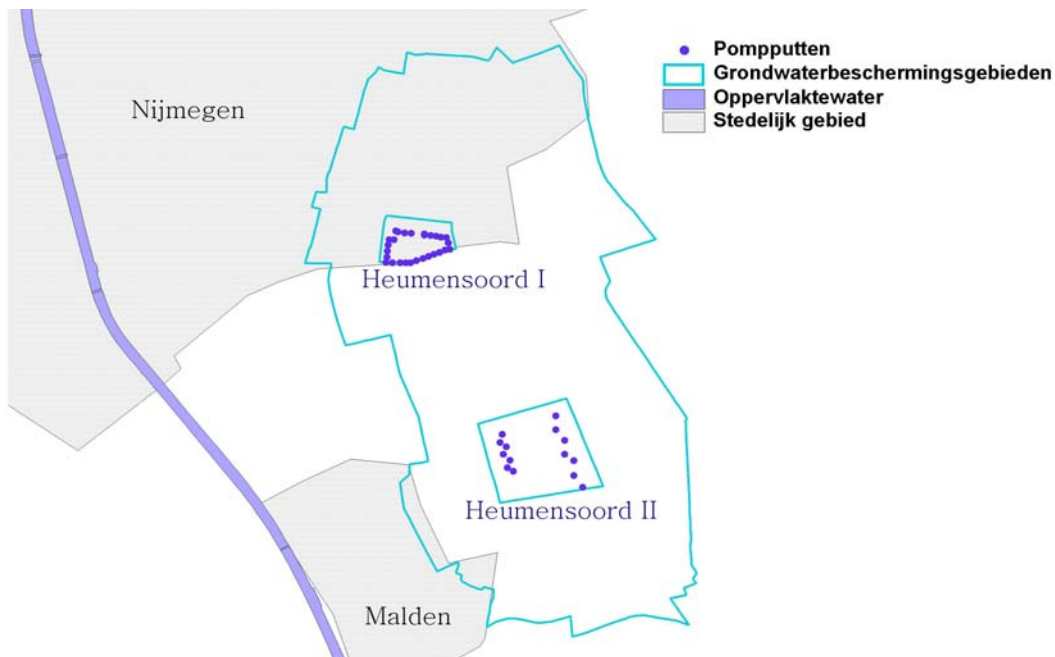
Het bovenste watervoerende pakket wordt in het stuwwalgebied gevormd door overwegend gestuwde zandige rivierafzettingen, waarin discontinue, meestal dunne klei- en leemlagen voorkomen. De dikte bedraagt in de slenk van Nijmegen ongeveer 40 tot 55 meter. Op tektonisch hoog gelegen gebieden bedraagt de dikte circa 25 meter. De grootste dikte wordt aangetroffen in het noordwesten (ca 75 meter) en onder de stuwwal in het noordoosten (ca 80 meter). In het rivierengebied bestaat het bovenste watervoerende pakket hoofdzakelijk uit grofzandige rivierafzettingen. De dikte van dit pakket varieert van 30 meter in het noordoosten tot 20 meter in het overige deel van het rivierengebied.

Het onderste watervoerende pakket wordt gevormd door de laag tussen de scheidende laag en de hydrologische basis. Het doorlaatvermogen van dit pakket is 1500-2500 m²/d. Waar geen scheidende laag aanwezig is (bijvoorbeeld bij Heumensoord) vormen het eerste en tweede watervoerende pakket een geheel. Het doorlaatvermogen van het totale watervoerende pakket bedraagt 2500-4500 m²/d.

De geohydrologische basis wordt gevormd door de bovenzijde van de Formatie van Breda op een diepte van NAP -50 tot NAP -100m.

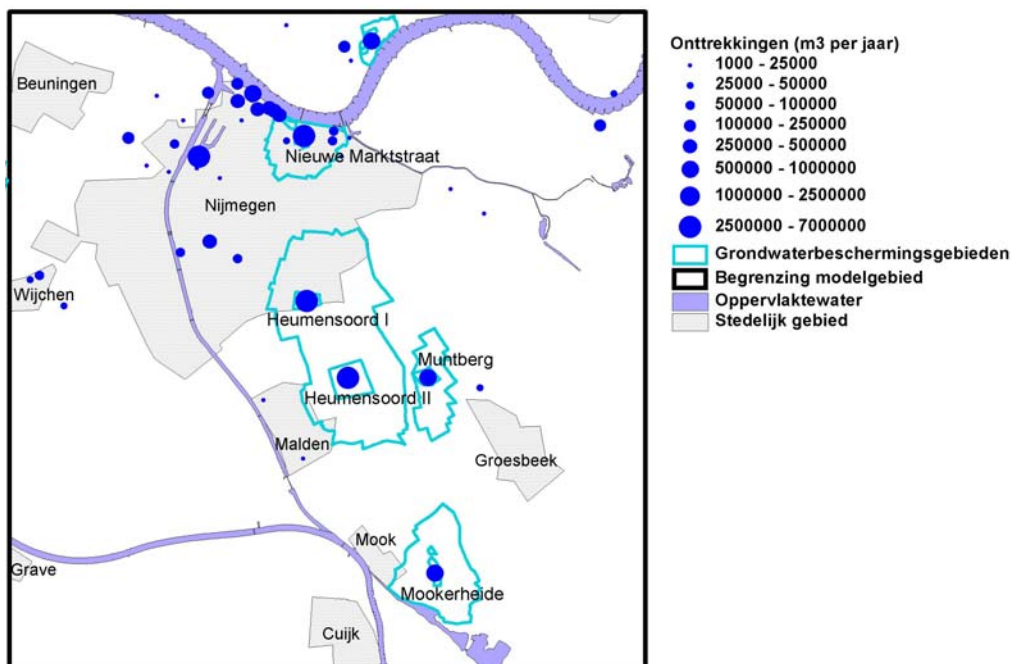
2.5 Pompstations en onttrekkingsgegevens

Pompstation Heumensoord bestaat uit twee locaties: Heumensoord I en Heumensoord II. Het grondwater bij pompstation Heumensoord I wordt met 28 putten onttrokken op een diepte van NAP -1,5 meter tot NAP -50 meter. Bij Heumensoord II wordt momenteel met 14 putten onttrokken op een diepte van NAP +3 meter tot NAP - 32,6 meter. In eerste instantie bestond Heumensoord II uit 7 putten. In 1997 zijn oostelijk van de oorspronkelijke rij putten 7 putten bijgeplaatst. De totale onttrekkingshoeveelheid over de periode 1994-2005 bedroeg gemiddeld bijna 9,5 miljoen m³/jaar. Hiervan wordt ongeveer 73% op locatie Heumensoord I onttrokken en 27% op locatie Heumensoord II. In Figuur 4 is de locatie van de pompputten op pompstation Heumensoord weergegeven. Duidelijk is het verschil in type intrekgebied te zien, Heumensoord I heeft een voor een groot deel stedelijk intrekgebied terwijl Heumensoord II vooral een landelijk intrekgebied heeft.

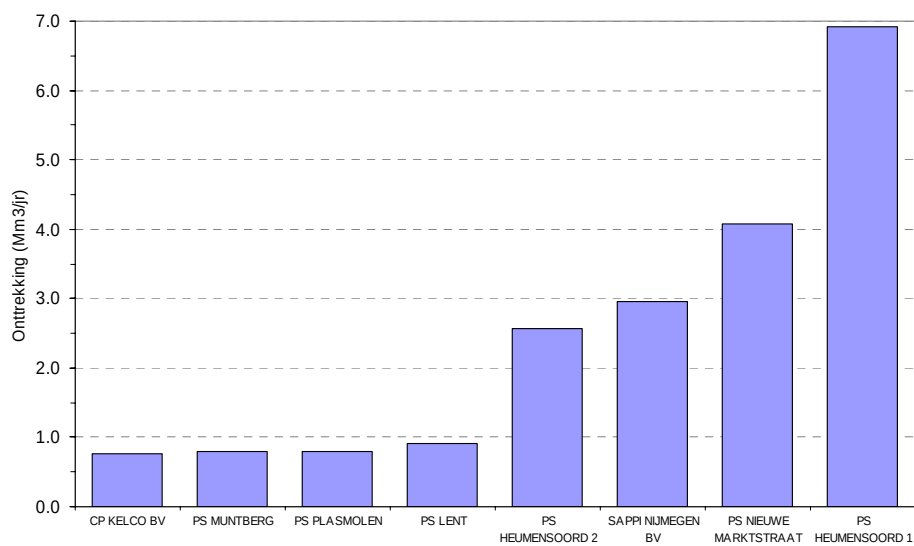


Figuur 4 Locatie van de onttrekkingsputten van pompstation Heumensoord I

Naast de beide onttrekkingen van pompstation Heumensoord zijn er in het modelgebied nog 46 onttrekkingen, met een gemiddeld debiet over de periode 1995-2004 groter dan 1000 m³/j, aanwezig. Het gaat hierbij om zowel drinkwater winningen als om industriële winningen. In Figuur 5 is de ligging en de gemiddelde kwantiteit van de verschillende onttrekkingen weergegeven.



Figuur 5 Ligging en kwantiteit van de onttrekkingen (>1000 m³/j) binnen het modelgebied



Figuur 6 Onttrekkingshoeveelheden van de belangrijkste winningen in het modelgebied (periode 1995-2004)

De grootste onttrekkingen in het modelgebied zijn onttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Het gaat hierbij om de pompstations Heumensoord, Nieuwe marktstraat, Lent, Plasmolen (wingebied Mookerheide) en Muntberg. Een met ongeveer 3 miljoen m³/j grote industriële onttrekking (Sappi Nijmegen BV) is gelegen in het havengebied van Nijmegen.

Over de periode 1995-2004 is in het projectgebied gemiddeld ongeveer 24 miljoen m³ grondwater per jaar onttrokken. Het aandeel van de industriële winningen bedroeg hierbij een kleine 8 miljoen m³ per jaar.

3 Opzet en beschrijving van het hydrologisch model

3.1 Algemeen

De modellering is uitgevoerd met het pakket Modflow 2000 van de United States Geological Survey. Modflow is een eindig differentiemodel dat is ontwikkeld sinds 1984 [McDonald & Harbaugh, 1984]. Bij de calibratie van het model is gebruik gemaakt van een optimalisatieprogramma met genetisch algoritme [Vink en Schot, 2002]. Bij de modellering is gebruik gemaakt van het GIS programma ArcView® voor het genereren van inputfiles en het weergeven van de resultaten.

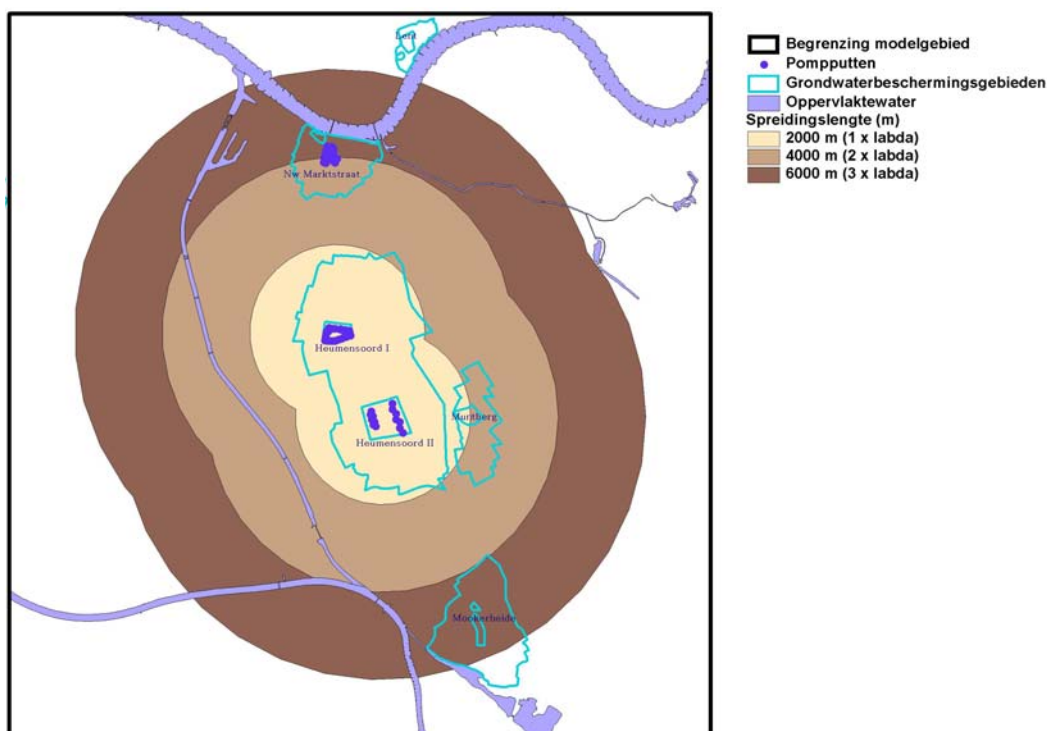
3.2 Afbakening modelgebied

De begrenzing van het modelgebied is vastgesteld door bestaande kaarten van het intrekgebied van pompstation Heumensoord te raadplegen en indicatieve berekeningen uit te voeren met een bekende vuistregel voor hydrologen die o.a. beschreven is door de bij Kiwa werkzame hydroloog C. Maas in het Nederlandse hydrologische tijdschrift Stromingen [Maas, 1996]: “Kies een modelrand verder weg dan $3 \sqrt{kDc}$ ”

In een rapport van het Rijksinstituut voor de Drinkwatervoorziening [RID, 1972] wordt een uitwerking van een pomp- en stopproef beschreven die bij de nabij Heumensoord gelegen winplaats Mookerheide is uitgevoerd. De resultaten van de berekeningen zijn :

- kD : 1000 m²d
- λ : 2000 m.
- c : 4000 d.

Dit betekent een afstand van de winning tot de modelrand van ongeveer $3 \times 2000 \text{ m} = 6000 \text{ m}$. Een model met de winning in het centrum dient dan een minimale lengte en breedte te hebben van ongeveer 12 km. Op basis van de resultaten van deze berekeningen en de gebiedseigenschappen is een modelgebied vastgesteld van 16,5 x 16,0 kilometer. Het modelgebied beslaat hiermee een oppervlak van 264 km². De begrenzing van het modelgebied is weergegeven in Figuur 7.



Figuur 7 Begrenzing van het modelgebied

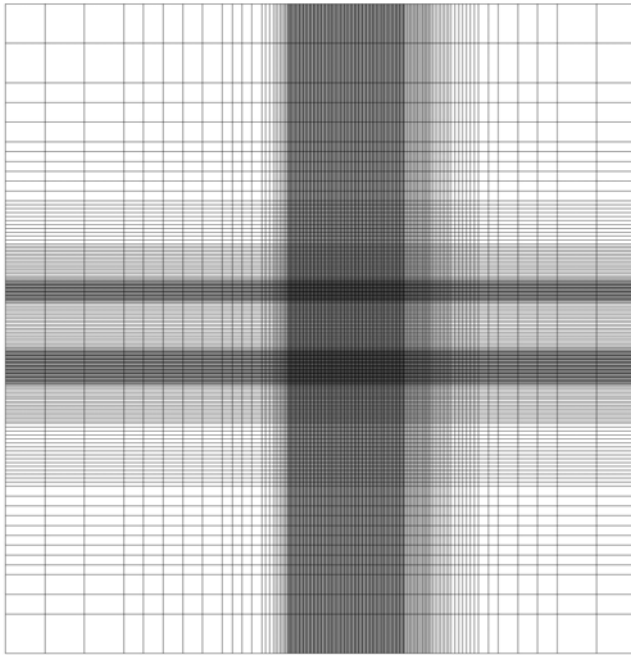
3.3 Netwerk

Bij het ontwerp van het netwerk is rekening gehouden met de doelstelling van de modellering en met de specifieke eisen die voortvloeien uit de modellering van grondwatertransport. Ter plaatse van het pompstation is een dicht netwerk aangebracht om met een grote ruimtelijke gedetailleerdheid te kunnen rekenen. De ruimere omgeving van de winplaats is met een minder gedetailleerd netwerk gemodelleerd, aangezien de doelstelling van de modelberekeningen primair gericht is op de grondwaterkwaliteit en niet op berekening van stijghoogten en verlagingen.

Grondwatertransportberekeningen vergen veel reken capaciteit en de gegevens die relevant zijn voor de modellering van grondwaterkwaliteit zijn in een beperkte mate van detail beschikbaar. De kenmerken van het netwerk zijn weergegeven in Tabel 1. Een kaart van het netwerk is weergegeven in Figuur 8.

Tabel 1 Kenmerken van het modelnetwerk

Netwerk	Lengte x breedte	Cellen per laag	Kleinste cellen (m)	Grootste cellen (m)
1	186*219	40734	20*20	1000*1000



Figuur 8 Netwerk van het model

3.4 Slechtdoorlatende lagen

De holocene kleiafzettingen in het rivierengebied en lössafzettingen in het bekken van Groesbeek kunnen beschouwd worden als de eerste slechtdoorlatende laag. In de gestuwde gebieden is deze laag echter grotendeels afwezig, ook in het intrekgebied van PS Heumensoord is deze laag afwezig. De tweede slechtdoorlatende laag wordt gevormd door keileem van de Formatie van Drenthe in het bekken van Groesbeek en kleien van de Formatie van Kedichem in het rivierengebied en is gelegen op een diepte van ca. NAP - 20 tot NAP- 40 m. +NAP. De dikte varieert van enkele meters tot plaatselijk 40 meter in het noordoosten van het gebied. Deze laag is onregelmatig afgezet, beïnvloed door stuwingsverschijnselen en op veel plaatsen in het modelgebied afwezig.

3.5 Watervoerende pakketten

Het eerste watervoerende pakket bestaat in het stuwwalgebied uit zand en grind van de Formaties van Drenthe, Veghel, Urk en Sterksel. Binnen de Formaties van Drenthe, Twente en Sterksel komen (meestal dunne) klei- en lemlagen voor. De gemiddelde dikte van dit deel van het eerste watervoerende pakket bedraagt circa 40 tot 55 m in de slenk van Nijmegen. De grootste dikte wordt aangetroffen in het noordwesten (circa 75 m) en onder de stuwwal. Op de tektonisch hoger gelegen gebieden bedraagt de dikte circa 25 m. In het rivierengebied wordt het eerste watervoerende pakket vooral gevormd door de Formatie van Kreftenheije en Drenthe. De dikte van dit pakket varieert van 30 m in het noordoosten tot 20 m in het overige deel van het rivierengebied.

Het tweede watervoerende pakket bestaat uit fijne zanden van de Kiezeloölietformatie, de Formaties van Oosterhout en de Formatie van Tegelen. De dikte van dit pakket varieert van ongeveer 3 tot 25 m. De opbrengst uit dit pakket is bij pompstation Heumensoord gering.

3.5.1 *Stuwingsverschijnselen*

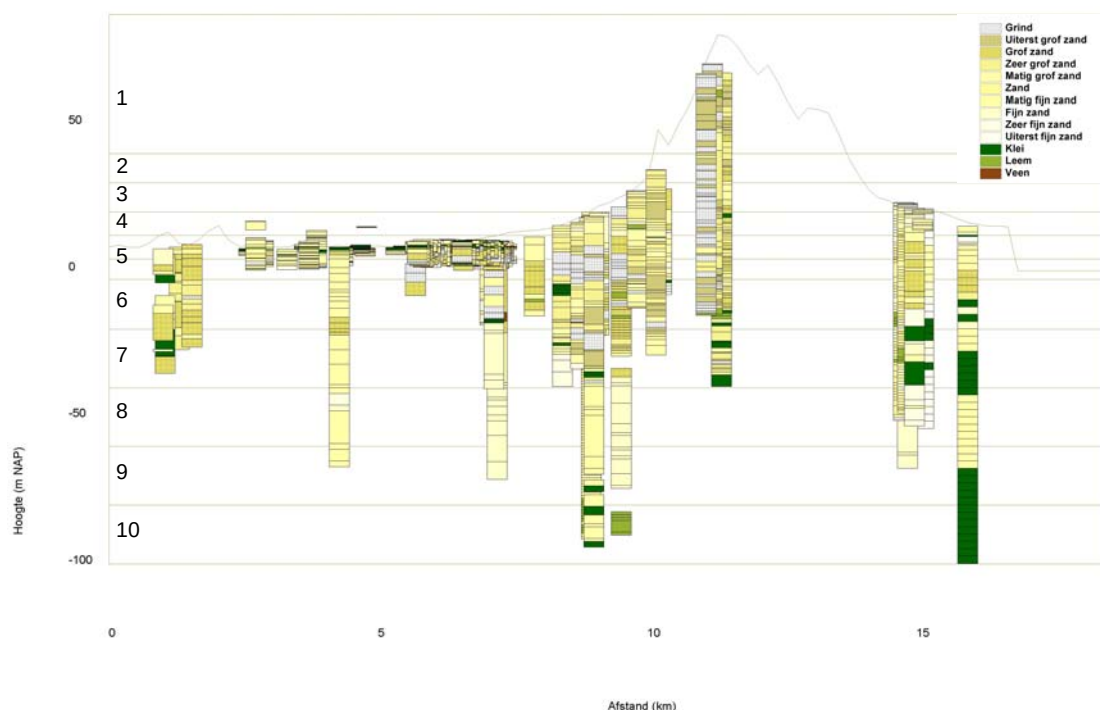
Als gevolg van de opstuwing van sedimenten door landijs tijdens de voorlaatste ijstijd komt in het stuwwalgebied een uitermate sterke variatie van de hydraulische bodemeigenschappen voor. De stuwing heeft scheefstelling, verkneding en verschubbing van afzettingen veroorzaakt. In de stuwwal worden naast gestuwde zandige en grindige pakketten ook scheefgestelde klei en leemlagen tot enkele meters dikte aangetroffen. De horizontale weerstand van deze lagen is in eerdere studies ingeschat op 10.000 dagen. Door deze lagen komen lokaal zeer grote hydraulische gradiënten voor. De globale ligging van de barrière is afgeleid uit het stijghoogtepatroon, en is amen met de hydraulische eigenschappen zijn verfijnd bij de calibratie.

3.5.2 *Verticale discretisatie*

Bij de verticale discretisatie van het modelgebied kan worden gekozen voor twee verschillende concepten. De klassieke methode bestaat uit het toepassen van een onregelmatig netwerk in de verticaal, waarbij de dikte van de cellagen varieert en overeenkomt met de lithologische stratigrafie. Wanneer sprake is van in dikte variërende afzettingen dan varieert de dikte van modellagen navenant. Iedere cel vertegenwoordigt bij het klassieke concept slechts eigenschappen van één geohydrologische formatie. Deze methode was vooral in het pre-GIS tijdperk praktisch en efficiënt, hoewel de vervorming van de gridcellen een (meestal) kleine foutenbron introduceert (McDonald en Harbaugh 1984, blz. 54). Bij het tweede concept worden cellen met een uniforme dikte per modellaag toegepast. Het tweede concept is tegenwoordig even goed toepasbaar als de klassieke discretisatiemethode dankzij de sterke toename van de rekenkracht van computers en de integratie van geografische informatiesystemen met numerieke grondwatermodellen. Voor het onderhavige grondwatermodel is het tweede concept toegepast, omdat deze methode het mogelijk maakt om ruimtelijke heterogeniteit effectief te modelleren, zonder toepassing van onregelmatige, sterk in dikte variërende lagen. De kans op waterbalansfouten in de transportberekeningen is daardoor veel kleiner. In Tabel 2 is de verticale discretisatie van het model weergegeven en de overwegingen die tot deze schematisatie hebben geleid. In Figuur 9 zijn de geohydrologische schematisatie van het gebied en de laagopbouw van het model weergegeven.

Tabel 2 Definitie modellagen.

Hoogte bovenkant laag (m +NAP)	laag nr.	Lithologie/geologie	Motivatie
variabel	1	Gestuwde afzettingen	Maximale stijghoogte (freatische laag)
30	2	Gestuwde afzettingen en sandr afzettingen	Scheefgestelde kleilagen in stuwwal
20	3	Dekzanden en sandrafzettingen	Deklaag omgeving P.S. Heumensoord
12	4	Deklaag rivierengebied	Kleidek in het rivierengebied
4	5	Grind en grove zanden	1 ^e watervoerende pakket rivierengebied
-3	6	Matig grove tot grove zanden lokaal grind	Dieptetraject van de pompputfilters van PS Heumensoord
-20	7	Grove tot matig fijne zanden, in oostelijke deel grondmorene kleiafzettingen (Formatie van Drenthe)	Dieptetraject van de pompputfilters van PS Heumensoord
-40	8	Formatie van Breda / Kiezeloöliet Formatie en Formatie van Tegelen	Verschuivingen van lagen
-60	9	Formatie van Breda / Kiezeloöliet Formatie en Formatie van Tegelen	Verschuivingen van lagen
-80	10	In zuidelijk deel zeer fijne zanden en klei (Formatie van Breda / Oosterhout) in noordelijk deel matig grove zanden van de Kiezeloöliet Formatie	Verschuivingen van lagen
-100	Basis	Formatie van Breda/Oosterhout	Hydrologische basis



Figuur 9 Oost-west doorsnede over Heumensoord II. In de figuur is zowel de lithologie (op basis van boorbeschrijvingen) als de in Tabel 2 beschreven modellagen weergegeven.

3.5.3 Toekenning van bodemparameters aan de modellagen

De initiële toekenning van de hydraulische bodemeigenschappen aan de verschillende modellagen is uitgevoerd op basis van een koppeling van de beschikbare boorbeschrijvingen binnen het modelgebied aan hydraulische eigenschappen. In Tabel 3 zijn de waarden van de doorlaatfactoren per lithologische klasse weergegeven. Deze waarden zijn gebaseerd op publicaties van Driscoll 1987, Todd 1980, Weerts 1996, Wilson 1983 en Van Lanen, 2002. De aldus berekende doorlaatfactoren zijn toegekend aan de verschillende modellagen en geïnterpoleerd in het horizontale vlak. Bij de calibratie zijn de initiële waarden geoptimaliseerd.

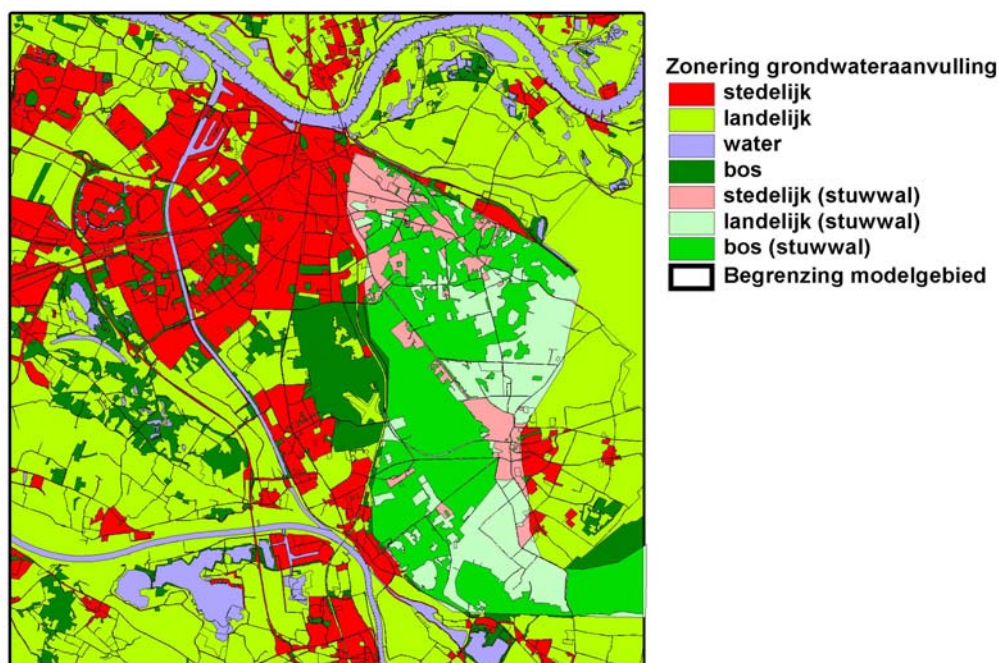
Tabel 3 Initiële doorlaatfactoren per bodemklasse

k horizontaal (m/d)	k verticaal (m/d)	Porositeit (-)	Omschrijving
1	0.05	0.2	zeer fijn zand (<150)
2.5	0.5	0.3	fijn zand (150-200)
10	5	0.3	zand
25	25	0.35	grof zand (201-300)
50	50	0.35	zeer grof zand (>300)
100	100	0.4	grind
0.001	0.001	0.05	klei
0.05	0.005	0.1	leem
0.05	0.01	0.35	veen
5	5	0.05	mergel
100	40	0.4	stenen/keien/vuursteen
5	5	0.05	kalksteen
5	5	0.05	zandsteen
5	5	0.05	bruinkool
10	5	0.3	hout
0.05	0.01	0.35	gyttja
2.5	0.5	0.3	glauconietzand
5	5	0.05	schalie
5	5	0.05	schelpen
5	5	0.05	moeraskalk

3.6 Topsysteem

3.6.1 Grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling vindt plaats door infiltratie van het neerslagoverschot en door infiltratie van rivierwater. Voor het bepalen van de grondwateraanvulling is het projectgebied opgedeeld in stedelijk gebied, landelijk gebied en bos. In het stedelijke gebied zal door het hoge percentage verhard oppervlak, slechts een beperkt deel van de neerslag infiltreren. Op basis hiervan is in het stedelijke gebied 35% van de netto neerslag aan de grondwateraanvulling toegekend. Voor het landelijk gebied is uitgegaan van een gewasfactor van 1,0 ten opzichte van de Makkink referentiegewas verdamping. De bossen rond Nijmegen bestaan voornamelijk uit loofbos met percelen naaldbos. De gewasfactor is voor het bos op 1,1 gezet. Gezien de grote verschillen in dikte van de onverzadigde zone is onderscheid gemaakt tussen het stuwwalgebied en het overige deel van het projectgebied. In het stuwwalgebied wordt bij het hanteren van de bovenstaande gewasfactoren de verdamping overschat en de grondwateraanvulling onderschat, omdat het optredende vochttekort niet wordt verdisconteerd. Om deze reden zijn de gewasfactoren in het stuwwalgebied met 10% gereduceerd. In Figuur 10 is het voor de bepaling van de grondwateraanvulling geschematiseerde landgebruik weergegeven. In Tabel 4 is per landgebruiksklasse het oppervlakte en het percentage van het totale modelgebied weergegeven.



Figuur 10 Schematisatie landgebruik ten behoeve van grondwateraanvulling

Tabel 4 Oppervlak per grondgebruikklasse in het modelgebied

Grondgebruikklasse	Oppervlakte (ha)	Percentage (%)
Stedelijk	5418	20,5
Landelijk	11991	45,4
Water	1863	7,1
Bos	2342	8,9
Stedelijk (stuwwal)	705	2,7
Landelijk (stuwwal)	1522	5,8
Bos (stuwwal)	2574	9,7
Totaal	26415	100

Voor de berekening van de grondwateraanvulling is gebruik gemaakt van neerslagcijfers van de neerslagstations Nijmegen en Heumen over de periode 1995-2004. Voor de verdampingscijfers is gebruik gemaakt van meetreeksen van de meteostations Volkel en Arcen. In Tabel 5 zijn de waarden gemiddeld over de periode 1995-2004 weergegeven.

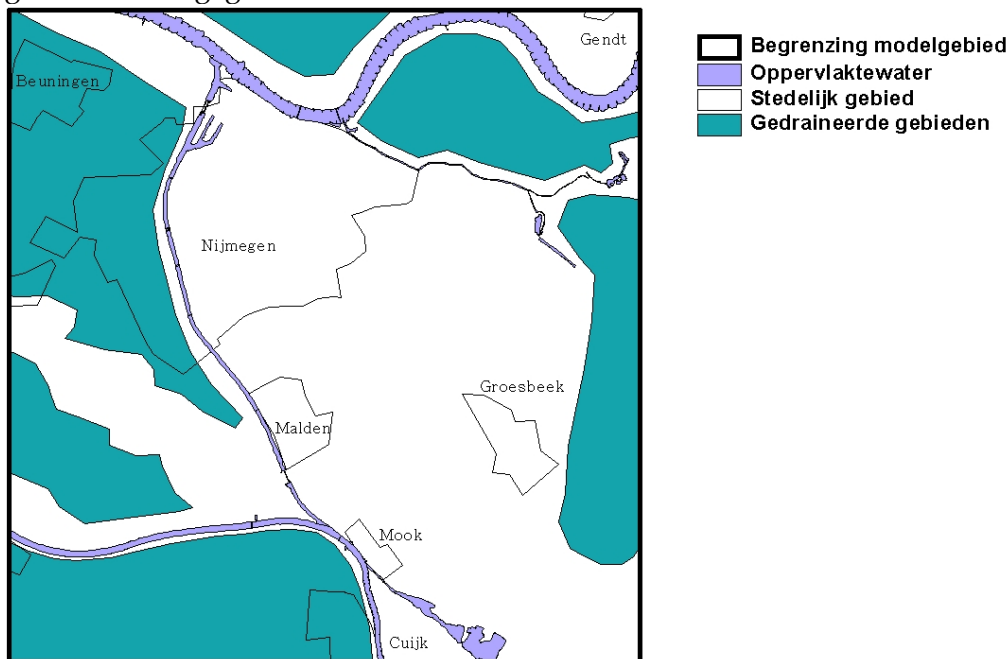
Tabel 5 Grondwateraanvulling

	Neerslag (mm/j)	Referentiegewas verdamping (mm/j)	Cropfactor (-)	Potentiële verdamping (mm/j)	Grondwater aanvulling (mm/j)
Stedelijk	813	590	1,00	590	78*
Landelijk	813	590	1,00	590	223
Bos	813	590	1,10	649	164
Stedelijk (stuwwal)	813	590	1,00	590	78*
Landelijk (stuwwal)	813	590	0,90	531	282
Bos (stuwwal)	813	590	0,99	584	229

*Grondwateraanvulling = 0,35 * netto neerslag

3.6.2 Drainage

In de lage delen van het modelgebied (polders rivierengebied) bevindt zich een vrij intensief ontwateringstelsel bestaande uit sloten, greppels en drains. Ook in het bekken van Groesbeek zijn ontwateringsmiddelen in de vorm van sloten en beekjes. Voor het doel van deze studie voert het te ver om al deze sloten en beekjes afzonderlijk in het model mee te nemen. In plaats daarvan is voor de betreffende gebieden een vlakdekkend drainageniveau aangenomen. Voor de gemiddelde ontwateringsdiepte is een waarde van 1 meter beneden maaiveld aangenomen. In Figuur 11 is de ligging van de gedraineerde gebieden weergegeven



Figuur 11 Ligging gedraineerde gebieden

3.7 Onttrekkingen tijdens de calibratieperiode

De gegevens die betrekking hebben op de onttrekkingen zijn ontleend aan verschillende gegevensbronnen: Vitens (1), Waterleidingmaatschappij Limburg (2) en de Provincie Gelderland (3). Alle onttrekkingen in het modelgebied met een gemiddeld debiet van meer dan 1000 m³/j over de calibratieperiode zijn verwerkt in het model (zie paragraaf 2.5). Voor de periode 1995 – 2004 is de gemiddelde onttrekkingshoeveelheid ongeveer 24 miljoen m³/jaar. Ongeveer 68% van deze hoeveelheid is onttrokken ten behoeve van de drinkwatervoorziening. De onttrekkingen kunnen onderverdeeld worden in 4 categorieën:

- Onttrekkingen pompstation Heumensoord I (Vitens)
- Onttrekkingen pompstation Heumensoord II (Vitens)
- Onttrekkingen pompstation Nieuwe marktstraat (Vitens)
- Overige onttrekkingen (industriële onttrekkingen en de drinkwaterpompstations Lent, Muntberg en Plasmolen)

In bijlage I zijn de gemiddelde onttrekkingen die zijn verwerkt in het model weergegeven. De negatieve waarden in Bijlage I hebben betrekking op onttrekkingen. De verdeling van de debieten over de verschillende pompputten voor de puttenvelden Heumensoord I en II en pompstation Nieuwe Marktstraat is niet goed bekend en niet nader uitgezocht. Het totale debiet per puttenveld is gelijkmatig verdeeld over alle aanwezige pompputten. De onttrekkingsgegevens van de pompstations Heumensoord en Nieuwe Marktstraat zijn gebaseerd op de gegevens van Vitens. De onttrekkingsgegevens van pompstation Plasmolen zijn gebaseerd op gegevens van Waterleidingmaatschappij Limburg. De onttrekkingsgegevens van de overige onttrekkingen is gebaseerd op gegevens van de provincie Gelderland. Een overzicht van de onttrekkingen tijdens de calibratie periode is weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 Gemiddelde onttrekkingen over de calibratieperiode

Gemiddelde onttrekkingen 1995-2004	Q (Mm³/j)
PS Heumensoord I	6,9
PS Heumensoord II	2,6
PS Nieuwe Marktstraat	4,1
Overige onttrekkingen	10,2
Totaal	23,8

3.8 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden voor de modelranden zijn gedefinieerd als vaste stijghoogten. Deze stijghoogten zijn berekend op basis van de beschikbare peilbuisgegevens uit DINO, het gegevensbestand dat wordt beheerd door TNO. In totaal zijn 298 stijghoogte- gemiddelden gebruikt voor de berekening van startwaarden en stijghoogten aan de modelranden. Voor de berekening van de stijghoogten langs de randen van het model is eerst bepaald welke modellaag correspondeert met de diepte waarop de filters zich bevinden en op welke locaties stijghoogteverschillen optreden in de verticaal. Vervolgens zijn per modellaag gegevenssets gedefinieerd en zijn de stijghoogten op de knooppunten van de modelcellen met interpolatie berekend.

3.9 Referentiegegevens van de stijghoogte voor de calibratie

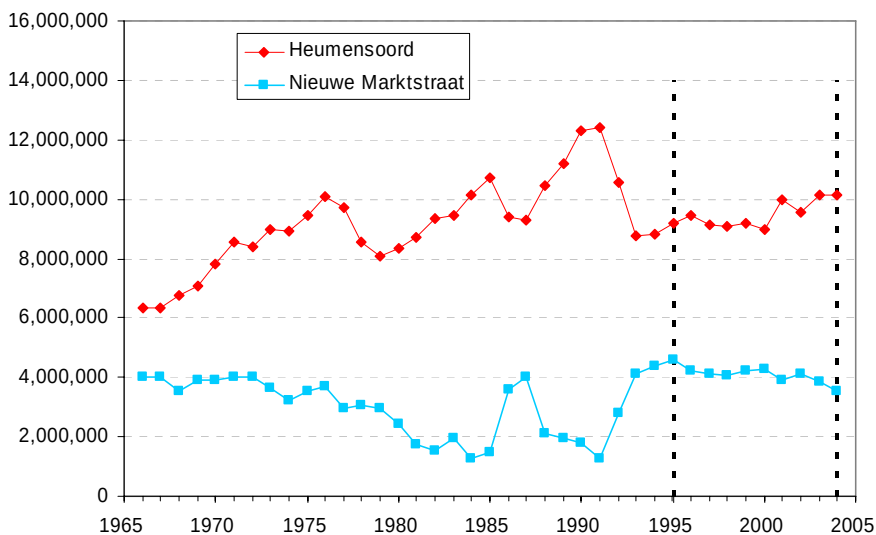
De referentiegegevens voor de stijghoogten zijn geselecteerd uit de gegevensverzameling van stijghoogten die is gebruikt voor de berekening van de startwaarden. De waarnemingspunten buiten het modelgebied zijn verwijderd, evenals de punten op locaties waar in het model een vaste stijghoogten is gedefinieerd. Ook de toekenning van de filters aan de modellen is minder ruimhartig gebeurd dan bij de vaststelling van de stijghoogten aan de rand van het model en uitsluitend toegekend aan de modellaag die daadwerkelijk overeenkomt met de filterstelling. In totaal zijn 266 stijghoogtegemiddelden gebruikt bij de calibratie.

4 Calibratie

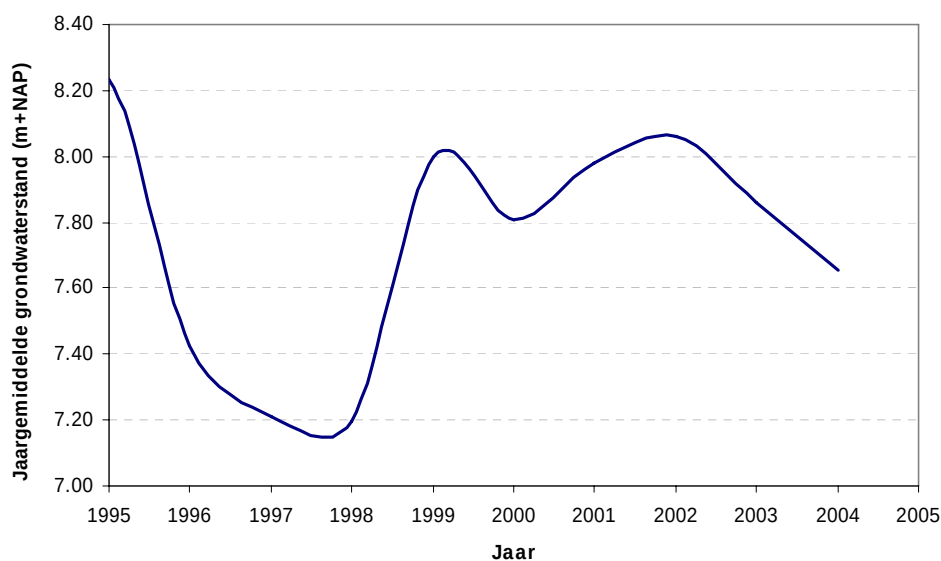
4.1 Stationaire calibratie

4.1.1 Keuze rekenperiode voor de calibratie van het stationaire model

Voor de keuze van de eerste calibratieperiode is gekeken naar de beschikbaarheid van gegevens en de variabiliteit van de onttrekking van pompstation Heumensoord en Nieuwe marktstraat (zie Figuur 12), dit omdat er voor 1995 vrij veel capaciteitsverschuivingen zijn geweest tussen Nieuwe marktstraat en Heumensoord. Omdat de onttrekking van beide pompstations vanaf 1995 vrijwel constant is geweest is voor de calibratie voor deze periode gekozen.



Figuur 12 Verloop van de gemiddelde jaaronttrekking over de tijd voor de pompstations Heumensoord en Nieuwe marktstraat.



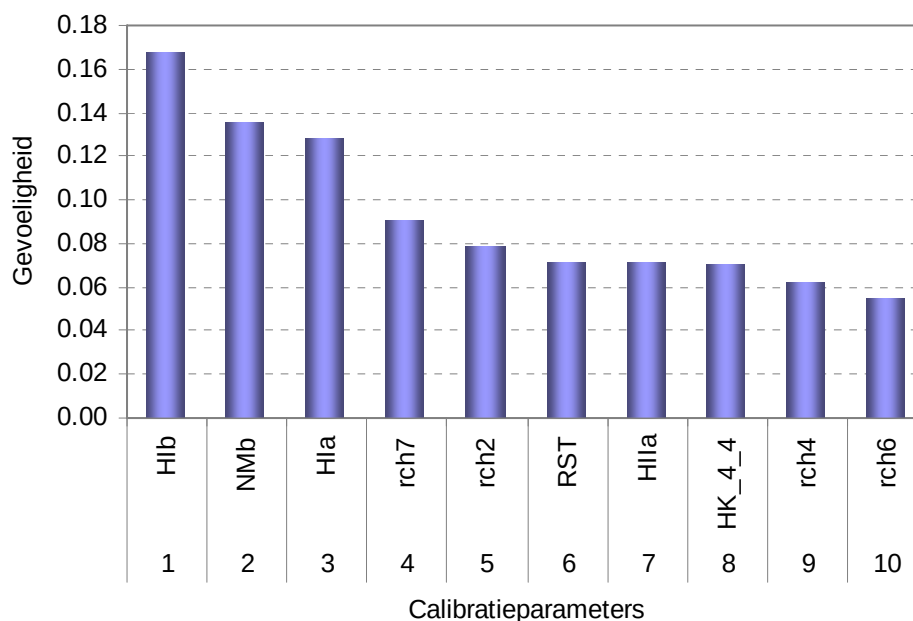
Figuur 13 Jaargemiddelde stijghoogten in de nabij Heumensoord I gelegen peilbuis B40C0476

Qua grondwateraanvulling zijn echter wel onderlinge verschillen tussen de jaren aanwezig. De jaren 1995 tot 1997 waren relatief droog terwijl 1998 een relatief nat jaar was. Dit heeft uiteraard gevolgen voor de stijghoogten zoals te zien is in Figuur 13. Voor de calibratie zijn de tijdsafhankelijke gegevens over de betreffende periode gemiddeld en is aangenomen dat veranderingen van de berging beperkt zijn gebleven.

4.1.2 Gevoeligheidsanalyse

Met een aparte module van Modflow 2000 is een gevoeligheidsanalyse voor de belangrijkste groepen van modelparameters uitgevoerd. De gevoeligheid van het model voor een parameter is gedefinieerd als de relatieve mate waarin het gewogen verschil tussen de berekende en de waargenomen stijghoogte ter plaatse van de referentiepunten wordt beïnvloed door een verandering van die parameter. De wijze waarop de gewichten zijn berekend is beschreven in paragraaf 4.1.3. Daarbij is de mate waarin een parameter wordt veranderd bij de gevoeligheidsanalyse gekoppeld aan het toegestane calibratie-interval dat die parameter is toegekend. De toekenning van de grenswaarden van de intervallen is gebaseerd op 'expert judgement' en varieert voor de onderzochte parameters tussen minimaal 0.001 en maximaal 10 bij een verwachtingswaarde van 1 van de initiële waarde. De parameters zijn factoren waarmee de initiële verwachtingswaarde wordt vermenigvuldigd. Naarmate de waarden van een parameter onzekerder zijn is een groter interval toegekend. Grote intervallen zijn vooral nodig voor de calibratie van bodemgerelateerde parameters die in het gestuwde gebied zeer sterk kunnen variëren. De toegepaste calibratie-intervallen per parameter zijn weergegeven in bijlage VIII. De gevoeligheid van de modelresultaten is berekend voor alle gehanteerde calibratieparameters. In bijlage IV is een volledige lijst opgenomen van de berekende gevoeligheid van het model voor alle calibratie parameters. De tien meest gevoelige parameters zijn weergegeven in Figuur 14. Langs de X- as zijn de verschillende

modelparameters weergegeven, langs de Y- as is de gevoeligheid weergegeven.



Parameter	Beschrijving
Hlb	Onttrekking Heumensoord I, diepe filters
NMb	Onttrekking Nieuwe Marktstraat, diepe filters
Hla	Onttrekking Heumensoord I, ondiepe filters
Rch7	Grondwateraanvulling bos op de stuwwal
Rch2	Grondwateraanvulling landelijk gebied
RST	Overige onttrekkingen (niet Heumensoord of Nieuwe marktstraat)
Hlla	Onttrekking Heumensoord II, ondiepe filters
HK_4_4	Horizontale k-waarde in laag 4, calibratiezone 4
Rch4	Grondwateraanvulling bos
Rch6	Grondwateraanvulling landelijk gebied op de stuwwal

Figuur 14 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn in overeenstemming met de hiervoor beschreven hydrologische analyse en komen daarom overeen met wat van het model verwacht kon worden. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dat het model gevoelig is voor de onttrokken debieten van de winningen, de grondwateraanvulling (landelijk gebied, landelijk gebied (stuwwal), bos en bos(stuwwal) en de horizontale k-waarde van de lager gelegen gebieden (zie voor de ligging van de betreffende calibratiezone's Figuur 23 in bijlage V). De gevoeligheid voor de horizontale k-waarde in deze zones in laag 4 wordt veroorzaakt doordat de betreffende gebieden bepalend zijn voor de drainage van het tussenliggende stuwwalgebied. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de zonering van invloed is op de gevoeligheid van de parameters. Het

gaat bij de hier gepresenteerde gevoeligheid dus om de modelgevoeligheid, die kan afwijken van de gevoeligheid van de parameters in de werkelijke situatie.

Het model is verder gevoelig voor de onttrekkingshoeveelheid en verdeling bij Heumensoord I en II, Nieuwe Marktstraat en de overige onttrekkingen. Hierbij speelt niet alleen de grootte van de onttrekking een rol maar uiteraard ook de weging van de verschillen tussen de berekende en waargenomen stijghoogten (zie 4.1.3). Naarmate een waarnemingput zich dichterbij pompstation Heumensoord bevindt is de weging van de waarneming zwaarder. De onttrekkingen zijn als calibratieparameters gedefinieerd op grond van hun gevoeligheid en omdat de grootte van de debieten en ook de verdeling van de debieten over de putten per puttenveld niet met volledige zekerheid bekend is. De wijze waarop de modelvariabelen als parameters bij de calibratie zijn toegepast is beschreven in de volgende paragraaf.

4.1.3 Calibratiemethodiek

4.2 Algemeen

Bij de calibratie van het model is gebruik gemaakt van een genetisch algoritme (Vink en Schot, 2002). Het gebruik van de term calibratieparameter heeft in dit rapport betrekking op een modeleigenschap die onafhankelijk van andere modeleigenschappen kan worden ingesteld. Veel modeleigenschappen zijn ruimtelijk van aard en kunnen per modelcel verschillende waarden bezitten. Zo wordt de grondwateraanvulling in principe voor iedere cel van laag 1 onafhankelijk vastgesteld. Uiteraard wordt bij een calibratie of gevoeligheidsanalyse niet voor elke cel apart de gevoeligheid van alle parameters bepaald omdat de resultaten dan een overvloed aan gegevens zouden opleveren die weinig zinvol en feitelijk niet meer te interpreteren zouden zijn. Niettemin is het in bepaalde gevallen functioneel om per ruimtelijke modelvariabele meerdere parameters te definiëren. In Modflow 2000 bestaat de mogelijkheid om parameters te definiëren als een fysische eigenschap voor een groep modelcellen (zonering). Voor de grondwateraanvulling zijn zo bijvoorbeeld voor de calibratie en de gevoeligheidsanalyse verschillende parameters gedefinieerd, elk corresponderend met een bepaalde grondgebruiksklasse (zie Figuur 10). De functionaliteit van deze zonering hangt in dit geval samen met het feit dat de berekening van de grondwateraanvulling voor stedelijk gebied andere processen betreft dan de grondwateraanvulling voor bijvoorbeeld bebost gebied. Ook voor de doorlaatfactoren zijn voor de bovenste 6 lagen meerdere zones gedefinieerd omdat de anisotropie een betrekkelijk slecht bekende factor is die slechts een gedeelte van de modelcellen betreft.

De factor die het geohydrologisch systeem in het modelgebied het meest compliceert is de anisotropie van de doorlatendheid door glaciële stuwing. De mate van anisotropie is niet af te leiden uit de beschikbare boorbeschrijvingen en manifesteert zich slechts in het lokaal voorkomen van zeer grote hydraulische gradiënten. Om deze anisotropie adequaat te modelleren is een zonering toegepast die is gebaseerd op gegevens van de geomorfologische kaart en op waarneming van ongewone hydraulische

gradiënten. Deze zonering is bij de calibratie toegepast op de modelvariabelen verticale doorlatendheid en horizontale doorlatendheid. In totaal zijn 246 modelparameters tijdens de calibratie geoptimaliseerd. Er is gebruik gemaakt van een referentieset van gemiddelde stijghoogten die bestaat uit 211 verschillende filters, verspreid over 125 locaties. Een deel van deze filters doorsnijdt meerdere lagen.

Bij de calibratie is gebruik gemaakt van een genetisch algoritme. De calibratie is beschouwd als een optimalisatieprobleem met twee tegenstrijdige doelen. Enerzijds bestaat er het doel om minimale verschillen tussen waargenomen en berekende stijghoogten te verkrijgen, anderzijds is het ongewenst om de gecalibreerde waarden van modelvariabelen al te sterk te laten afwijken van de initiële verwachtingen. Er bestaat niet alleen onzekerheid ten aanzien van de werkelijke waarden van de modelvariabelen én de ijkgegevens, maar ook is er bij een modelstudie in de praktijk altijd sprake van een identificatieprobleem doordat het effect van veranderingen van modelvariabelen gecorreleerd is. Dit betekent dat er geen unieke oplossing af te leiden is en dat meerdere modelconfiguraties kunnen resulteren in een vergelijkbaar stijghoogtepatroon. Zo kan een te laag berekende stijghoogte veroorzaakt worden door een te laag ingestelde waarde van de grondwateraanvulling, maar ook door een te hoog ingestelde doorlaatfactor of een te hoog ingesteld onttrekkingsdebiet. Bij alle rekentechnieken die betrekking hebben op de onvolledig gekende werkelijkheid bezitten de resultaten een intrinsieke onzekerheid, onverschillig of de technieken nu “analytisch” of “numeriek” zijn. Als gevolg van de in alle facetten van datasets en rekentechnieken aanwezige onzekerheden wordt bij een calibratie daarom niet gecalibreerd tot er een zodanige aanpassing van de modelvariabelen is dat er geen verschillen meer bestaan tussen waargenomen en berekende standen.

Voor de calibratie (parameteroptimalisatie) zijn twee doelfuncties gedefinieerd:

- Minimale verschillen tussen berekende en gemiddelde waargenomen stijghoogten;
- Minimale afwijking van de initiële waarden van de modelparameters

Voor de eerste doelfunctie is aan de elementen van de referentieset gewichten toegekend die zijn gebaseerd op twee eigenschappen:

- Aantal afzonderlijke metingen waarop het berekende gemiddelde van de waargenomen stijghoogte is gebaseerd;
- Afstand van de locatie van het element uit de referentieset tot het midden van het pompstation Heumensoord (tussen puttenveld I en II).

De eerste gewichtsfactor heeft betrekking op de betrouwbaarheid van de referentiegegevens, de tweede heeft betrekking op de relevantie voor het onderhavige onderzoek.

De tweede doelfunctie is zodanig gedefinieerd dat een configuratie van waarden van modelvariabelen ongewenster wordt naarmate zij meer afwijkt

van de initiële schattingen en berekeningen. Daarbij is in de doelfunctie het kwadraat van het verschil tussen initiële en gecalibreerde waarde opgenomen om zo te bereiken dat in het gecalibreerde model alle modelparameters zo veel mogelijk in vergelijkbare mate verschillen van de initiële schattingen.

In mathematische vorm zijn de beide doelfuncties als volgt gedefinieerd:

$$O_1 = \sqrt{\frac{\sum r^2}{n}}$$

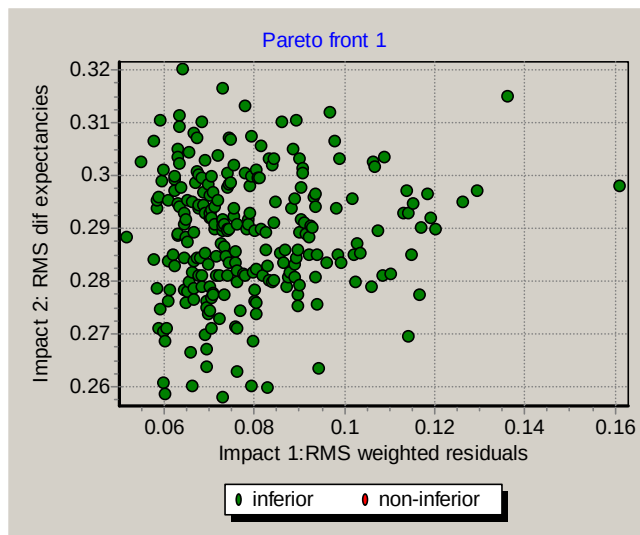
$$r = (\phi_o - \phi_s) \cdot \sqrt{\frac{\ell}{m}}$$

$$O_2 = \sqrt{\frac{\sum \delta^2}{k}}$$

$$\delta = \frac{V - V_i}{V_{\max} - V_{\min}}$$

waarin :

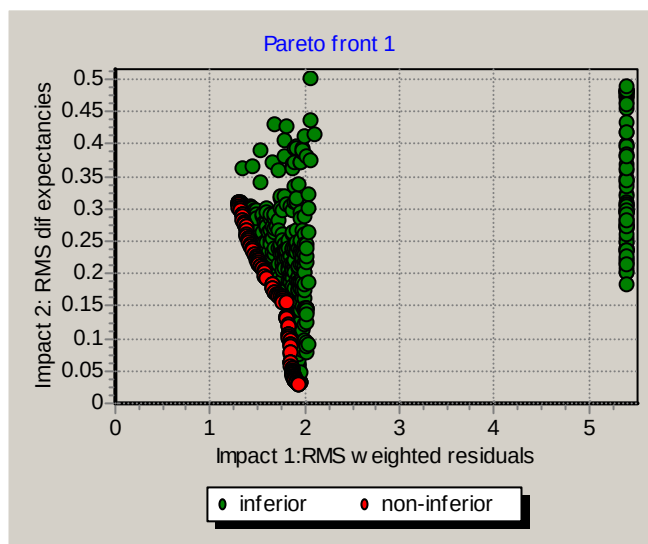
O_1	:	doelfunctie 1
r	:	gewogen verschil tussen berekenden gemeten (residu)
n	:	aantal referentiestijghoogten
ℓ	:	gewichtsfactor 1: aantal beschikbare jaargemiddelde stijghoogten
m	:	gewichtsfactor 2: afstand tot pompstation Heumensoord
O_2	:	doelfunctie 2
δ	:	relatieve afwijking ten opzichte van initiële waarde
k	:	aantal calibratieparameters
ϕ_o	:	referentiestijghoogte
ϕ_s	:	gesimuleerde stijghoogte
V	:	waarde van de parameter
V_i	:	initiële waarde van de parameter
$V_{\max}$	:	maximaal toegestane waarde van de parameter
$V_{\min}$	:	minimaal toegestane waarde van de parameter



Figuur 15 Voorbeeld van berekeningsresultaten van Modflow bij aanvang van een optimalisatie, langs de assen van de grafiek staan de beide doelfuncties weergegeven

4.3 Resultaten

De verzameling optimale oplossingen (rood) is weergegeven in Figuur 16. Uit de verzameling is één oplossing geselecteerd als gecalibreerd model. Hierbij is gekozen voor de oplossing met de laagste waarde voor doelfunctie 1 en een zo laag mogelijke waarde voor doelfunctie 2.



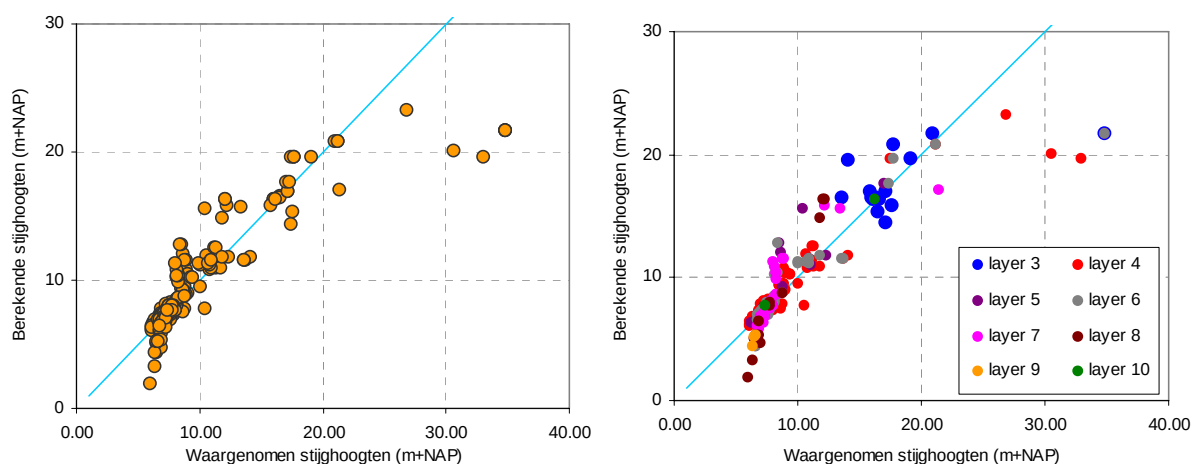
Figuur 16 Einde van de optimalisatie met het genetisch algoritme voor het Heumensoordmodel. De rode punten geven de geselecteerde oplossingen weer; langs de assen van de grafiek staan de beide doelfuncties weergegeven

4.3.1 Grondwaterstanden

De resultaten van de stijghoogteberekeningen van de gekozen oplossing zijn samengevat in Tabel 7. In Figuur 17 zijn de verschillen tussen waargenomen en berekende stijghoogten per waarnemingsfilter in grafiekvorm weergegeven. Hoe dichter de bolletjes in deze figuur bij de blauwe lijn zijn gelegen, hoe beter de gemeten en berekende stijghoogten met elkaar overeenkomen.

Tabel 7 Resultaten van de calibratie

O1 Doelfunctie 1 Gewogen verschil tussen berekende en gemiddelde waargenomen stijghoogten	O2 Doelfunctie 2 Afwijking t.o.v. initiële modelwaarden	Gemiddeld verschil waargenomen – berekend (m)	Gemiddeld absoluut verschil (m)	Gemiddeld gekwadrateerd verschil (m)
1.31	0.31	0.13	0.99	5.24



Figuur 17 Verschillen tussen gemeten en berekende stijghoogten in het modelgebied. In de rechter figuur zijn de verschillen uitgesplitst per modellaag weergegeven.

In bijlage VI en VII zijn de verschillen tussen waargenomen en berekende stijghoogten in detail weergegeven. In de tabel van Bijlage VI is per filter aangegeven in welke modellaag deze zich bevindt en op gemiddeld hoeveel waarnemingen per jaar de gemiddelde gemeten waarde is gebaseerd.

Zoals in Tabel 7 weergegeven bedraagt het gemiddelde verschil 0.13 meter, het gemiddelde absolute verschil bedraagt 0.99 meter. De grootte van de gemiddelde afwijkingen wordt sterk bepaald door een aantal te laag berekende standen op de (flanken van) de stuwwal. De grondwaterstanden op de flanken van de stuwwal zijn moeilijk te modelleren door de zeer grote

gradiënten (20 meter stijghoogteverschil binnen enkele honderden meters) door lokale scheefgestelde kleilagen. De punten in Figuur 17 die sterk afwijken van de blauwe lijn (rechtsonder de blauwe lijn) zijn vrijwel allemaal waarnemingsfilters gelegen in het stuwwalgebied.

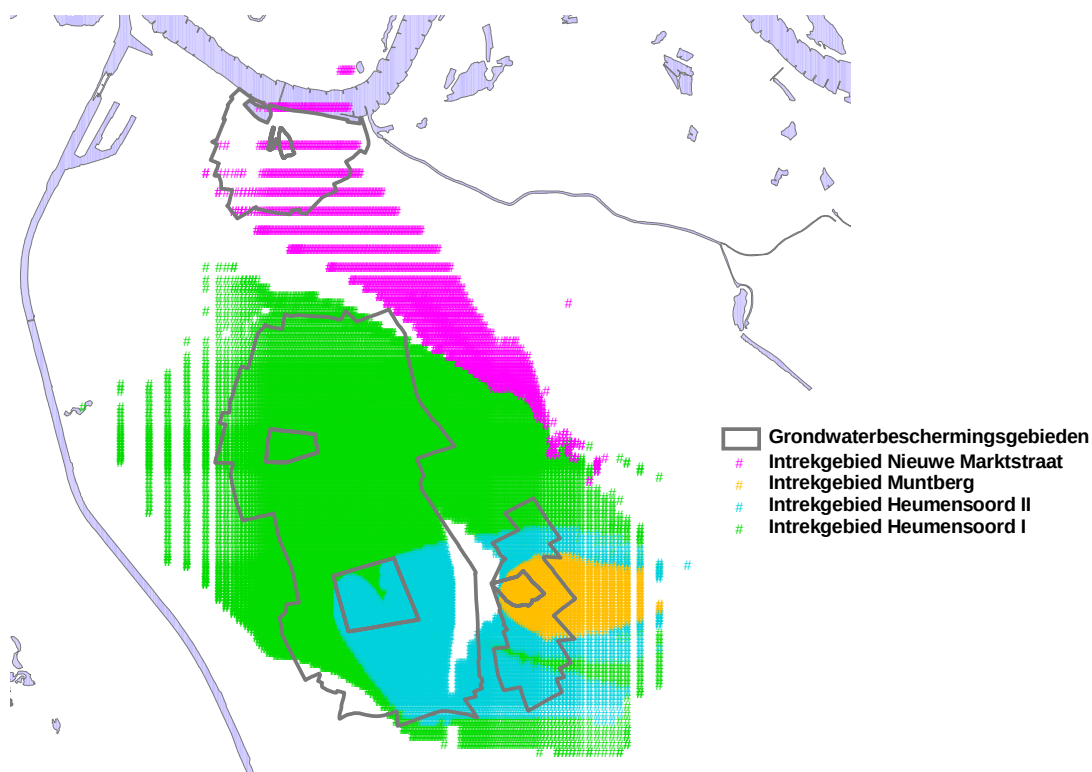
In Figuur 26 in bijlage VII zijn de gemiddelde residuen van de ondiepe filters weergegeven. Uit deze figuur blijkt dat de grootste residuen zich bevinden op de stuwwal en op de flanken rond het bekken van Groesbeek en het Wijlmermeer. Ook in het gebied rond de Hatertse vennen wijken de gesimuleerde stijghoogten af van de gemeten stijghoogten. De afwijkingen in dit rivierduinengebied worden veroorzaakt door lokale verschillen in bodemeigenschappen en maaiveldhoogte die door de gekozen modeldiscretisatie niet zijn meegenomen.

In Figuur 29 in bijlage VII zijn de berekende isohypsen en de gemeten gemiddelde grondwaterstanden direct rond de puttenvelden van Heumensoord I en II weergegeven. Het model blijkt de grondwaterstanden rond de puttenvelden van Heumensoord afdoende te simuleren, maar blijkt zoals al eerder aangegeven wel moeite te hebben met de zeer steile gradiënt in de grondwaterspiegel op de flank van de stuwwal ten oosten van de winning Heumensoord. Dit fenomeen is bekend van eerdere modelleringen van de stuwwal bij Nijmegen (mond. med. C. Vink).

Concluderend kan gesteld worden dat er in het model de stijghoogten op de stuwwal onderschat. De zeer sterke hydraulische gradiënt vanaf de stuwwal naar de fluvioglaciale spoelvlakte/sandr kan niet voor 100% door het model worden gereproduceerd. Doordat verschillen tussen waargenomen en berekende stijghoogten in de nabijheid van de winningen bij de calibratie zwaarder wegen dan verschillen op locaties die verder van de winningen afliggen resulteert dit in te laag berekende stijghoogten op de stuwwal. Uit de calibratiegegevens in bijlage VIII blijkt dat het calibratie algoritme de horizontale k-waarde van zone 15 (omgeving van de stuwwal) in de modellagen 4, 5 en 6 in de zones maximaal heeft teruggeschroefd. Ook in de andere zones rond de stuwwal (o.a. zone 7, 8, 12, 13 en 14) is deze vermindering terug te vinden (zie voor de ligging van de zones Figuur 23 in bijlage V). Mogelijk kan een aanpassing van het calibratieinterval de resultaten verbeteren, doordat een vermindering van de doorlatendheid een grotere hydraulische gradiënt mogelijk maakt. De toename van de gradiënt zal echter naar verwachting niet veel invloed hebben op de fluxen van de grondwaterstroming doordat de scheefgestelde kleilagen in de stuwwal een hoge weerstand hebben. Aangezien het doel van deze studie primair betrekking heeft op de grondwaterkwaliteit en deze wordt bepaald door de grondwaterstroming, worden de resultaten van de calibratie van het model toereikend geacht en is de calibratie niet verder voortgezet.

4.3.2 Intrekgebied en reistijden

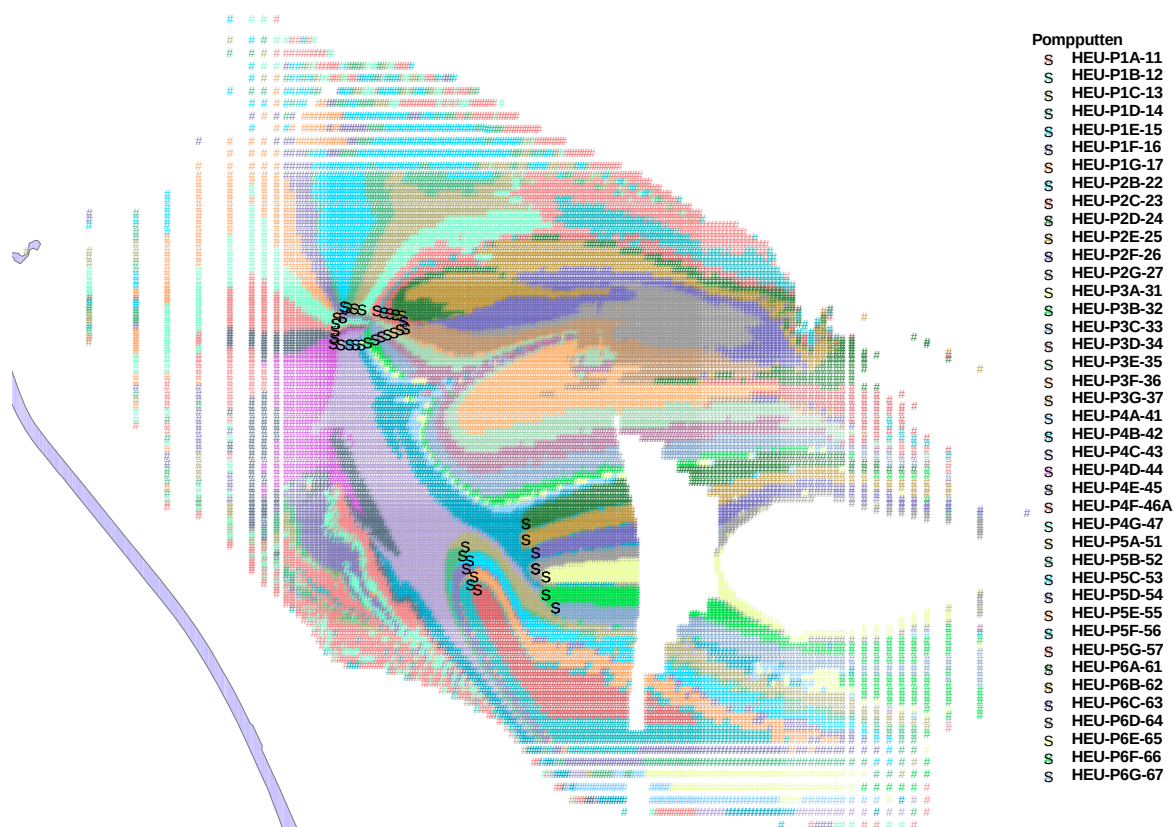
Naast de stijghoogten is tevens het intrekgebied van de winning Heumensoord berekend met Modpath (Pollock, 1994). Vooral dit intrekgebied en de bijbehorende reistijden zijn van belang voor de risicoanalyse in de volgende fase van dit onderzoek. In Figuur 18 is het intrekgebied van de winningen Heumensoord I & II, Nieuwe marktstraat en Muntberg weergegeven.



Figuur 18 Ligging intrekgebieden pompsstations

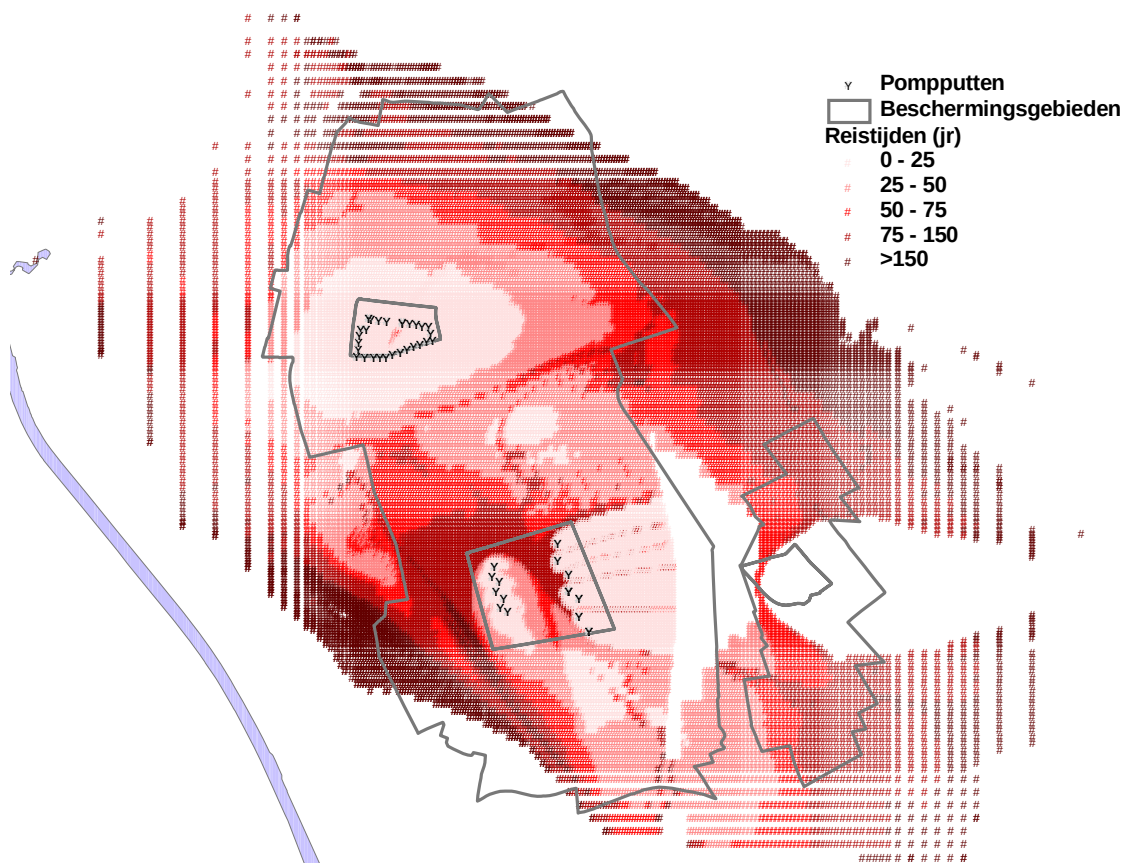
De intrekgebieden van Heumensoord en Nieuwe Marktstraat zijn in lijn met de grondwaterbeschermingsgebieden. Het berekende intrekgebied van Muntberg staat echter haaks op het grondwaterbeschermingsgebied. Ook in eerdere modelstudies (Kap et al, 1992) is het intrekgebied vergelijkbaar berekend. Verder opvallend is dat er zich tussen Heumensoord II en Muntberg een gebied bevindt wat niet tot de intrekgebieden van de omliggende winningen behoort. Infiltrerend regenwater stagneert hier door de zeer slecht doorlatende kleilagen in de ondergrond. Mogelijk worden de poelen rond de Lage Langeberg gevoed door dit water.

Ook per put kan het intrekgebied worden berekend. In Figuur 19 is voor de putten van Heumensoord I en II het afzonderlijke intrekgebied berekend. Uit de figuur komt naar voren dat de herkomst van het water sterk kan verschillen binnen één puttenveld.



Figuur 19 Intrekgebieden per afzonderlijke put voor de puttenvelden Heumensoord I & II

Als de intrekgebieden worden vergeleken met de in het kader van de in 1992 door Kiwa uitgevoerde “Systeemanalyse Nijmegen en omgeving” berekende intrekgebieden vallen twee dingen op; het intrekgebied is in het geheel wat kleiner geworden en naar het zuiden verschoven. Als gekeken wordt naar de reistijden (zie Figuur 20) blijkt de in deze studie berekende 25 jaarszone van Heumensoord kleiner dan de in de oude studie berekende zone.



Figuur 20 Vanaf de grondwaterspiegel naar de afzonderlijke putten berekende reistijden voor Heumensoord

De oorzaak van de verschillen is te vinden in de debietverhouding tussen de pompstations Heumensoord en Nieuwe Marktstraat. In de oude studie is gerekend met de debieten en verhouding in 1989, in voorliggende studie is gerekend met de gemiddelde debieten en verhouding over de vrij constante periode 1995-2004 (zie Figuur 12). In Tabel 8 is de debietsverdeling tussen Heumensoord en Nieuwe marktstraat voor zowel 1989 als de periode 1995-2004 weergegeven.

Tabel 8 Verschillen in debieten per pompstation tussen het jaar 1989 en de periode 1995-2004

Gemiddelde onttrekkingen	Q (Mm ³ /j) 1989	Q (Mm ³ /j) 1995-2004
PS Heumensoord I	7,8	6,9
PS Heumensoord II	3,4	2,6
PS Nieuwe Marktstraat	2,7	4,1
Totaal	13.9	13.6

Uit de tabel blijkt dat de totale gemiddelde onttrekking is afgenomen met 0,3 Mm³/j en dat tevens de verhouding tussen Heumensoord en Nieuwe Marktstraat sterk is gewijzigd. De onttrekking van Nieuwe marktstraat is

toegenomen met 1,4 Mm³/j terwijl de onttrekking van Heumensoord in totaal met 1,7 Mm³/j is afgenomen. Het intrekgebied van Nieuwe marktstraat is hierdoor groter geworden en naar het zuiden verschoven. Door de reductie van de onttrekking bij Heumensoord is de 25 jaarszone van dit pompstation gekrompen.

5 Conclusies en aanbevelingen

De verschillen tussen de berekende en waargenomen stijghoogten van de stationaire modelberekening zijn aan de hoge kant. Het gemiddelde absolute verschil bedraagt 0,95 m, het gemiddelde verschil 0,19 m. Men moet er echter op bedacht zijn dat het hier gaat om een geohydrologisch zeer complex gebied. De complexiteit van het gebied wordt veroorzaakt door stuwing door landijs tijdens het Saalien. Gevolg van deze stuwing zijn voor Nederlandse begrippen zeer grote gradiënten in maaiveldhoogte (hoogteverschillen tot 75 m binnen een afstand van 800 meter). Verder zijn voor het Saalien afgezette kleilagen door de stuwing scheefgesteld en verkneed. Gevolg van beide aspecten zijn (moeilijk te modelleren) extreem grote gradiënten in de grondwaterspiegel. De grondwaterstanden op de stuwwal laten hierdoor grote afwijkingen zien en beïnvloeden de gemiddelde afwijking sterk. De grondwaterstanden rond Heumensoord konden (rekening houdend met de complexiteit van het gebied) bevredigend worden gemodelleerd.

De berekende intrekgebieden en reistijden voor pompstation Heumensoord komen overeen met wat op basis van de bodemopbouw en de onttrekkingdebieten verwacht wordt. Tevens zijn de resultaten van de berekeningen in lijn met eerder door Kiwa uitgevoerde berekeningen voor pompstation Heumensoord.

Het berekende intrekgebied van pompstation Muntberg wijkt af van het betreffende grondwaterbeschermingsgebied. Ook in oude modelberekeningen in 1992 werd al een vergelijkbaar intrekgebied berekend als in deze studie. Omdat pompstation Muntberg verder buiten deze studie valt is hier geen aandacht aan besteed. Wellicht is het voor een vervolgstudie aan te bevelen om het werkelijke intrekgebied (en daarmee het beschermingsgebied van Muntberg) vast te stellen.

6 Literatuur

1. Dreven van F. en anderen, Cultuurtechnisch Vademecum 2000. Elsevier, ISBN 90-5439-089-1
2. Driscoll, F.G., Groundwater and wells; Second edition, Johnson division, St. Paul, 1987.
3. Grift, B. van de, M. Bakker, R. Alagic, intrekgebied winning Heumensoord, geologische, geochemische en hydrologische karakterisatie, NITG-TNO, 2002
4. Harbaugh A.W., Edward R. Banta, Hill M.C. and Michael G. McDonald, Modflow 2000 The U.S. Geological Survey modular groundwater model; User guide to modularization concepts and the groundwater flow process, OR 00-92, U.S. Geological Survey, 2000.
5. Hill M.C., Edward R. Banta, Arlen W. Harbaugh and Evan R. Anderman, Modflow 2000 The U.S. Geological Survey modular groundwater model; User guide to the observation, sensitivity and parameter estimation processes and three post processing programs; OR 00-184, U.S. Geological Survey, 2000.
6. Huis in 't Veld W.J., N.A. Buik, Energieopslag UMC St Radboud Nijmegen, effectenstudie ten behoeve van een vergunningaanvraag in het kader van de grondwaterverordening van Gelderland, IF Technology bv, Arnhem, 2006
7. Kap A., G.A. van Deijl, F.A.M. Hettinga en M.H. Jalink, Systeemanalyse Nijmegen en omgeving, fase 1 Inventarisatie van het systeem, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein, 1992
8. Kap A., G.A. van Deijl en C. Vink, Systeemanalyse Nijmegen en omgeving, fase 2 ijdings- en verificatieberekeningen, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein, 1992
9. Kap A., G.A. van Deijl, C. Vink, F.A.M. Hettinga en M.H. Jalink, Systeemanalyse Nijmegen en omgeving, fase 2 rapportage en berekeningsvarianten, Kiwa Onderzoek en Advies, Nieuwegein, 1992
10. McDonald M.G. and Harbaugh A.W., A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model; 1984, U.S. Geological Survey
11. Pollock D.W., User's Guide for MODPATH/MODPATH-PLOT, Version 3: A particle tracking post-processing package for MODFLOW, the U.S. Geological Survey finite-difference groundwater flow model: U.S. Geological Survey, 1994
12. Todd, D. K., Groundwater Hydrology; 1980, John Wiley and Sons, New York.
13. Vink C., Schot P., Multiple-objective optimization of drinking water production strategies using a genetic algorithm, Water Resources Research Vol. 38, NO 9, 2002
14. Vink C. Multi-objective Calibration of a groundwatermodel with a genetic algorithm. Proceedngs of the FEM_Modflow Conference of 2004 in Karlovy Vary, Czech Republic
15. Maas C. Vuistregels in de hydrologie, Stromingen 1996.

16. Weerts, H.J.T, Complex confining layers, 1996, proefschrift. Universiteit Utrecht
17. Wilson E.M., Engineering hydrology; Third edition, 1983, Macmillan.
18. Witteveen + Bos, Integrale studie Nijmegen, Witteveen+Bos, Deventer, 1998

BIJLAGEN

I Gemodelleerde grondwateronttrekkingen

Tabel 9 Gemiddelde onttrekkingen over de calibratieperiode (1995 –2005)

Gemiddelde onttrekkingen 1995-2005	Q (Mm3/jr)
PS Nieuwe Marktstraat	6,9
PS Heumenoord I	2,6
PS Heumensoord II	4,1
Overige onttrekkingen	10,2
Totaal	23,8

Tabel 10 Gemodelleerde onttrekkingen per pompput

Heumensoord I & II

Naam	Laag	Q (Mm3/jr)
HEU-P1A-11	6	0.076
HEU-P1A-11	7	0.171
HEU-P1B-12	6	0.084
HEU-P1B-12	7	0.163
HEU-P1C-13	6	0.099
HEU-P1C-13	7	0.148
HEU-P1D-14	6	0.089
HEU-P1D-14	7	0.158
HEU-P1E-15	6	0.084
HEU-P1E-15	7	0.163
HEU-P1F-16	6	0.094
HEU-P1F-16	7	0.153
HEU-P1G-17	6	0.054
HEU-P1G-17	7	0.193
HEU-P2A-21	6	0.132
HEU-P2A-21	7	0.115
HEU-P2B-22	6	0.108
HEU-P2B-22	7	0.139
HEU-P2C-23	6	0.134
HEU-P2C-23	7	0.113
HEU-P2D-24	6	0.097
HEU-P2D-24	7	0.150
HEU-P2E-25	6	0.138
HEU-P2E-25	7	0.110
HEU-P2F-26	6	0.124
HEU-P2F-26	7	0.123
HEU-P2G-27	6	0.027
HEU-P2G-27	7	0.221
HEU-P3A-31	6	0.055

Naam	Laag	Q (Mm3/jr)
HEU-P3A-31	7	0.128
HEU-P3A-31	8	0.064
HEU-P3B-32	6	0.136
HEU-P3B-32	7	0.112
HEU-P3C-33	6	0.102
HEU-P3C-33	7	0.145
HEU-P3D-34	6	0.113
HEU-P3D-34	7	0.134
HEU-P3E-35	6	0.118
HEU-P3E-35	7	0.130
HEU-P3F-36	6	0.013
HEU-P3F-36	7	0.225
HEU-P3F-36	8	0.010
HEU-P3G-37	6	0.108
HEU-P3G-37	5	0.009
HEU-P3G-37	7	0.127
HEU-P3G-37	8	0.004
HEU-P4A-41	6	0.114
HEU-P4A-41	7	0.133
HEU-P4B-42	6	0.075
HEU-P4B-42	7	0.172
HEU-P4C-43	6	0.115
HEU-P4C-43	7	0.132
HEU-P4D-44	6	0.175
HEU-P4D-44	7	0.073
HEU-P4E-45	6	0.053
HEU-P4E-45	7	0.194
HEU-P4F-46A	6	0.067
HEU-P4F-46A	7	0.180
HEU-P4G-47	6	0.118
HEU-P4G-47	7	0.129
HEU-P5A-51	6	0.159
HEU-P5A-51	7	0.023
HEU-P5B-52	6	0.120
HEU-P5B-52	7	0.063
HEU-P5C-53	6	0.159
HEU-P5C-53	7	0.024
HEU-P5D-54	6	0.180
HEU-P5D-54	7	0.003
HEU-P5E-55	6	0.145
HEU-P5E-55	7	0.038
HEU-P5F-56	6	0.141
HEU-P5F-56	7	0.042
HEU-P5G-57	6	0.139
HEU-P5G-57	7	0.044
HEU-P6A-61	6	0.107
HEU-P6A-61	5	0.075
HEU-P6B-62	6	0.027
HEU-P6B-62	7	0.156
HEU-P6C-63	6	0.031
HEU-P6C-63	7	0.152

Naam	Laag	Q (Mm3/jr)
HEU-P6D-64	6	0.072
HEU-P6D-64	7	0.111
HEU-P6E-65	6	0.168
HEU-P6E-65	5	0.015
HEU-P6F-66	6	0.151
HEU-P6F-66	5	0.031
HEU-P6G-67	6	0.046
HEU-P6G-67	7	0.136

Nieuwe Marktstraat:

Naam	Laag	Q (Mm3/jr)
NMA-P00-17A	9	0.239
NMA-P00-17A	8	0.053
NMA-P00-19A	9	0.085
NMA-P00-19A	9	0.085
NMA-P00-22	8	0.182
NMA-P00-22	9	0.110
NMA-P00-23	8	0.292
NMA-P00-24	8	0.161
NMA-P00-24	9	0.131
NMA-P00-25A	8	0.177
NMA-P00-25A	9	0.114
NMA-P00-26	9	0.186
NMA-P00-26	8	0.106
NMA-P00-27	8	0.121
NMA-P00-27	8	0.121
NMA-P00-28	9	0.178
NMA-P00-28	8	0.114
NMA-P00-51	7	0.172
NMA-P00-51	6	0.004
NMA-P00-51	8	0.115
NMA-P00-53	7	0.153
NMA-P00-53	6	0.004
NMA-P00-53	8	0.135
NMA-P00-55A	7	0.125
NMA-P00-55A	8	0.161
NMA-P00-55A	9	0.006
NMA-P00-56A	8	0.245
NMA-P00-56A	9	0.047
NMA-P00-57A	7	0.151
NMA-P00-57A	8	0.141

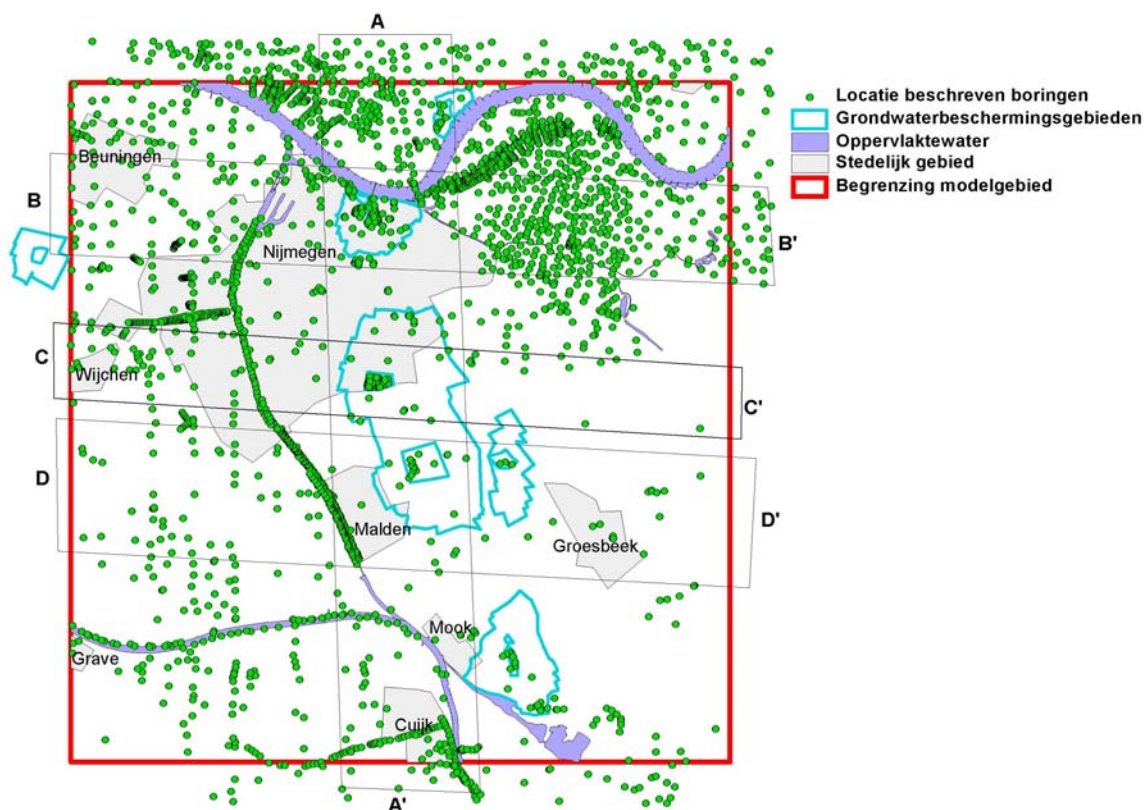
Overige:

Naam	Laag	Q (Mm3/jr)
AFVALVERWERK. REGIO NIJMEGEN	6	0.083
AFVALVERWERK. REGIO NIJMEGEN	7	0.121
BODEMEIJER WASSERIJ	5	0.001
BODEMEIJER WASSERIJ	6	0.003
BRONSWIJK J VAN	7	0.010
BURGGOLF WIJCHEN BV	5	0.015

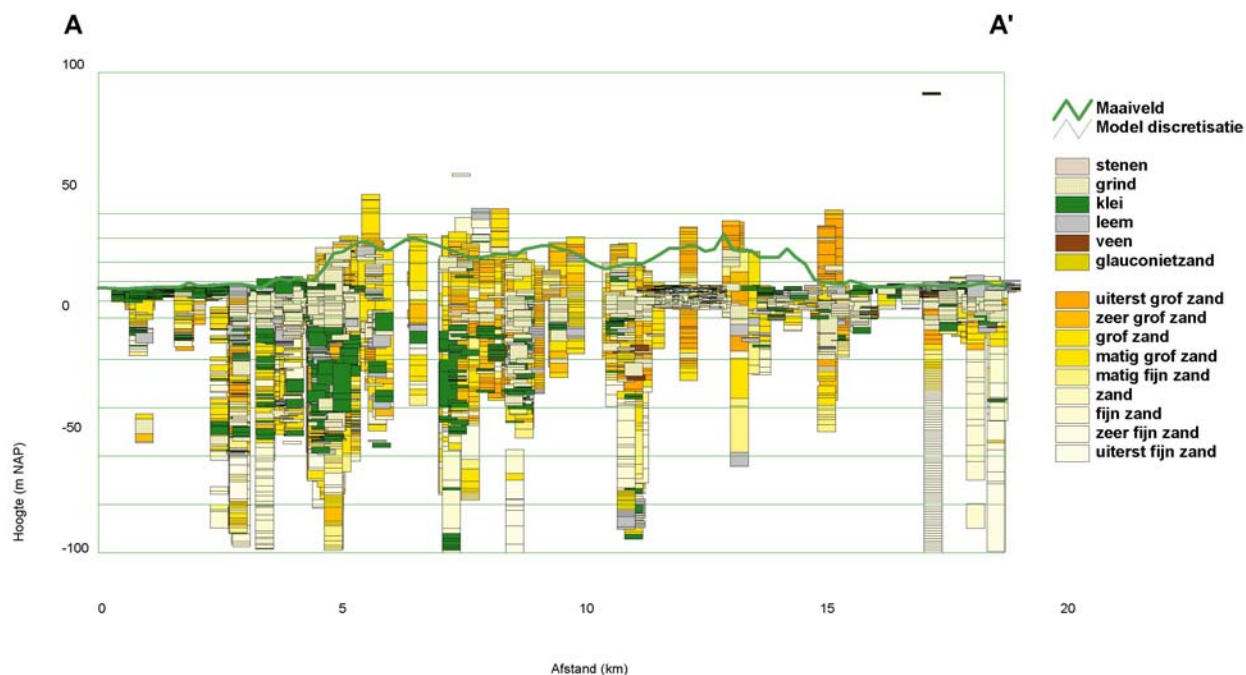
Naam	Laag	Q (Mm3/jr)
BURGGOLF WIJCHEN BV	6	0.018
CP KELCO BV	8	0.462
CP KELCO BV	9	0.305
DAR HOLDING NV	6	0.001
DAR HOLDING NV	7	0.004
DE ZANDERG BV STEENFABRIEK	4	0.009
DE ZANDERG BV STEENFABRIEK	5	0.022
DELTA MATEC BV	4	0.015
DERKSEN EN KEMPEN VAN MTS	5	0.010
ELECTRABEL NEDERLAND NV	5	0.089
ELECTRABEL NEDERLAND NV	6	0.036
ELECTRABEL NEDERLAND NV	7	0.078
ELECTRABEL NEDERLAND NV	8	0.241
GOLFBAAN RIJK VAN NIJMEGEN	2	0.034
HAGEMANS VER. BEDRIJVEN BV	6	0.022
HEINZ BV H J	8	0.322
HOLLAND CASINO NIJMEGEN	6	0.080
HOLLAND CASINO NIJMEGEN	7	0.011
HOLLAND FOOD SERVICE BV	5	0.008
LATENSTEIN BV	8	0.393
LEE VASTGOED BV VAN	4	0.001
LINCOLN SMITWELD BV	6	0.080
LINDENHOUTST. NEERBOSCH VT	5	0.006
NEWASCO VERWEIJ BV	6	0.016
NIJMEEGSE IJZERGIEETERIJ BV	6	0.071
NIJMEGEN GEMEENTE	7	0.016
NIJMEGEN GEMEENTE	8	0.057
NIJMEGEN GEMEENTE	9	0.010
NIJVIS BV	7	0.082
NIJVIS BV	8	0.142
NIJVIS BV	9	0.142
NIJVIS BV	10	0.060
OOSTERPOORT WOONCOMBINATIE	6	0.003
OOSTERPOORT WOONCOMBINATIE	7	0.004
ORAFI BV	5	0.028
PETERS G	5	0.014
PHILIPS SEMICOND BV(HFD FBN)	7	0.274
PHILIPS SEMICOND BV(HFD FBN)	8	0.206
PROVINCIE GELDERLAND MW/MB	4	0.017
PROVINCIE GELDERLAND MW/MB	5	0.058
PROVINCIE GELDERLAND MW/MB	6	0.025
PROVINCIE GELDERLAND MW/MB	4	0.021
PROVINCIE GELDERLAND MW/MB	5	0.029
PS LENT	7	0.193
PS LENT	8	0.254
PS LENT	9	0.254
PS LENT	10	0.213
PS MUNTBERG	4	0.184
PS MUNTBERG	5	0.280
PS MUNTBERG	6	0.336

Naam	Laag	Q (Mm3/jr)
PS PLASMOLEN	7	0.603
PS PLASMOLEN	8	0.201
SANADOME ONROEREND GOED BV	6	0.014
SANADOME ONROEREND GOED BV	7	0.037
SAPPI NIJMEGEN BV	6	0.389
SAPPI NIJMEGEN BV	7	1.691
SAPPI NIJMEGEN BV	8	0.879
SLACHTHUIS NIJMEGEN BV	6	0.120
SLACHTHUIS NIJMEGEN BV	7	0.146
SPORTFONDSENBAD NIJMEGEN BV	7	0.011
SPORTFONDSENBAD NIJMEGEN BV	8	0.004
SUBAT	6	0.006
SYNPRODO PRODUCTIE BV	5	0.014
SYNPRODO PRODUCTIE BV	6	0.072
VERMEULEN WATERKERSKWEKERIJ	7	0.005
VERMEULEN WATERKERSKWEKERIJ	8	0.006
WIENERBERGER BV	6	0.150

II Dwarsprofielen bodemopbouw



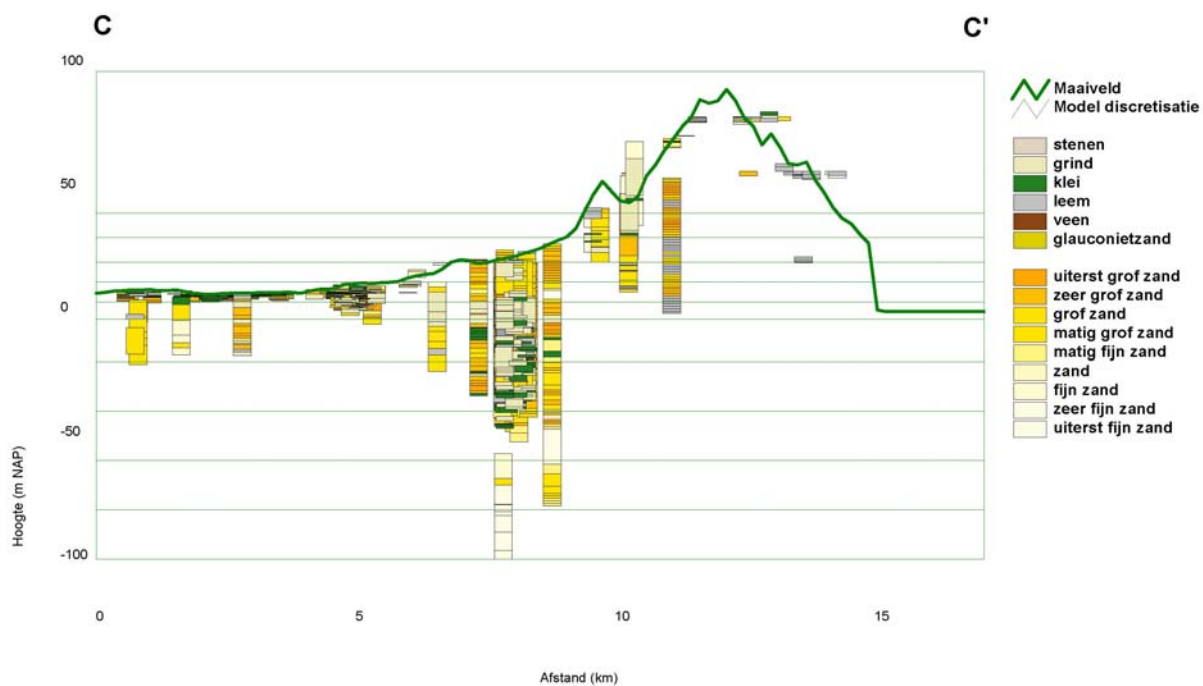
Ligging beschreven boringen en dwarsprofielen



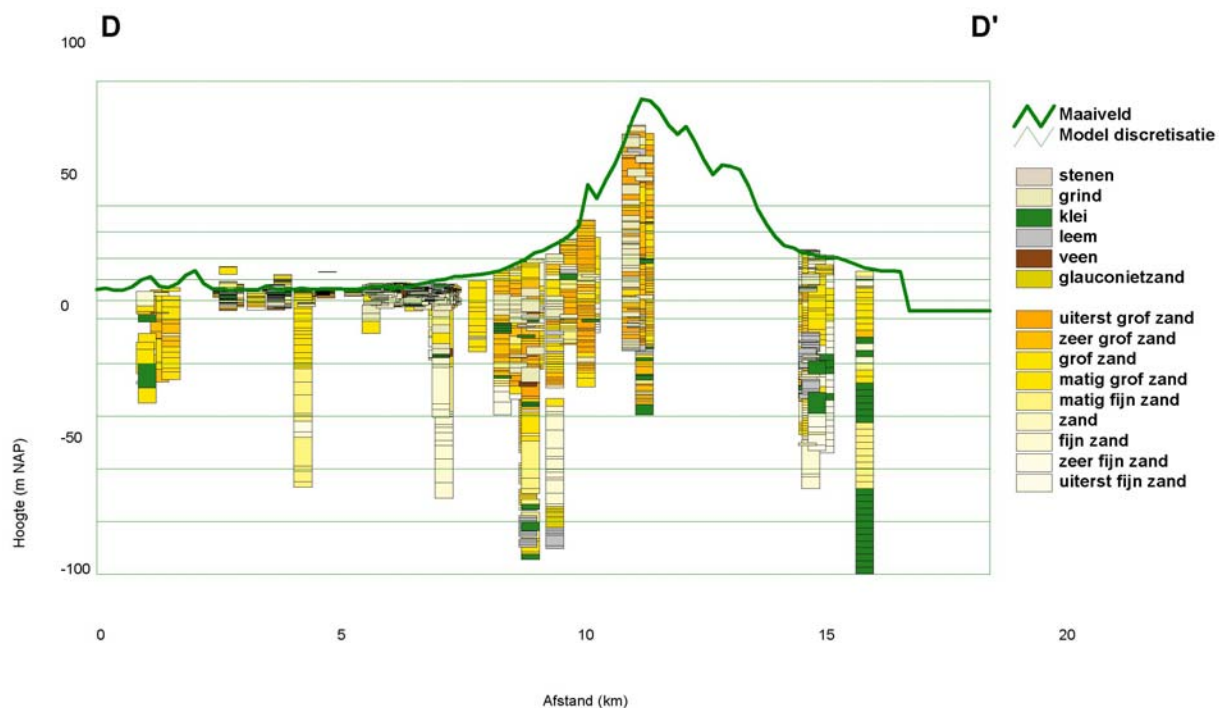
Lithologie Dwarsprofiel A-A' (Noord-zuid)



Lithologie Dwarsprofiel B-B' (Nieuwe Marktstraat)

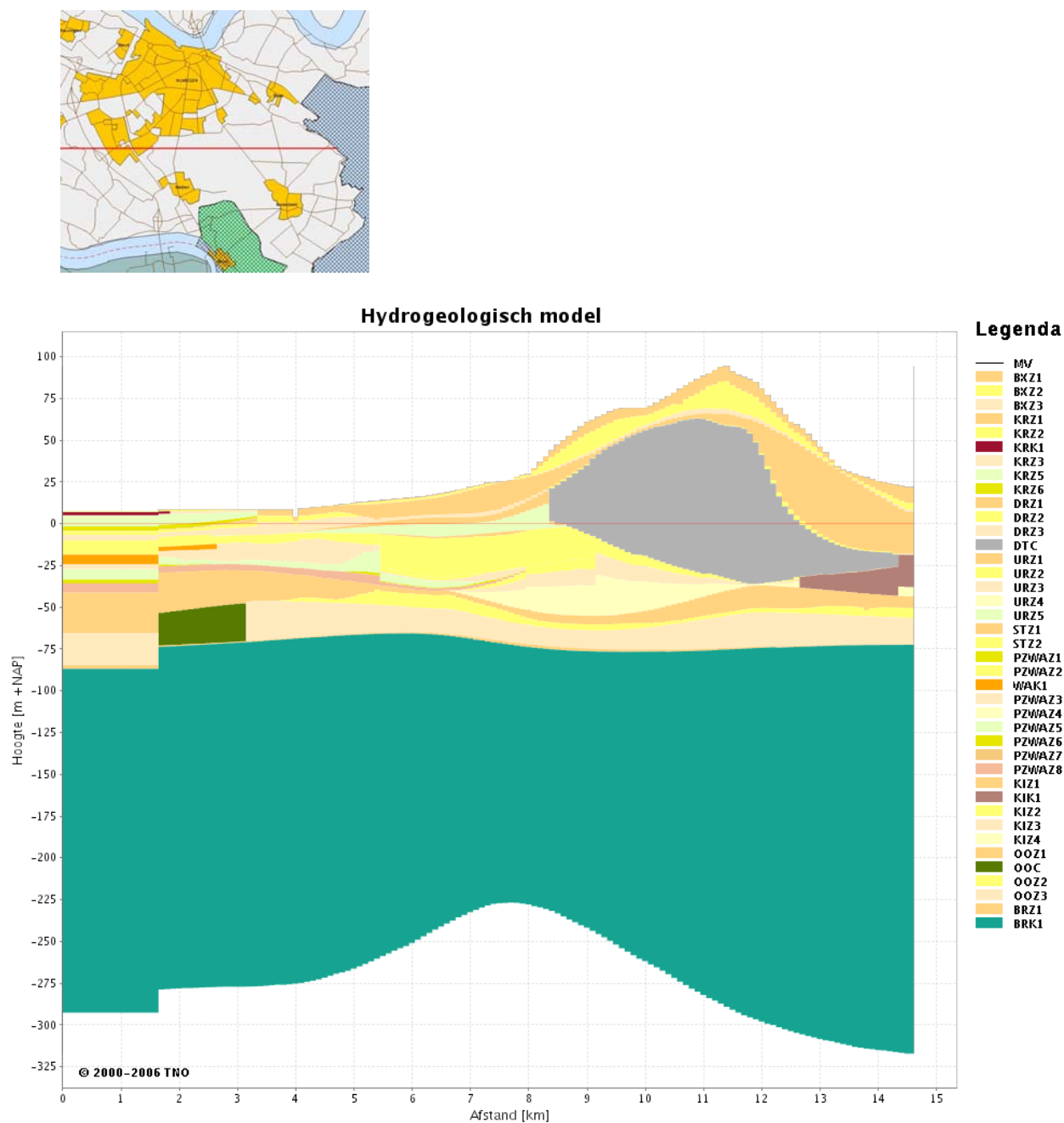


Lithologie Dwarsprofiel C-C' (Heumensoord I)

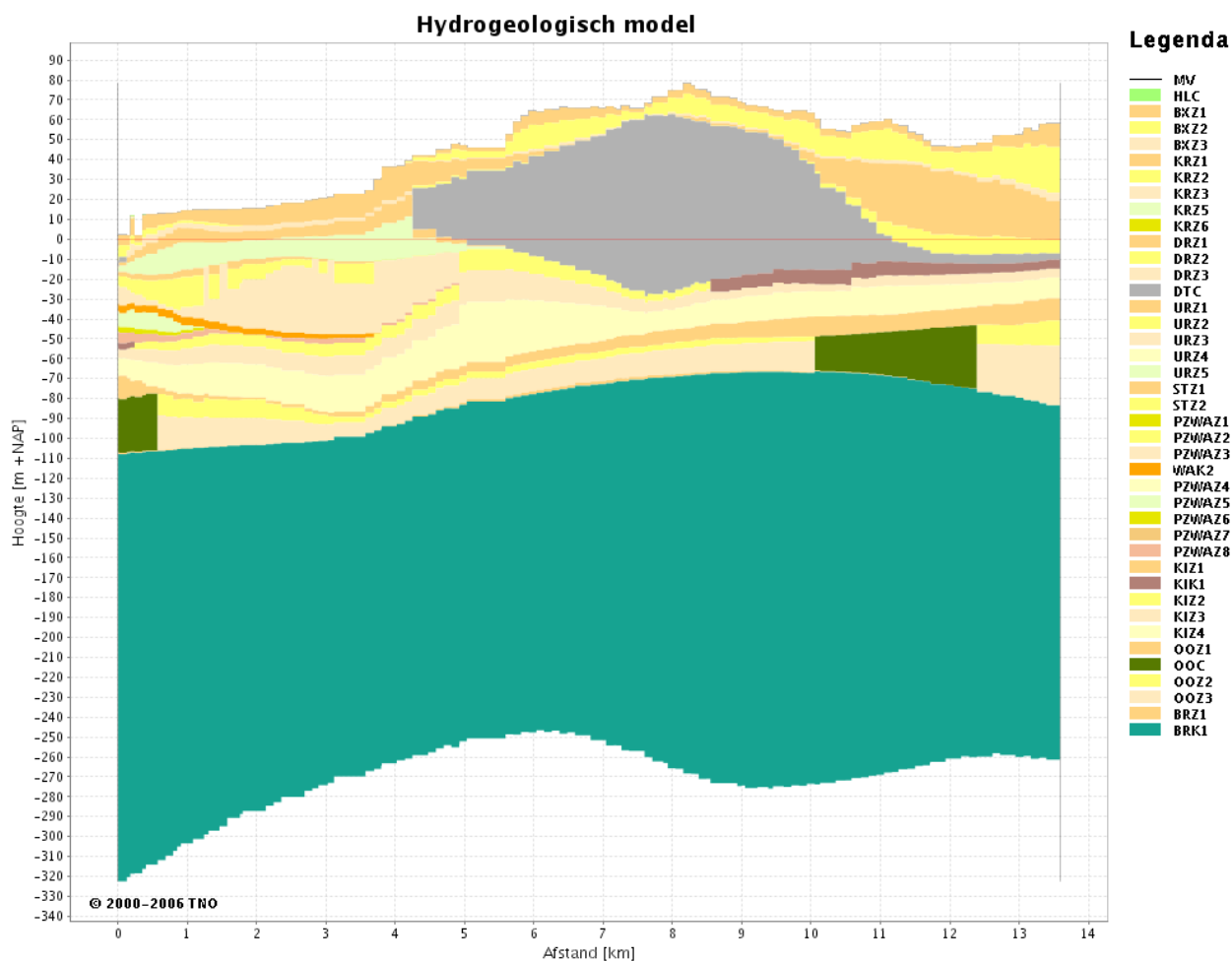
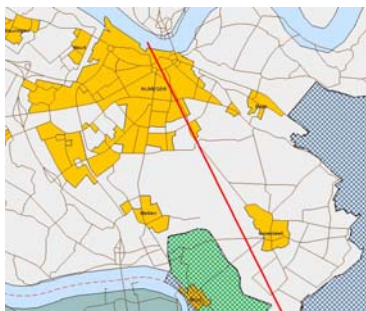


Lithologie Dwarsprofiel C-C' (Heumensoord II)

III Geohydrologische schematisatie



Figuur 21 Hydrogeologische schematisatie volgens het landelijk hydrogeologisch model [TNO, 2006]. West-oost dwarsprofiel (voor ligging zie kaartje)



Figuur 22 Hydrogeologische schematisatie volgens het landelijk hydrogeologisch model [TNO, 2006] Noordwest-Zuidoost dwarsprofiel (voor ligging zie kaartje)

IV Resultaten gevoeligheidsanalyse

Tabel 11 Codering

Parameter	Beschrijving
Q	Onttrekking
HIa	Heumensoord I, puttengroep a
HIb	Heumensoord I, puttengroep b
IIa	Heumensoord II, puttengroep a
IIb	Heumensoord II, puttengroep b
NMa	Nieuwe Marktstraat, puttengroep a
NMb	Nieuwe Marktstraat, puttengroep b
RST	Overige onttrekkingen
RCH	Grondwateraanvulling
1	Stedelijk gebied
2	Landelijk gebied
3	Water
4	Bos
5	Stedelijk gebied (stuwwal)
6	Landelijk gebied (stuwwal)
7	Bos (stuwwal)
RIV	Oppervlaktewater
RWAA	Waal
RMAA	Maas
RMWK	Maas-Waalkanaal
RMEE	Wijlmermeer
	Bodem parameters
HK	Horizontale doorlaatfactor, per zone, per laag
VK	Verticale doorlaatfactor, per zone, per laag

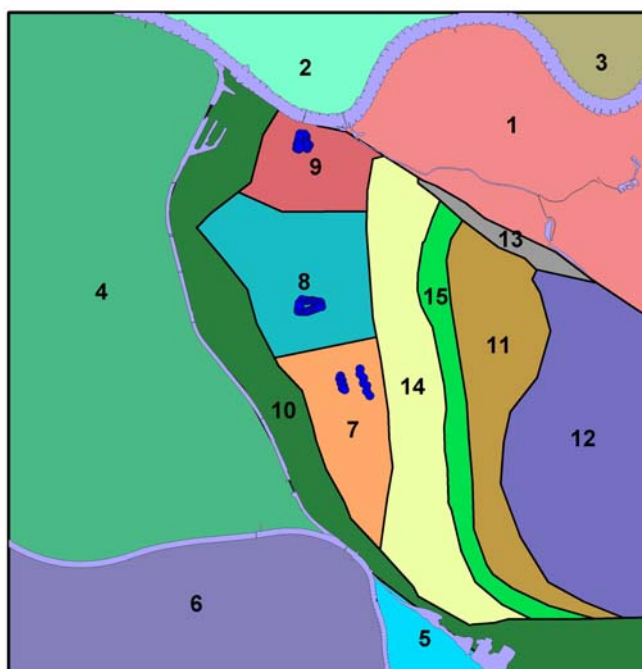
Tabel 12 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse aflopend gesorteerd;

parameters met een relatieve gevoeligheid < 0.001 zijn niet vermeld

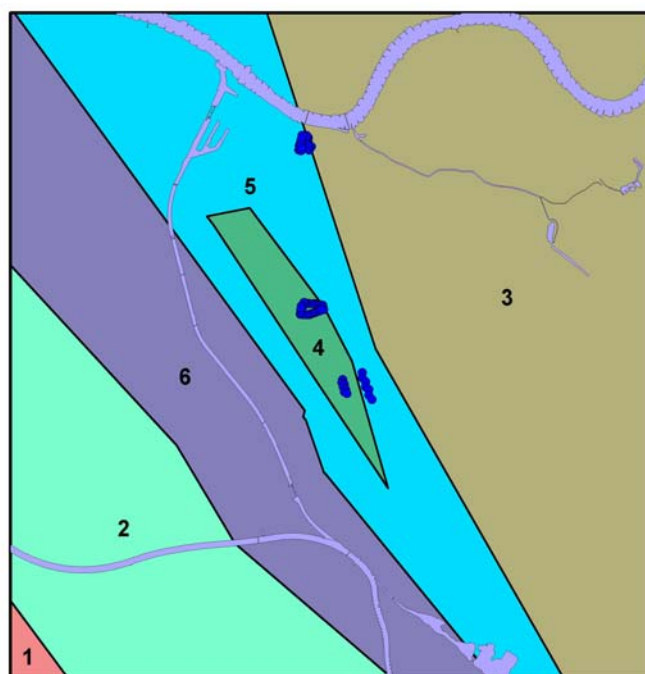
Rang nr	Parameter	Gevoeligheid
1	Hlb	0.167
2	NMb	0.135
3	Hla	0.127
4	rch7	0.090
5	rch2	0.078
6	RST	0.071
7	HIIa	0.071
8	HK_4_4	0.070
9	rch4	0.061
10	rch6	0.055
11	HK_8_3	0.044
12	HIlb	0.031
13	HK_6_8	0.030
14	HK_7_3	0.028
15	rch1	0.028
16	HK_8_5	0.027
17	HK_6_12	0.025
18	HK_9_3	0.025
19	NMa	0.023
20	RMWK	0.022
21	HK_7_5	0.022
22	RWAA	0.020
23	HK_6_11	0.019
24	HK_10_3	0.018
25	HK_5_8	0.017
26	HK_6_9	0.016
27	HK_6_14	0.016
28	HK_9_5	0.015
29	HK_10_5	0.014
30	VK_6_9	0.014
31	HK_5_9	0.012
32	HK_4_1	0.012
33	HK_7_4	0.012
34	HK_4_12	0.012
35	HK_7_6	0.012
36	HK_5_12	0.010
37	VK_4_4	0.010
38	HK_6_7	0.010
39	HK_6_10	0.009
40	RMAA	0.008
41	HK_5_11	0.008
42	rch5	0.008
43	HK_4_11	0.008
44	VK_7_5	0.007
45	HK_8_4	0.007

Rang nr	Parameter	Gevoeligheid
46	HK_5_14	0.007
47	HK_5_10	0.006
48	HK_8_6	0.006
49	RMEE	0.006
50	HK_6_15	0.006
51	HK_9_6	0.006
52	HK_9_4	0.006
53	HK_5_7	0.006
54	HK_10_6	0.006
55	HK_4_8	0.005
56	HK_4_9	0.005
57	HK_10_4	0.005
58	HK_6_4	0.005
59	HK_4_14	0.005
60	HK_3_12	0.004
61	VK_7_3	0.004
62	HK_4_10	0.004
63	HK_6_2	0.004
64	HK_5_4	0.003
65	HK_9_2	0.003
66	HK_8_2	0.003
67	HK_7_2	0.003
68	HK_6_1	0.003
69	VK_7_4	0.003
70	VK_6_8	0.003
71	HK_4_7	0.003
72	HK_5_15	0.003
73	HK_5_2	0.003
74	VK_8_5	0.003
75	HK_4_15	0.002
76	VK_6_2	0.002
77	VK_6_10	0.002
78	rch3	0.002
79	VK_8_3	0.002
80	VK_4_1	0.001
81	HK_4_2	0.001
82	HK_5_1	0.001
83	HK_6_6	0.001
84	HK_10_2	0.001
85	HK_5_5	0.001
86	HK_4_3	0.001
87	HK_6_13	0.001
88	HK_4_13	0.001
89	VK_6_4	0.001
90	VK_7_6	0.001
91	VK_8_6	0.001
92	HK_4_5	0.001
93	HK_5_6	0.001
94	VK_6_6	0.001

V Zonering Calibratie



Figuur 23 Zonering van de doorlaatfactoren voor de bovenste zes modellagen, gebaseerd op de geologische kaart, geomorfologische kaart en op het stijghoogtepatroon



Figuur 24 Zonering van de doorlaatfactoren voor de onderste vier modellagen, gebaseerd op de geologische kaart (breuken) en op het stijghoogtepatroon

VI Calibratieresultaten

In onderstaande tabel zijn de calibratieresultaten weergegeven. De locaties van de waarnemingsputten zijn weergegeven in het tweede deel van deze bijlage.

Tabel 13 modelresultaten per waarnemingsfilter

Code waarnemingsfilter	Waargenomen stijghoogte (m+NAP)	Berekende stijghoogte (m+NAP)	Verschil (m)	Modellaag	Aantal waarnemingen
B46B0538_2	11.17	11.45	-0.28	4	20.1
B46B0538_1	13.52	-	-	3	14.5
B46B0537_2	10.59	11.94	-1.35	4	15.9
B46B0536_2	11.18	12.54	-1.36	4	19.7
B46B0536_1	11.25	12.54	-1.29	4	8.5
B46B0535_1	10.74	10.83	-0.09	4	12.6
B46B0534_2	11.25	10.93	0.32	4	20
B46B0534_1	11.71	10.93	0.78	4	20.2
B46B0531_1	16.56	16.53	0.03	3	9.2
B46B0527_4	12.18	15.89	-3.71	7	14.3
B46B0527_2	17.33	17.66	-0.33	6	11.8
B46B0527_1	16.98	17.66	-0.68	5	12.3
B46B0506_2	16.04	16.37	-0.33	3	16.1
B46B0506_1	16.01	16.37	-0.36	3	16.1
B46B0504_2	16.39	16.52	-0.13	3	15.8
B46B0504_1	16.46	16.52	-0.06	3	15.1
B46B0500_2	17.56	15.33	2.23	3	15.1
B46B0484_2	15.77	15.83	-0.06	3	3.8
B46B0478_2	17.08	16.99	0.09	3	8.1
B46B0478_1	17.10	16.99	0.11	3	7.5
B46B0460_1	17.46	14.45	3.01	3	31.2
B46B0223_1	8.48	10.47	-1.99	4	17
B46B0071_3	8.24	9.94	-1.70	7	16.5
B46B0071_2	10.03	11.19	-1.16	6	16.6
B46B0071_1	10.85	11.19	-0.34	6	16.6
B46B0070_4	8.92	11.55	-2.63	7	18.5
B46B0070_3	13.56	11.59	1.97	6	18.5
B46B0070_2	13.61	11.59	2.02	6	18.5
B46B0070_1	13.67	11.59	2.08	4	20.3
B46B0069_4	8.70	11.56	-2.86	7	20.4
B46B0069_3	11.83	11.83	0.00	6	18.5
B46B0069_2	12.26	11.84	0.42	5	20.3
B46B0069_1	14.07	-	-	3	20.3
B46B0069_1	14.07	11.84	2.23	4	20.3
B46B0068_4	8.22	8.50	-0.28	6	18.7
B46B0068_3	8.20	8.50	-0.30	6	20.6
B46B0068_2	8.12	8.50	-0.38	6	18.7
B46B0068_1	8.12	8.51	-0.39	5	18.7
B46B0059_1	19.06	19.60	-0.54	3	19.4
B46B0054_3	8.28	10.37	-2.09	7	18.2

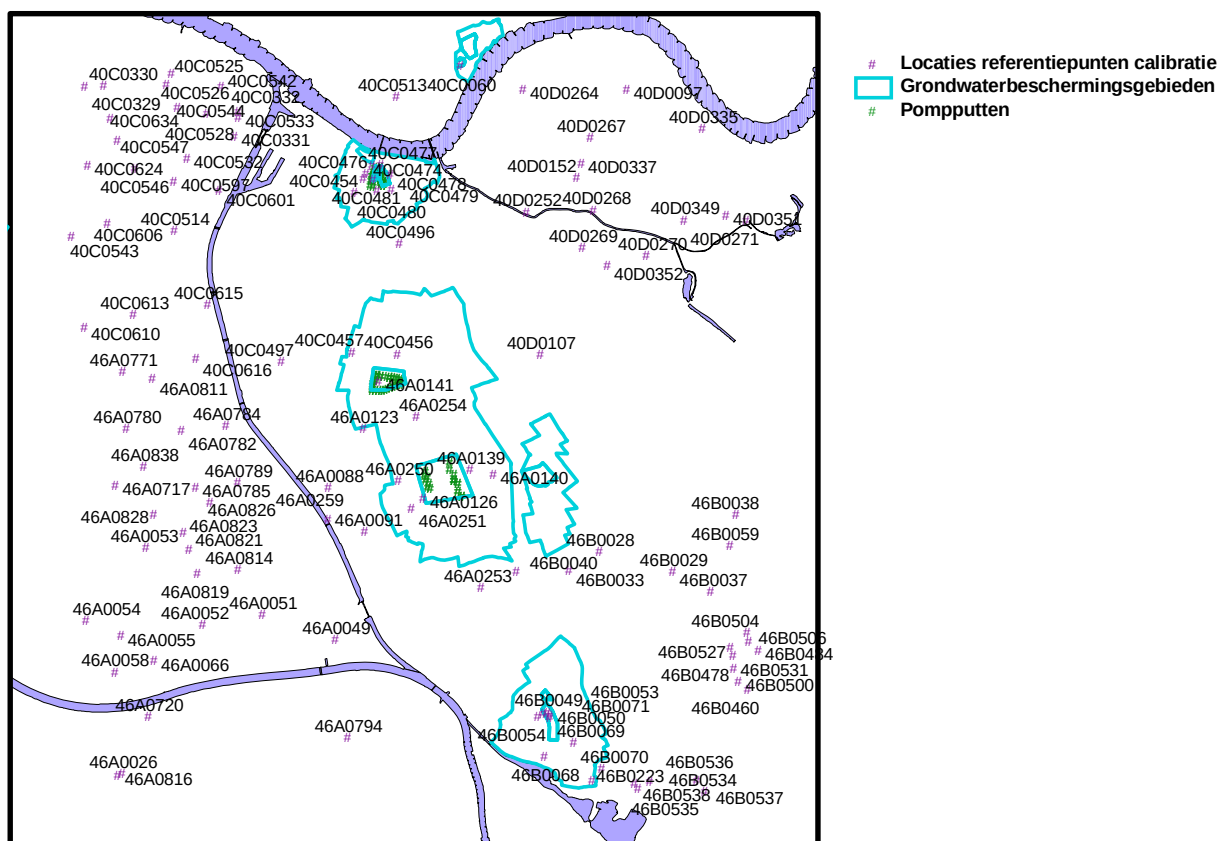
Code waarnemingsfilter	Waargenomen stijghoogte (m+NAP)	Berekende stijghoogte (m+NAP)	Vershil (m)	Modellaag	Aantal waarnemingen
B46B0054_2	8.30	10.45	-2.15	6	20.1
B46B0054_1	8.82	10.45	-1.63	4	17
B46B0053_3	8.12	10.90	-2.78	7	16.4
B46B0053_1	10.97	11.03	-0.06	5	16.5
B46B0051_3	8.23	8.70	-0.47	7	18.4
B46B0051_2	8.21	8.70	-0.49	7	20.3
B46B0050_3	8.19	10.36	-2.17	7	37.2
B46B0050_2	9.94	11.34	-1.40	6	37.3
B46B0050_1	10.65	11.34	-0.69	6	37.4
B46B0049_2	7.96	11.31	-3.35	7	16.5
B46B0049_1	10.88	11.61	-0.73	5	16.6
B46B0049_1	10.88	11.61	-0.73	6	16.6
B46B0040_1	10.41	15.67	-5.26	5	94
B46B0038_5	11.80	14.84	-3.04	8	21.3
B46B0038_4	13.37	15.70	-2.33	7	27.6
B46B0038_3	17.70	19.65	-1.95	6	20
B46B0038_2	17.46	19.65	-2.19	4	20.2
B46B0038_1	17.67	19.65	-1.98	3	27.5
B46B0037_7	16.17	16.40	-0.23	10	23.3
B46B0037_6	12.10	16.40	-4.30	8	19.4
B46B0037_5	12.01	16.40	-4.39	8	31.6
B46B0037_4	21.37	17.12	4.25	7	19.9
B46B0037_3	21.19	20.81	0.38	6	19.4
B46B0037_2	21.18	20.81	0.37	4	19.4
B46B0037_1	20.93	20.81	0.12	3	30.9
B46B0033_1	30.56	20.10	10.50	4	94.2
B46B0029_2	26.80	23.27	3.53	4	31.8
B46B0029_1	26.67	-	-	2	31.8
B46B0028_4	34.83	21.76	13.10	6	20
B46B0028_3	34.82	21.76	13.10	5	20
B46B0028_2	34.85	21.76	13.10	3	19.4
B46B0028_1	34.80	-	-	2	31
B46B0028_1	34.80	21.76	13.00	3	31
B46A0838_2	6.98	7.34	-0.36	4	6.6
B46A0838_1	7.92	7.34	0.58	4	3.3
B46A0828_3	6.92	7.85	-0.93	4	8.8
B46A0828_1	8.79	7.85	0.95	4	7.1
B46A0826_2	7.20	7.55	-0.35	4	8.7
B46A0826_1	8.03	7.55	0.48	4	8.3
B46A0823_2	7.21	7.80	-0.59	4	7.6
B46A0823_1	10.47	7.80	2.67	4	8.8
B46A0821_2	7.22	7.76	-0.54	4	8.8
B46A0819_1	7.27	7.47	-0.20	4	4.1
B46A0816_1	8.13	8.08	0.05	4	40
B46A0814_1	8.65	7.55	1.10	4	32.1
B46A0811_1	6.27	6.75	-0.48	4	13.2
B46A0794_1	7.97	7.69	0.28	4	16.7
B46A0789_1	7.22	7.23	-0.01	4	12.3
B46A0785_1	7.19	7.28	-0.09	4	8.5
B46A0784_1	6.78	7.27	-0.49	4	13

Code waarnemingsfilter	Waargenomen stijghoogte (m+NAP)	Berekende stijghoogte (m+NAP)	Vershil (m)	Modellaag	Aantal waarnemingen
B46A0782_1	6.35	6.90	-0.55	4	13.5
B46A0780_1	6.48	6.70	-0.22	4	13.5
B46A0771_1	6.60	6.64	-0.04	4	13.5
B46A0720_1	7.96	7.90	0.06	4	28.4
B46A0717_1	6.67	6.94	-0.27	5	20.6
B46A0259_3	7.75	7.64	0.11	7	94.3
B46A0259_2	7.75	7.65	0.11	6	17.2
B46A0259_1	7.77	7.65	0.12	5	94.5
B46A0254_3	7.30	6.92	0.38	7	17.1
B46A0254_2	7.31	7.79	-0.48	5	17.1
B46A0254_2	7.31	7.32	-0.01	6	17.1
B46A0254_1	7.33	7.79	-0.46	4	94.3
B46A0254_1	7.33	7.79	-0.46	5	94.3
B46A0253_1	8.61	12.05	-3.44	5	94.3
B46A0251_3	7.85	8.09	-0.24	7	11.2
B46A0251_2	7.85	8.10	-0.25	6	11.2
B46A0251_1	7.86	8.10	-0.24	5	11.2
B46A0250_3	7.72	7.54	0.18	7	11.2
B46A0250_2	7.73	7.56	0.17	5	9.2
B46A0250_2	7.73	7.56	0.17	6	9.2
B46A0250_1	7.70	7.56	0.14	4	11.2
B46A0250_1	7.70	7.56	0.14	5	11.2
B46A0141_2	6.53	4.41	2.12	6	10.8
B46A0141_1	6.52	4.41	2.11	5	94.5
B46A0140_2	8.39	12.80	-4.41	6	32
B46A0140_1	8.48	12.80	-4.32	5	108.7
B46A0139_1	8.13	10.30	-2.17	6	14.4
B46A0126_3	7.77	8.00	-0.23	7	17.1
B46A0126_3	7.77	8.00	-0.23	8	17.1
B46A0126_2	7.77	8.00	-0.23	6	17.1
B46A0126_1	7.90	8.00	-0.10	4	94.3
B46A0126_1	7.90	8.00	-0.10	5	94.3
B46A0123_1	7.59	6.97	0.62	6	55.6
B46A0091_1	7.93	7.73	0.20	5	51.6
B46A0091_1	7.93	7.72	0.21	6	51.6
B46A0088_1	7.77	7.62	0.15	5	51.6
B46A0088_1	7.77	7.61	0.16	6	51.6
B46A0066_1	7.54	7.52	0.02	4	51.5
B46A0066_1	7.54	7.52	0.02	5	51.5
B46A0066_1	7.54	7.52	0.02	6	51.5
B46A0058_1	7.56	7.52	0.04	4	51.2
B46A0058_1	7.56	7.52	0.04	5	51.2
B46A0058_1	7.56	7.52	0.04	6	51.2
B46A0055_1	7.25	7.30	-0.05	4	51.5
B46A0055_1	7.25	7.31	-0.06	5	51.5
B46A0055_1	7.25	7.31	-0.06	6	51.5
B46A0054_1	7.05	6.86	0.19	4	51.4
B46A0054_1	7.05	7.14	-0.09	5	51.4
B46A0054_1	7.05	7.14	-0.09	6	51.4
B46A0053_1	6.89	7.40	-0.51	4	51.3

Code waarnemingsfilter	Waargenomen stijghoogte (m+NAP)	Berekende stijghoogte (m+NAP)	Verschil (m)	Modellaag	Aantal waarnemingen
B46A0053_1	6.89	7.14	-0.25	5	51.3
B46A0053_1	6.89	7.14	-0.25	6	51.3
B46A0052_1	7.50	7.45	0.05	4	51.3
B46A0052_1	7.50	7.45	0.05	5	51.3
B46A0052_1	7.50	7.45	0.05	6	51.3
B46A0051_1	7.78	7.69	0.09	6	51.3
B46A0049_1	7.96	7.82	0.14	4	51.5
B46A0049_1	7.96	7.76	0.20	5	51.5
B46A0049_1	7.96	7.74	0.22	6	51.5
B46A0049_1	7.96	7.74	0.23	7	51.5
B46A0026_1	8.13	8.11	0.02	5	40.2
B46A0026_1	8.13	8.02	0.11	6	40.2
B40D0352_1	8.86	10.81	-1.95	4	7.8
B40D0351_1	8.78	9.51	-0.73	4	7.6
B40D0349_1	8.75	9.58	-0.83	4	94.2
B40D0337_1	8.96	8.98	-0.02	4	11.6
B40D0335_1	8.66	9.40	-0.74	4	7.6
B40D0271_2	10.02	9.55	0.47	4	11
B40D0271_1	8.80	9.55	-0.75	4	11
B40D0270_2	9.05	10.48	-1.43	4	10.9
B40D0270_1	9.06	10.48	-1.42	4	10.9
B40D0269_2	9.32	10.30	-0.98	4	11
B40D0269_1	9.35	10.30	-0.95	4	11.1
B40D0268_2	8.53	9.36	-0.83	4	10.9
B40D0268_1	8.46	9.36	-0.90	4	12
B40D0267_2	8.70	9.10	-0.40	4	12
B40D0267_1	8.74	9.10	-0.36	4	12
B40D0264_2	8.03	8.29	-0.26	4	10.2
B40D0264_1	8.06	8.29	-0.23	4	10.2
B40D0252_1	8.91	8.86	0.05	4	11.6
B40D0152_2	8.68	9.28	-0.60	5	17.6
B40D0152_1	8.73	8.91	-0.18	4	94.3
B40D0107_2	32.96	19.65	13.30	4	94.2
B40D0097_2	8.74	8.79	-0.05	8	11.7
B40D0097_1	8.70	8.81	-0.11	6	11.7
B40C0634_1	6.83	7.29	-0.46	4	5.7
B40C0624_1	6.48	6.53	-0.05	4	6.7
B40C0616_1	6.60	6.84	-0.24	4	12.9
B40C0615_1	7.09	7.23	-0.14	4	13.4
B40C0613_1	6.12	6.45	-0.33	4	13.4
B40C0610_1	6.07	6.18	-0.11	4	16.7
B40C0606_1	6.07	6.05	0.03	4	20.4
B40C0601_1	7.48	7.42	0.07	4	13.3
B40C0597_1	6.79	6.85	-0.06	4	8.5
B40C0547_1	6.82	6.60	0.23	5	20.9
B40C0546_3	6.79	6.52	0.27	8	6.6
B40C0546_2	6.77	6.67	0.10	6	6.6
B40C0546_1	6.75	6.78	-0.03	4	6.6
B40C0546_1	6.75	6.68	0.07	5	6.6
B40C0544_1	7.21	7.13	0.08	5	6.5

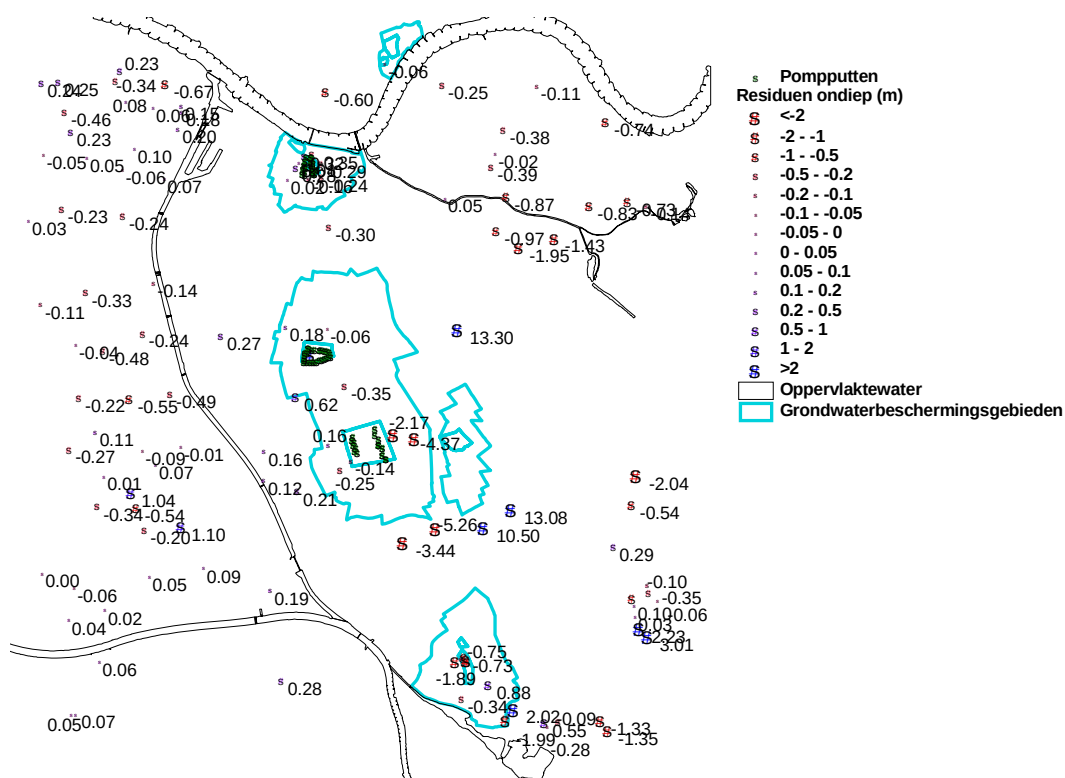
Code waarnemingsfilter	Waargenomen stijghoogte (m+NAP)	Berekende stijghoogte (m+NAP)	Verschil (m)	Modellaag	Aantal waarnemingen
B40C0543_1	6.14	6.37	-0.23	5	13.3
B40C0542_1	7.60	8.27	-0.67	4	12.4
B40C0540_1	5.91	1.96	3.95	8	94.7
B40C0533_1	7.42	7.24	0.18	5	13.6
B40C0532_1	7.17	7.07	0.10	5	13.7
B40C0528_1	7.27	7.21	0.06	5	13.1
B40C0526_1	7.26	8.11	-0.85	4	13.6
B40C0526_1	7.26	7.08	0.18	5	13.6
B40C0525_1	7.34	7.11	0.23	5	13.6
B40C0514_1	6.66	6.90	-0.24	5	7.3
B40C0513_1	7.46	8.08	-0.62	4	6.7
B40C0513_1	7.46	8.06	-0.60	5	6.7
B40C0513_1	7.46	8.05	-0.59	6	6.7
B40C0497_1	7.54	7.27	0.27	5	92.5
B40C0496_1	7.84	8.14	-0.30	5	94.4
B40C0481_1	7.10	6.91	0.20	4	11.9
B40C0481_1	7.10	6.91	0.20	5	11.9
B40C0481_1	7.10	6.90	0.20	6	11.9
B40C0480_2	7.01	7.24	-0.23	6	11.3
B40C0480_2	7.01	6.58	0.43	7	11.3
B40C0480_1	7.11	7.24	-0.13	4	11.3
B40C0480_1	7.11	7.24	-0.13	5	11.3
B40C0480_1	7.11	7.24	-0.13	6	11.3
B40C0479_3	6.91	4.75	2.16	8	11.3
B40C0479_2	7.21	7.44	-0.23	6	11.3
B40C0479_1	7.20	7.44	-0.24	4	11.3
B40C0479_1	7.20	7.44	-0.24	5	11.3
B40C0478_3	7.07	6.91	0.16	7	11.3
B40C0478_2	7.11	7.40	-0.29	6	11.3
B40C0478_1	7.12	7.41	-0.29	4	94.6
B40C0478_1	7.12	7.41	-0.29	5	94.6
B40C0478_1	7.12	7.40	-0.28	6	94.6
B40C0477_3	6.34	3.33	3.01	8	94.5
B40C0477_3	6.34	4.43	1.91	9	94.5
B40C0477_2	7.00	6.82	0.18	7	94.6
B40C0477_1	7.25	7.60	-0.35	4	94.6
B40C0477_1	7.25	7.60	-0.35	5	94.6
B40C0476_3	6.43	5.14	1.29	8	94.6
B40C0476_3	6.43	5.26	1.18	9	94.6
B40C0476_2	6.87	6.29	0.58	7	94.6
B40C0476_1	7.66	7.37	0.30	5	94.6
B40C0476_1	7.66	7.32	0.34	6	94.6
B40C0475_2	6.73	6.99	-0.26	6	94.8
B40C0475_2	6.73	6.10	0.63	7	94.8
B40C0475_1	7.13	6.98	0.15	5	94.8
B40C0475_1	7.13	6.99	0.14	6	94.8
B40C0474_3	6.61	5.40	1.21	8	94.5
B40C0474_3	6.61	5.30	1.31	9	94.5
B40C0474_2	6.80	5.87	0.93	7	11.2
B40C0474_2	6.80	5.40	1.40	8	11.2

Code waarnemingsfilter	Waargenomen stijghoogte (m+NAP)	Berekende stijghoogte (m+NAP)	Verskil (m)	Modellaag	Aantal waarnemingen
B40C0474_1	7.16	6.83	0.33	5	11.2
B40C0474_1	7.16	6.94	0.22	6	11.2
B40C0457_3	7.24	6.40	0.84	7	11.3
B40C0457_2	7.25	6.86	0.39	6	11.3
B40C0457_1	7.26	7.19	0.07	4	11.3
B40C0457_1	7.26	7.19	0.07	5	11.3
B40C0456_3	7.25	7.10	0.15	7	11.3
B40C0456_2	7.22	7.36	-0.14	6	11.3
B40C0456_1	7.35	7.37	-0.02	4	94.4
B40C0456_1	7.35	7.37	-0.01	5	94.4
B40C0454_3	7.13	7.19	-0.06	6	11
B40C0454_2	7.23	7.19	0.04	5	11.1
B40C0454_2	7.23	7.19	0.04	6	11.1
B40C0454_1	7.23	7.19	0.04	5	11.1
B40C0332_1	7.40	7.25	0.15	5	6.7
B40C0332_1	7.40	7.25	0.15	6	6.7
B40C0331_1	7.40	7.21	0.19	5	6.7
B40C0331_1	7.40	7.20	0.20	6	6.7
B40C0330_1	7.02	6.78	0.24	5	6.8
B40C0330_1	7.02	6.78	0.25	6	6.8
B40C0329_1	6.90	6.67	0.23	5	6.4
B40C0329_1	6.90	6.66	0.24	6	6.4
B40C0163_1	5.64	-0.78	6.42	8	94.7
B40C0060_3	7.39	7.72	-0.33	10	20.7
B40C0060_2	7.71	7.73	-0.02	8	20.8
B40C0060_1	8.05	8.11	-0.06	6	19.8

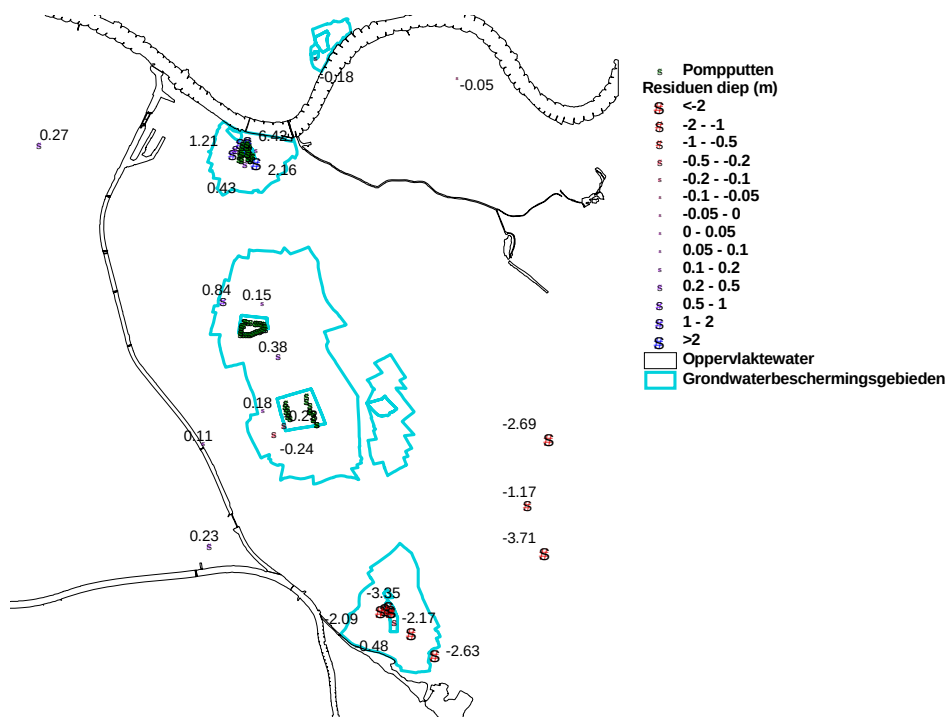


Figuur 25 Locaties referentiepunten stijghoogten

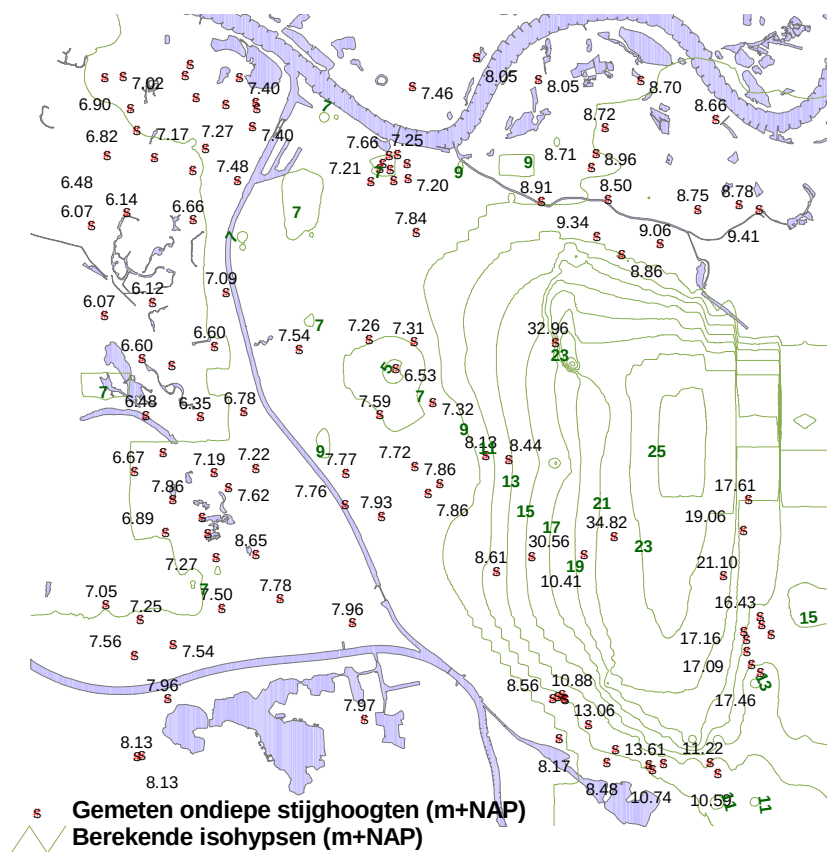
VII Calibratieresultaten in kaart



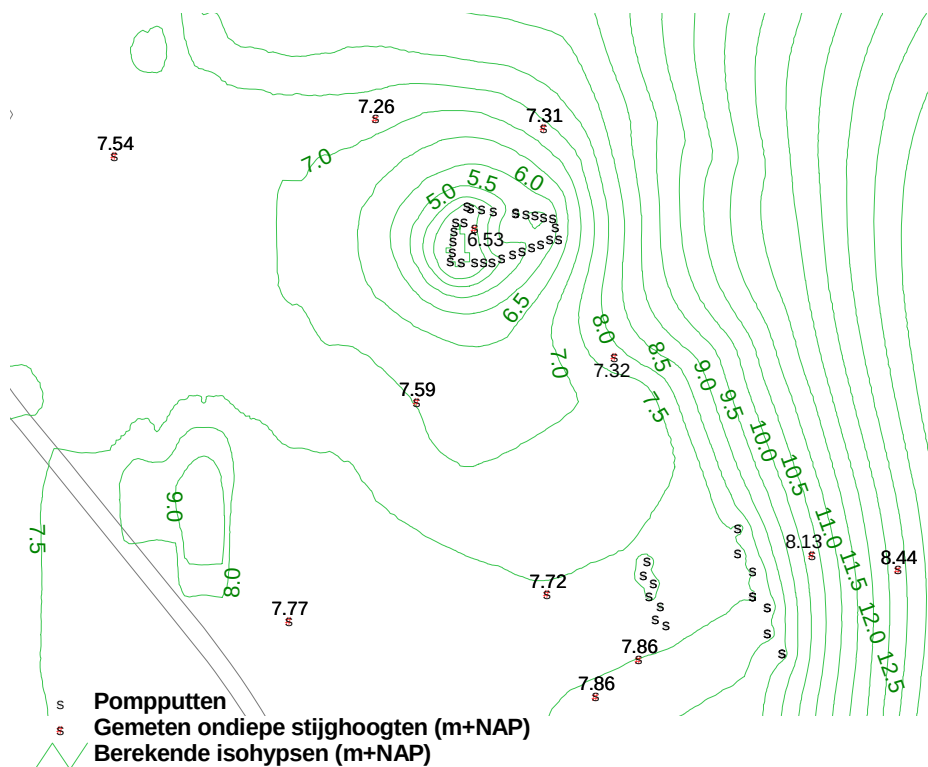
Figuur 26 Verschil tussen gemeten en berekende stijghoogten (ondiep)



Figuur 27 Verschil tussen gemeten en berekende stijghoogten (diep)



Figuur 28 Berekende Isohypsen 1995-2004



Figuur 29 Berekende Isohypsen 1995-2004 (detail)

VIII Gecalibreerde parameterwaarden

Verschillen tussen initiële en gecalibreerde parameterwaarden.

Legenda bij Tabel 14:

Kolom	Betekenis
1	Parametercode
2	Modellaag
3	Zone (deelgebied)
4	Minimaal toegestane factor bij calibratie
5	Maximaal toegestane factor bij calibratie
6	Gecalibreerde factor

Tabel 14 Initiële en gecalibreerde parameterwaarden

1	2	3	4	5	6
rch1		1	0.2	2	2.000
rch2		2	0.2	2	2.000
rch3		3	0.2	2	0.897
rch4		4	0.2	2	1.037
rch5		5	0.2	2	2.000
rch6		6	0.2	2	2.000
rch7		7	0.2	2	2.000
HK_1_1	1	1	0.1	10	1.329
HK_1_2	1	2	0.1	10	1.229
HK_1_3	1	3	0.1	10	9.951
HK_1_4	1	4	0.1	10	1.675
HK_1_5	1	5	0.1	10	1.297
HK_1_6	1	6	0.1	10	2.211
HK_1_7	1	7	0.1	10	0.962
HK_1_8	1	8	0.1	10	1.405
HK_1_9	1	9	0.1	10	0.755
HK_1_10	1	10	0.1	10	4.190
HK_1_11	1	11	0.1	10	0.100
HK_1_12	1	12	0.1	10	1.262
HK_1_13	1	13	0.1	10	0.312
HK_1_14	1	14	0.1	10	0.918
HK_1_15	1	15	0.001	10	0.953
HK_2_1	2	1	0.1	10	0.981
HK_2_2	2	2	0.1	10	1.480
HK_2_3	2	3	0.1	10	1.587
HK_2_4	2	4	0.1	10	1.185
HK_2_5	2	5	0.1	10	0.864
HK_2_6	2	6	0.1	10	1.224
HK_2_7	2	7	0.1	10	0.234
HK_2_8	2	8	0.1	10	2.482
HK_2_9	2	9	0.1	10	1.290
HK_2_10	2	10	0.1	10	0.219

1	2	3	4	5	6
HK_2_11	2	11	0.1	10	1.079
HK_2_12	2	12	0.1	10	2.428
HK_2_13	2	13	0.1	10	1.136
HK_2_14	2	14	0.1	10	1.946
HK_2_15	2	15	0.001	10	1.024
HK_3_1	3	1	0.1	10	0.971
HK_3_2	3	2	0.1	10	1.450
HK_3_3	3	3	0.1	10	0.279
HK_3_4	3	4	0.1	10	1.636
HK_3_5	3	5	0.1	10	0.802
HK_3_6	3	6	0.1	10	0.113
HK_3_7	3	7	0.1	10	1.127
HK_3_8	3	8	0.1	10	0.100
HK_3_9	3	9	0.1	10	0.908
HK_3_10	3	10	0.1	10	0.100
HK_3_11	3	11	0.1	10	0.114
HK_3_12	3	12	0.1	10	0.100
HK_3_13	3	13	0.1	10	1.080
HK_3_14	3	14	0.1	10	0.100
HK_3_15	3	15	0.001	10	0.001
HK_4_1	4	1	0.1	10	5.090
HK_4_2	4	2	0.1	10	7.277
HK_4_3	4	3	0.1	10	0.111
HK_4_4	4	4	0.1	10	3.230
HK_4_5	4	5	0.1	10	0.411
HK_4_6	4	6	0.1	10	0.585
HK_4_7	4	7	0.1	10	0.100
HK_4_8	4	8	0.1	10	0.100
HK_4_9	4	9	0.1	10	0.100
HK_4_10	4	10	0.1	10	0.100
HK_4_11	4	11	0.1	10	0.116
HK_4_12	4	12	0.1	10	0.113
HK_4_13	4	13	0.1	10	0.100
HK_4_14	4	14	0.1	10	0.100
HK_4_15	4	15	0.001	10	0.001
HK_5_1	5	1	0.1	10	0.102
HK_5_2	5	2	0.1	10	0.784
HK_5_3	5	3	0.1	10	1.284
HK_5_4	5	4	0.1	10	3.959
HK_5_5	5	5	0.1	10	0.912
HK_5_6	5	6	0.1	10	0.938
HK_5_7	5	7	0.1	100	0.100
HK_5_8	5	8	0.1	10	0.100
HK_5_9	5	9	0.1	10	0.134
HK_5_10	5	10	0.1	10	0.101
HK_5_11	5	11	0.1	10	0.100
HK_5_12	5	12	0.1	10	0.100
HK_5_13	5	13	0.1	10	0.114
HK_5_14	5	14	0.1	100	0.110
HK_5_15	5	15	0.001	10	0.001
HK_6_1	6	1	0.1	10	0.919

1	2	3	4	5	6
HK_6_2	6	2	0.1	10	0.975
HK_6_3	6	3	0.1	10	0.954
HK_6_4	6	4	0.1	10	0.966
HK_6_5	6	5	0.1	10	2.085
HK_6_6	6	6	0.1	10	0.413
HK_6_7	6	7	0.1	100	0.209
HK_6_8	6	8	0.1	10	0.100
HK_6_9	6	9	0.1	10	2.060
HK_6_10	6	10	0.1	10	0.633
HK_6_11	6	11	0.1	10	0.223
HK_6_12	6	12	0.1	10	0.100
HK_6_13	6	13	0.1	10	0.100
HK_6_14	6	14	0.1	100	0.100
HK_6_15	6	15	0.001	10	0.001
HK_7_1	7	1	0.1	10	0.107
HK_7_2	7	2	0.1	10	0.230
HK_7_3	7	3	0.1	10	0.100
HK_7_4	7	4	0.1	100	0.976
HK_7_5	7	5	0.1	100	0.103
HK_7_6	7	6	0.1	100	12.776
HK_8_1	8	1	0.1	10	0.186
HK_8_2	8	2	0.1	10	0.119
HK_8_3	8	3	0.1	10	0.100
HK_8_4	8	4	0.1	100	0.100
HK_8_5	8	5	0.1	100	0.100
HK_8_6	8	6	0.1	10	0.650
HK_9_1	9	1	0.1	10	0.416
HK_9_2	9	2	0.1	10	0.955
HK_9_3	9	3	0.1	10	0.100
HK_9_4	9	4	0.1	10	7.264
HK_9_5	9	5	0.1	100	0.100
HK_9_6	9	6	0.1	10	0.534
HK_10_1	10	1	0.1	10	8.812
HK_10_2	10	2	0.1	10	0.797
HK_10_3	10	3	0.1	10	0.117
HK_10_4	10	4	0.1	10	0.100
HK_10_5	10	5	0.1	10	0.100
HK_10_6	10	6	0.1	10	0.471
VK_1_1	1		0.1	10	1.964
VK_1_10	1		0.1	10	0.997
VK_1_11	1		0.1	10	0.955
VK_1_12	1		0.1	10	0.973
VK_1_13	1		0.1	10	1.025
VK_1_14	1		0.1	10	1.649
VK_1_15	1		0.01	10	2.086
VK_1_2	1		0.1	10	1.723
VK_1_3	1		0.1	10	0.925
VK_1_4	1		0.1	10	0.256
VK_1_5	1		0.1	10	0.949
VK_1_6	1		0.1	10	2.051
VK_1_7	1		0.1	10	0.977

1	2	3	4	5	6
VK_1_8	1		0.1	10	1.335
VK_1_9	1		0.1	10	0.915
VK_10_1	10		0.1	10	0.793
VK_10_2	10		0.1	10	1.387
VK_10_3	10		0.1	10	0.702
VK_10_4	10		0.1	10	0.927
VK_10_5	10		0.1	10	0.919
VK_10_6	10		0.1	10	0.602
VK_2_1	2		0.1	10	0.824
VK_2_10	2		0.1	10	0.981
VK_2_11	2		0.1	10	0.998
VK_2_12	2		0.1	10	0.238
VK_2_13	2		0.1	10	1.617
VK_2_14	2		0.1	10	0.971
VK_2_15	2		0.01	10	1.468
VK_2_2	2		0.1	10	1.667
VK_2_3	2		0.1	10	0.938
VK_2_4	2		0.1	10	2.261
VK_2_5	2		0.1	10	0.221
VK_2_6	2		0.1	10	0.174
VK_2_7	2		0.1	10	0.939
VK_2_8	2		0.1	10	0.117
VK_2_9	2		0.1	10	1.922
VK_3_1	3		0.1	10	1.000
VK_3_10	3		0.1	10	8.152
VK_3_11	3		0.1	10	0.923
VK_3_12	3		0.1	10	0.926
VK_3_13	3		0.1	10	0.911
VK_3_14	3		0.1	10	0.729
VK_3_15	3		0.01	10	1.742
VK_3_2	3		0.1	10	1.853
VK_3_3	3		0.1	10	1.054
VK_3_4	3		0.1	10	1.670
VK_3_5	3		0.1	10	0.990
VK_3_6	3		0.1	10	0.889
VK_3_7	3		0.1	10	0.954
VK_3_8	3		0.1	10	2.853
VK_3_9	3		0.1	10	0.100
VK_4_1	4		0.1	10	3.514
VK_4_10	4		0.1	10	0.100
VK_4_11	4		0.1	10	0.957
VK_4_12	4		0.1	10	0.954
VK_4_13	4		0.1	10	0.129
VK_4_14	4		0.1	10	1.303
VK_4_15	4		0.01	10	0.010
VK_4_2	4		0.1	10	0.887
VK_4_3	4		0.1	10	1.010
VK_4_4	4		0.1	10	4.046
VK_4_5	4		0.1	10	4.655
VK_4_6	4		0.1	10	0.676
VK_4_7	4		0.1	10	0.130

1	2	3	4	5	6
VK_4_8	4		0.1	10	0.210
VK_4_9	4		0.1	10	0.987
VK_5_1	5		0.1	10	0.237
VK_5_10	5		0.1	10	0.982
VK_5_11	5		0.1	10	7.588
VK_5_12	5		0.1	10	0.914
VK_5_13	5		0.1	10	1.611
VK_5_14	5		0.1	10	0.217
VK_5_15	5		0.01	10	0.010
VK_5_2	5		0.1	10	1.180
VK_5_3	5		0.1	10	0.961
VK_5_4	5		0.1	10	0.134
VK_5_5	5		0.1	10	0.690
VK_5_6	5		0.1	10	0.321
VK_5_7	5		0.1	10	1.717
VK_5_8	5		0.1	10	0.119
VK_5_9	5		0.1	10	2.589
VK_6_1	6		0.1	10	0.949
VK_6_10	6		0.1	10	2.646
VK_6_11	6		0.1	10	0.684
VK_6_12	6		0.1	10	6.379
VK_6_13	6		0.1	10	0.140
VK_6_14	6		0.1	10	0.761
VK_6_15	6		0.01	10	9.049
VK_6_2	6		0.1	10	0.925
VK_6_3	6		0.1	10	0.143
VK_6_4	6		0.1	10	0.100
VK_6_5	6		0.1	10	1.082
VK_6_6	6		0.1	10	0.100
VK_6_7	6		0.1	10	2.231
VK_6_8	6		0.1	10	0.408
VK_6_9	6		0.1	10	8.162
VK_7_1	7		0.1	10	0.310
VK_7_2	7		0.1	10	0.905
VK_7_3	7		0.1	10	0.100
VK_7_4	7		0.1	10	1.955
VK_7_5	7		0.1	10	0.104
VK_7_6	7		0.1	10	9.470
VK_8_1	8		0.1	10	0.613
VK_8_2	8		0.1	10	2.188
VK_8_3	8		0.1	10	0.592
VK_8_4	8		0.1	10	0.581
VK_8_5	8		0.1	10	0.100
VK_8_6	8		0.1	10	0.727
VK_9_1	9		0.1	10	0.109
VK_9_2	9		0.1	10	0.822
VK_9_3	9		0.1	10	2.929
VK_9_4	9		0.1	10	0.910
VK_9_5	9		0.1	10	9.167
VK_9_6	9		0.1	10	0.845
Hla			0.8	1.2	0.800

1	2	3	4	5	6
Hlb			0.8	1.2	0.899
HIIa			0.8	1.2	1.003
HIIf			0.8	1.2	0.970
NMa			0.8	1.2	0.928
NMb			0.8	1.2	0.800
RST			0.8	2	1.038
RWAA			0.1	10	0.924
RMAA			0.1	10	6.916
RMWK			0.1	10	2.741
RMEE			0.1	10	0.154