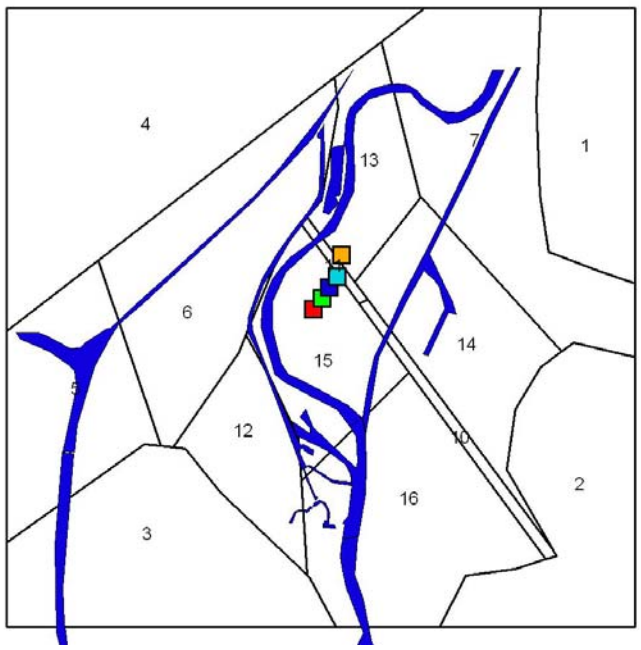
BTO 2007.030
Juni 2007

Risicoanalyse Ruwwaterkwaliteit Pompstation Borgharen

Deel 1
Hydrologisch model



Ministerie van Verkeer
en Waterstaat

Delft Cluster

BTO 2007.030
Juni 2007

Risicoanalyse Ruwwaterkwaliteit Pompstation Borgharen

Deel 1
Hydrologisch model

© 2007
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 electronisch, 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
Risicoanalyse Ruwwaterkwaliteit Pompstation Borgharen
Deelrapport 1, Beschrijving Hydrologisch Model

Projectnummer
111.500.050.005

Projectmanager
Drs. P. Hesen

Kwaliteitsborger
Ir. D. G. Cirkel

Auteurs
Dr. C. Vink
Ing. I. Leunk

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Samenvatting

In dit rapport is de opzet en calibratie van een grondwatermodel van de omgeving van pompstation Borgharen beschreven. Het uiteindelijke doel van de modellering is om inzicht te geven in de toekomstige ruwwaterkwaliteit van Pompstation Borgharen en de daarmee verbonden risico's. Realisering van deze doelstelling vereist dat de grondwaterstroming in het intrekgebied van de winplaats adequaat wordt gesimuleerd. De risicoanalyse van de ruwwaterkwaliteit is beschreven in: "Risicoanalyse ruwwaterkwaliteit Pompstation Borgharen, Deel 2, Beschrijving reactiviteit ondergrond en chemische waterkwaliteit".

Pompstation Borgharen is gelegen in Zuid Limburg, in het Maasdal, op enkele kilometers afstand van Maastricht. De ondergrond van het gebied rond het pompstation bestaat uit een kalksteenformatie van tenminste 150 meter dik, met daarboven op veel locaties een laag met groene zanden en kleien. Deze laag heeft een maximale dikte van 15 meter in de omgeving van het pompstation en is in noordelijke en oostelijke richting steeds beter ontwikkeld. In westelijke richting is deze laag soms geheel afwezig.
Op deze zanden, of soms direct op de kalksteen ligt een grindpakket van 10 tot 20 meter dik. De deklaag bestaat uit rivierklei en is meestal enkele meters dik.

De calibratieperiode loopt van 1997 t/m 2004 en is zo gekozen omdat het een recente periode betreft, die de beste representativiteit voor de toekomst heeft en ook representatief is voor gemiddelde hydrologische omstandigheden in het gebied. Grondwateraanvulling is berekend op basis van landgebruik, bodemtype en grondwatertrap. Initiële schattingen van hydraulische bodemconstanten zijn berekend op basis van boorbeschrijvingen en daaraan gekoppelde k-waarden. De calibratie is uitgevoerd met een genetisch algoritme, waarbij twee doelstellingen zijn geoptimaliseerd d.m.v. de geautomatiseerde aanpassing van 254 calibratieparameters. De eerste doelstelling van deze parameteroptimalisatie betreft 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.

Na de calibratie van het model komen de verschillen tussen de berekende en waargenomen stijghoogten overeen met wat in de praktijk verwacht mag worden van een grondwatermodel in het betreffende gebied, waar grote verschillen in stijghoogte over relatief kleine afstanden voorkomen. Het gemiddelde absolute verschil bedraagt ca. 1.15 m., het gemiddelde verschil - 22 cm. Op grond van deze resultaten mag verwacht worden dat het stromingspatroon goed kan worden gesimuleerd en dat het model daarom effectief gebruikt zal kunnen worden bij de risicoanalyse van de ruwwaterkwaliteit.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING 1

1 INLEIDING 5

1.1 Achtergrond en aanleiding 5

1.2 Aanpak van het onderzoek 5

1.3 Leeswijzer 5

2 GEBIEDSBESCHRIJVING 7

2.1 Ligging modelgebied 7

2.2 Geologie 8

2.3 Oppervlaktewater in het modelgebied 9

2.4 Geohydrologie 9

3 OPZET EN BESCHRIJVING VAN HET HYDROLOGISCH MODEL 11

3.1 Algemeen 11

3.2 Afbakening modelgebied 11

3.3 Netwerk 12

3.4 Slecht-doorlatende lagen 13

3.5 Watervoerende pakketten 14

3.6 Verticale discretisatie 14

3.7 Toekenning van bodemparameters aan de modellagen 17

3.8 Grondwateraanvulling 18

3.9 Rivieren en sloten 19

3.10 Pompstations en onttrekkingsgegevens 21

3.11 Randvoorwaarden 23

3.12 Referentiegegevens van de stijghoogte voor de calibratie 24

4 CALIBRATIE 25

4.1 Keuze rekenperiode voor de calibratie van het stationaire model 25

© Kiwa Water Research

4.2 Calibratiemethodiek 25

4.3 Resultaten 27

4.4 Gevoeligheidsanalyse 30

5 INTREKGEBIED EN VERBLIJFTIJDEN 33

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 39

7 LITERATUUR 40

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

Deze is onderdeel van het bedrijfstakonderzoek van de drinkwaterbedrijven en betreft een pilot 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 pilot studie behelst de toepassing van de ontwikkelde methoden voor risicoschatting van de kwaliteit van het ruwwater op een concrete situatie. Hiermee wordt de methode gedemonstreerd en wordt ervaring opgedaan. Daarnaast wenst NV Waterleidingmaatschappij Limburg inzicht te verkrijgen in risico's en te verwachten ontwikkelingen van de ruwwaterkwaliteit op pompstation Borgharen. Het grondwatermodel voor pompstation Borgharen, dat in dit rapport wordt beschreven, vormt het hydrologische onderdeel van de ruwwaterkwaliteitsprognose en de ruwwaterrisicoanalyse.

1.2 Aanpak van het onderzoek

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 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 Borgharen (WML) is pompstation Heumensoord (Vitens) gekozen als locatie voor een pilot studie. Voor het uitvoeren van de risicoanalyse wordt een gestandaardiseerd werkplan gevolgd. Achtereenvolgend wordt een hydrologische modellering, hydrologische systeemanalyse en een inventarisatie van manifeste en potentiële verontreinigingsbronnen uitgevoerd. Met deze informatie wordt vervolgens een risicoanalyse uitgevoerd.

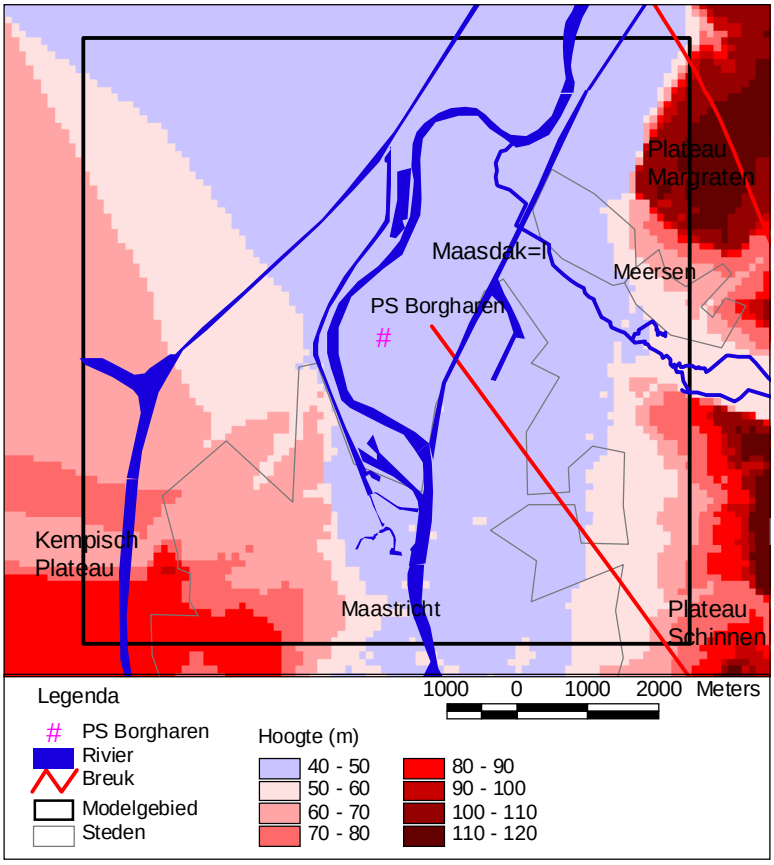
1.3 Leeswijzer

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 Borgharen. 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 kaartvorm opgenomen. De risicoanalyse van de ruwwaterkwaliteit is beschreven in: "Risicoanalyse ruwwaterkwaliteit Pompstation Borgharen, Deel 2, Beschrijving reactiviteit ondergrond en chemische waterkwaliteit".

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Ligging modelgebied

Het modelgebied beslaat een gedeelte van het Maasdal en de aangrenzende terrassen van Zuid Limburg. Er zijn daarom vrij grote hoogteverschillen op korte afstand (Figuur 1). De hoogste delen van het Plateau van Margraten en het Kempisch Plateau zijn ruim 100 m. +NAP. Het Maasdal loopt van ongeveer 47 m. in het zuidelijk deel van het modelgebied geleidelijk af naar ongeveer 42 m. +NAP in het noordelijke deel. Op de hoger gelegen delen van het Maasdal in het gebied is in het zuiden de stad Maastricht gevestigd en overigens de dorpen Borgharen, Itteren, Meerssen, Amby en Bunde, met Lanaken op Belgisch grondgebied in het uiterste westen van het modelgebied. Het pompstation Borgharen wordt geheel omringd door oppervlaktewater. Aan de westkant ligt de meanderende Maas en aan de oostkant het Julianakanaal en de Beatrixhaven.



Figuur 1: Ligging van het wingebied van pompstation Borgharen en van breuken in de ondergrond.

2.2 Geologie

De in de vorige paragraaf beschreven hoogteverschillen zijn een gevolg van tektonische krachten en de eroderende werking van de Maas. De as van het Maasdal ligt globaal Noord - Zuid in het gebied. Het pompstation Borgharen bevindt zich enige honderden meters westelijk van de lengteas van het Maasdal, dat ter plaatse van de winning ongeveer 5 kilometer breed is. In Bijlage II zijn enige boorbeschrijvingen in dwarsprofiel gevisualiseerd.

Uit analyse van de beschikbare boorbeschrijvingen blijkt dat de ondergrond in de omgeving van pompstation Borgharen voor het merendeel wordt afgedekt door een laag Holocene klei of leem van één tot enkele meters. Er zijn echter ook boorbeschrijvingen waar geen aanwezigheid van een deklaag van klei of leem wordt gemeld.

Tijdens het Saalien en Weichselien werden grote delen van Zuid-Limburg met löss bedekt. De eolische lössafzettingen variëren sterk in dikte en kunnen plaatselijk meer dan 15 m dik zijn. Een deel van deze lössafzettingen is tijdens het Holoceen naar het rivierdal gespoeld.

In het Quartair veroorzaakte de opheffing van de Ardennen een toename van de gradiënt van de rivieren, waardoor veel erosie en sedimentatie plaatsvond. In Zuid-Limburg werd een dik pakket grind afgezet. Het grindpakket bestaat uit grove maasgrinden, vaak met een bijmenging van rivierzand, met een dikte van 5 tot 20 meter. Deze afzettingen behoren tot de Kiezeloölietformatie en zijn afgezet vanaf het Plioceen (5 – 1.5 miljoen jaar geleden).

Onder dit grindpakket bevindt zich op veel locaties een laag met fijnere sedimenten, hoofdzakelijk bestaande uit onregelmatig afgezette groene zanden en kleien, afgezet tijdens het Oligoceen (Formaties van Tongeren en Rupel, 23 tot 35 miljoen jaar geleden). Deze laag heeft een maximale dikte van 15 meter in de omgeving van het pompstation en is in noordelijke en oostelijke richting steeds beter ontwikkeld. In westelijke richting is deze laag soms geheel afwezig.

Onder de groene zanden en kleien, ofwel direct onder de grinden, bevindt zich de kalksteenformatie (Formatie van Maastricht), waarschijnlijk in het gehele intrekgebied van de winplaats met een dikte van tenminste 150 meter (zie Figuur 8, zie ook bijlage II). De kalksteenformaties zijn afgezet tijdens het Krijt, 165 – 65 miljoen jaar geleden. De zachte Maastrichtse kalksteen (mergel) domineert in het modelgebied en is afgezet in een rustig deel van de Krijtzee. Er zijn maar weinig boorgegevens beschikbaar die het mogelijk maken dikte van het kalksteenpakket nauwkeurig te schatten. Onder Maastricht is kalksteen aangetroffen tot -415 NAP. In een diepe boring in de omgeving van Rothem is op een diepe van ongeveer 200 m –NAP het begin van een zandlaag onder de kalksteen aangetroffen.

Er bevinden zich enige grote breuken in het modelgebied, als gevolg van tektonische opheffing van de Ardennen. De breuken in de omgeving van de winning Borgharen zijn weergegeven in Figuur 1. De breuken kunnen van invloed zijn op de grondwaterstroming doordat ter plaatse van de breuk de hydraulische weerstand relatief laag is. In de bovenste delen van de kalksteenformaties zijn waarschijnlijk lokaal allerlei scheuren en breukjes

aanwezig. Op grotere diepte neemt de mate waarin de kalksteen gescheurd en geërodeerd is naar verwachting sterk af.

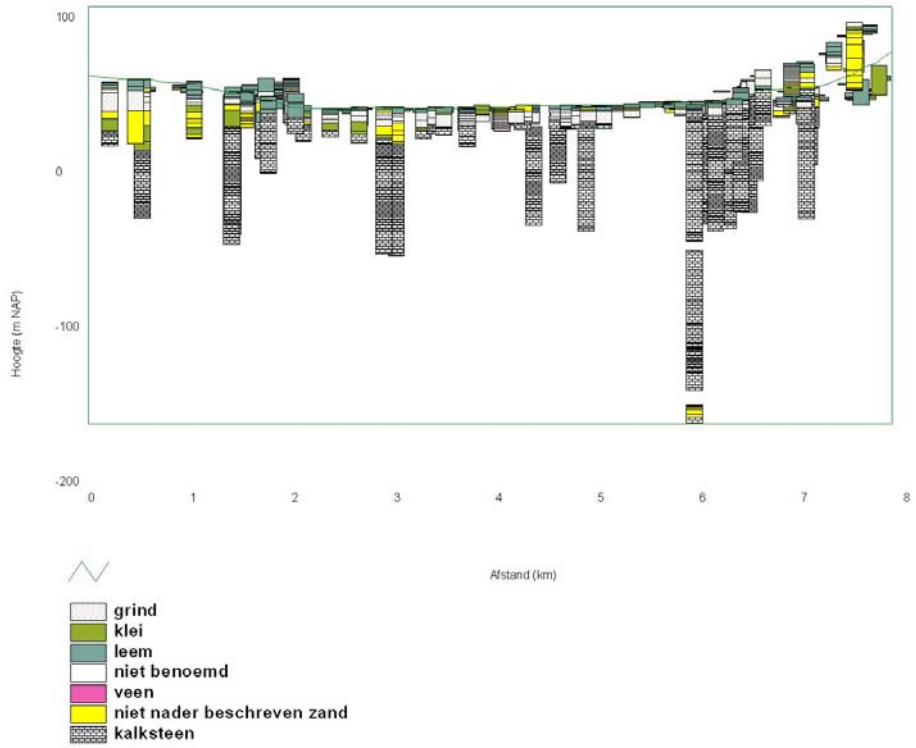
2.3 Oppervlaktewater in het modelgebied

De belangrijkste oppervlaktewateren in relatie tot het onderwerp van deze studie zijn de Maas en de Geul. Het Julianakanaal is van belang voor zover infiltratie optreedt. Bij de aanlegvan het kanaal is er een kleilaag aangebracht,maar de mate waarin deze infiltratie beperkt is niet goed bekend. Het Belgische kanaal Briegden-Neerharen speelt geen rol van betekenis in relatie tot de ruwwaterkwaliteit in pompstation Borgharen. De oppervlaktewateren zijn weergegeven in figuur 3.

Het Julianakanaal is aangelegd tussen 1925 en 1935. De bodem van het Julianakanaal is voorzien van een slecht doorlatende laag zodat het kanaal hydrologisch een nagenoeg afgesloten geheel is (bron: de Maaswerken). De aanleg van de Beatrixhaven is rond 1951 van start gegaan. Waarschijnlijk is ook hier een kleilaag aangebracht, maar net als bij het Julianakanaal is het niet duidelijk in welke mate deze kleilaag infiltratie belemmert.

2.4 Geohydrologie

In het modelgebied komen twee slechtdoorlatende lagen voor die van belang zijn voor pompstation Borgharen. De eerste is de uit klei en leem bestaande deklaag, de tweede is de uit fijne groene zanden en klei bestaande laag (Formaties van Tongeren en Rupel) die in delen van het modelgebied op de kalksteen ligt.
Het eerste watervoerende pakket wordt gevormd door de grove maasgrinden die zich onder de Holocene klei bevinden. Uitgaande van een indicatieve k-waarde van 100 m/d heeft heet eerste watervoerende pakket een kD waarde van 500 tot 2000 m^2/d.
Het tweede watervoerende pakket heeft een indicatieve gemiddelde dikte van ongeveer 150 m in het intrekgebied van pompstation Borgharen. Waarschijnlijk is de dikte van de kalksteenformatie meer dan 150 m. In het algemeen geldt dat de aanwezigheid van scheuren en breuken in de kalksteen afneemt met toenemende diepte. Daardoor neemt de doorlatendheid af met de diepte. De delen van de kalksteenformatie die dieper liggen dan 150 m. beneden NAP beïnvloeden de grondwaterstroming naar de winning en de ruwwaterkwaliteit van de winning Borgharen naar onze inschatting niet significant. In de literatuur wordt voor kalksteen en mergel een k-waarde van 5 m/d genoemd(Bakker, 1991, Ellen, 1989). Dit betekent een indicatieve kD waarde van het kalksteenpakket van 750 m^2/d. De scheiding tussen het 1^e en 2^e watervoerende pakket wordt gevormd door de Formaties van Rupel en Tongeren. Deze scheidende laag is niet overal aanwezig.



Figuur 2 Dwarsprofiel van de ondergrond van het modelgebied over de breedte van het Maasdal, projectielijn West - Oost

3 Opzet en beschrijving van het hydrologisch model

3.1 Algemeen

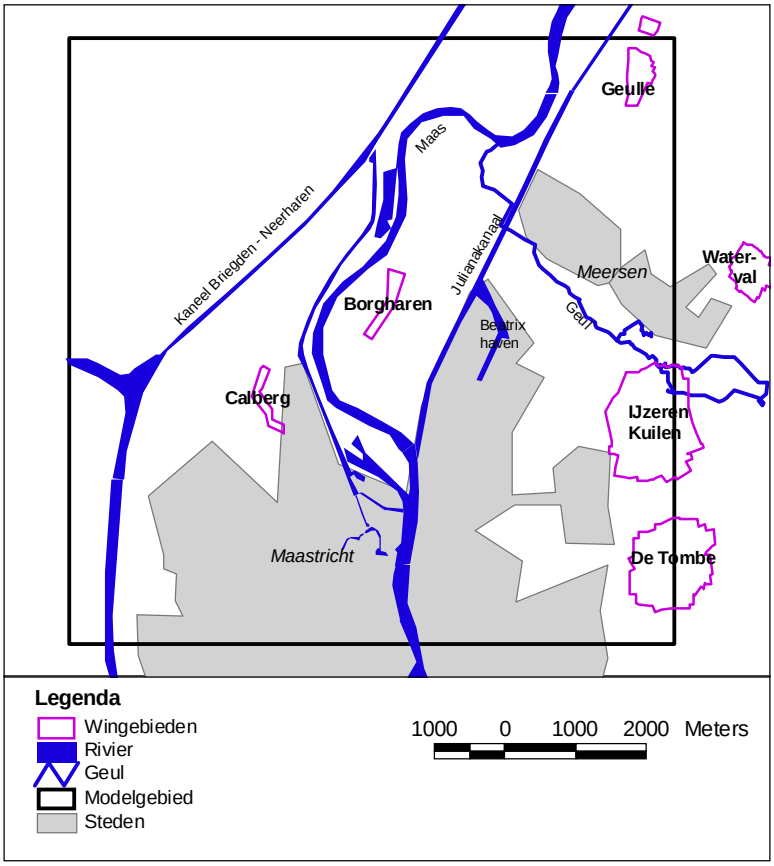
De modellering is uitgevoerd met het pakket Modflow 2000 van de United States Geological Survey. Modflow is een eindig differentiemodel dat is ontwikkeld sinds 1984 (McDonald & Harbaugh, 1984). Bij de calibratie van het model is gebruik gemaakt van een optimalisatieprogramma met genetisch algoritme dat is ontwikkeld bij Elementair Tiel (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 Borgharen te raadplegen en indicatieve berekeningen uit te voeren. De berekening is uitgevoerd met een bekende vuistregel voor hydrologen die o.a. beschreven is door C. Maas in het Nederlandse hydrologische tijdschrift Stromingen (Maas, 1996):
Kies een modelrand verder weg dan 3 √kDc
In een rapport van het Rijksinstituut voor de Drinkwatervoorziening (RID, 1968) wordt een uitwerking van een pompproef beschreven die bij de huidige winplaats Borgharen is uitgevoerd. De resultaten van de berekeningen zijn:

- kD: 620 m2d
- λ: 1450 m.
- c: 3350 d.

Dit betekent een afstand van de winning tot de modelrand van ongeveer 4300 m. Een model met de winning in het centrum dient dan een minimale lengte en breedte te hebben van ongeveer 8.5 km. Op basis van de resultaten van deze berekeningen is een modelgebied vastgesteld van 8.5x8.5 kilometer. De begrenzing van het modelgebied is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3 Begrenzing van het modelgebied

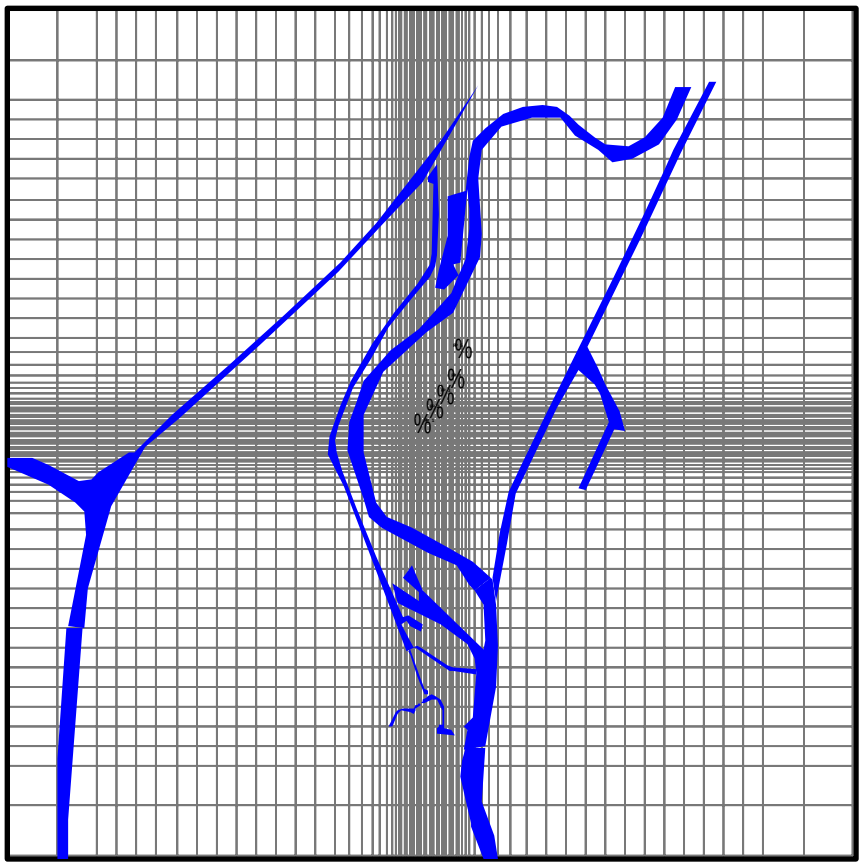
Het modelgebied beslaat een oppervlak van een kleine 70 km^2.

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 wijdere 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 rekencapaciteit 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 weergeven in Figuur 4.

Tabel 1 Kenmerken van het modelnetwerk

Netwerk	Lengte x breedte	Cellen per laag	Kleinste cellen (m)	Grootste cellen (m)
1	69*69	4761	25*25	500*500



Figuur 4 Netwerk van het model

3.4 Slecht-doorlatende lagen

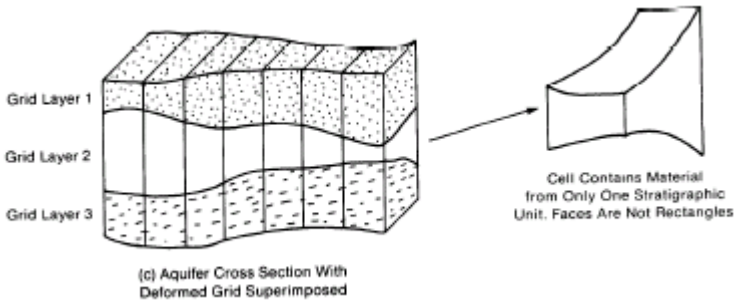
De Holocene kleiafzettingen kunnen beschouwd worden als de eerste slecht - doorlatende laag die zich uitstrekt over het gehele modelgebied. Deze laag is echter lokaal afwezig. Ook in het intrekgebed van pompstation Borgharen is deze laag niet overal aanwezig. De tweede slecht-doorlatende laag wordt gevormd door zanden en keien van de Formaties van Rupel en Tongeren en is gelegen op een diepte van ca. 20- 30 m. +NAP. Deze laag is onregelmatig afgezet en op veel plaatsen in het modelgebied afwezig.

3.5 Watervoerende pakketten

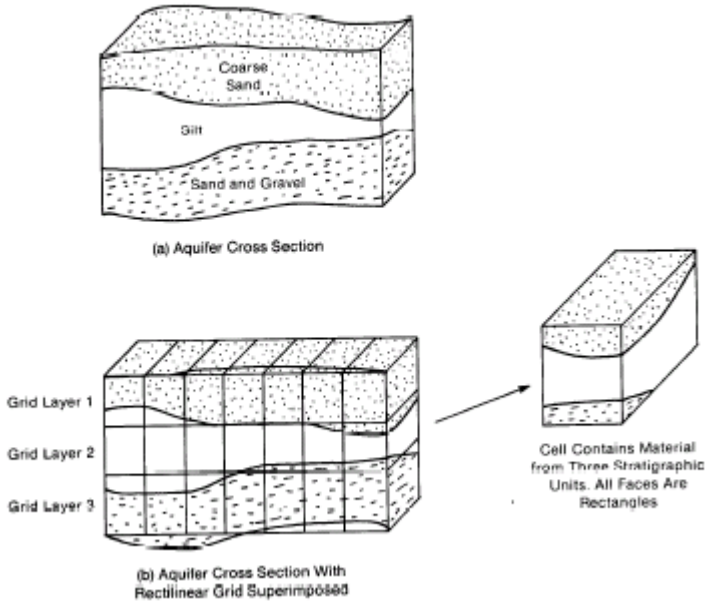
Het eerste watervoerende pakket bestaat uit de grindafzettingen die op de Formatie van Maastricht (kalksteen) ofwel de Formatie van Tongeren (klei, leemhoudende zanden) zijn afgezet. Het tweede watervoerende pakket bestaat uit de kalksteenformatie. Naar verwachting vermindert de doorlatendheid van de kalksteen bij toenemende diepte.
In het zuidoosten van het modelgebied is de stijghoogte in het tweede watervoerende pakket hoger dan in het eerste. In de omgeving van pompstation Borgharen en in de omgeving van de Maas ten noorden van Maastricht is de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket over het algemeen hoger dan in het tweede. Niet overal zijn echter duidelijke stijghoogteverschillen aanwezig. De discordante Formaties van Rupel en Tongeren zijn waarschijnlijk de oorzaak van dit stijghoogtepatroon.

3.6 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).



Figuur 5 Discretisatie volgens het klassieke concept (Macdonald and Harbaugh, 1988)



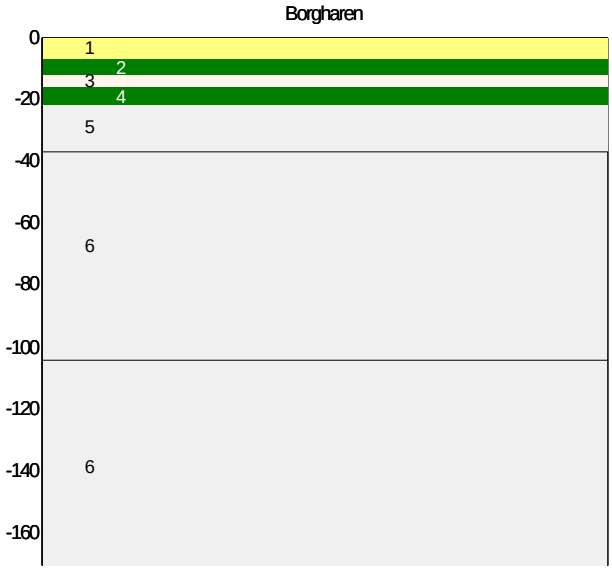
Figuur 6 Discretisatie met uniforme dikte (Macdonald and Harbaugh, 1988)

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.

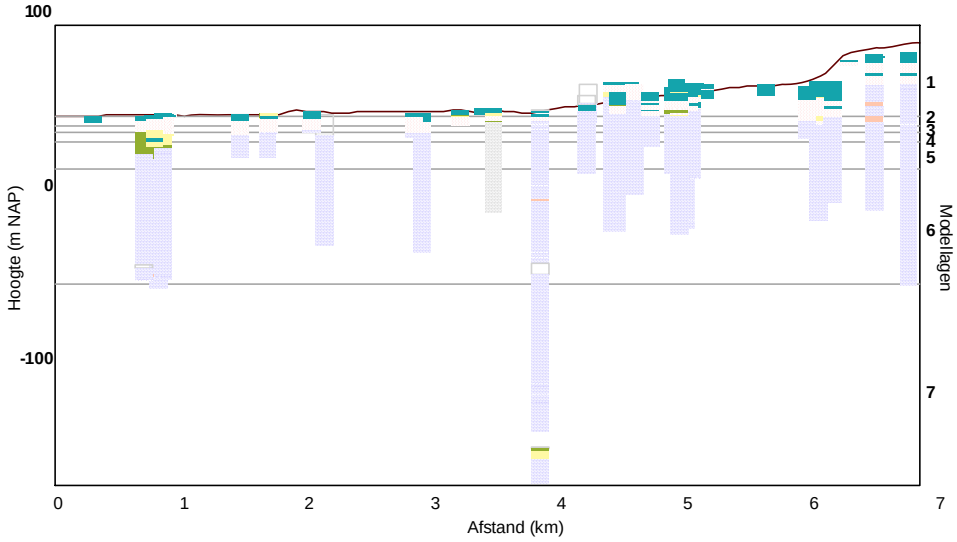
Voor het onderhavige grondwatermodel is het tweede concept toegepast, omdat deze methode het mogelijk maakt om ruimtelijke heterogeniteit effectief te modelleren, zonder toepassing van onregelmatige, sterk in dikte variërende lagen. De kans op waterbalansfouten in de transportberekeningen is daardoor veel kleiner en de gegevensbewerking is eenvoudiger. In Tabel 2 is de verticale discretisatie van het model weergegeven en de overwegingen die tot deze schematisatie hebben geleid. In Bijlage II zijn enkele dwarsprofielen van de lithologie weergegeven.

Tabel 2 Definitie modellagen.

Hoogte bovenkant laag (m NAP)	**laag nr.**	**Lithologie/geologie**	**Motivatie begrenzing van de discretisatie**
variabel	1	Lössafzettingen op de plateaus van Margraten en het Kempisch Plateau	Maximale stijghoogte (freatische laag)
43	2	Rivierklei met lössafzettingen	Deklaag omgeving P.S. Borgharen
38	3	Grind	1e watervoerende pakket
34	4	Grind of kleien/zanden van Tongeren en Rupel	Lokale kleilenzen
28	5	Kalksteen en kleien/zanden van Tongeren en Rupel	2e watervoerende pakket
13	6	Kalksteen	Dieptetraject van de pompputfilters van pompstation Borgharen
-54	7	Kalksteen	Onderste deel kalksteenpakket
-170	Basis	Formatie van Aken	Hydrologische basis



Figuur 7 Schematische weergave van de dikten van de modellagen



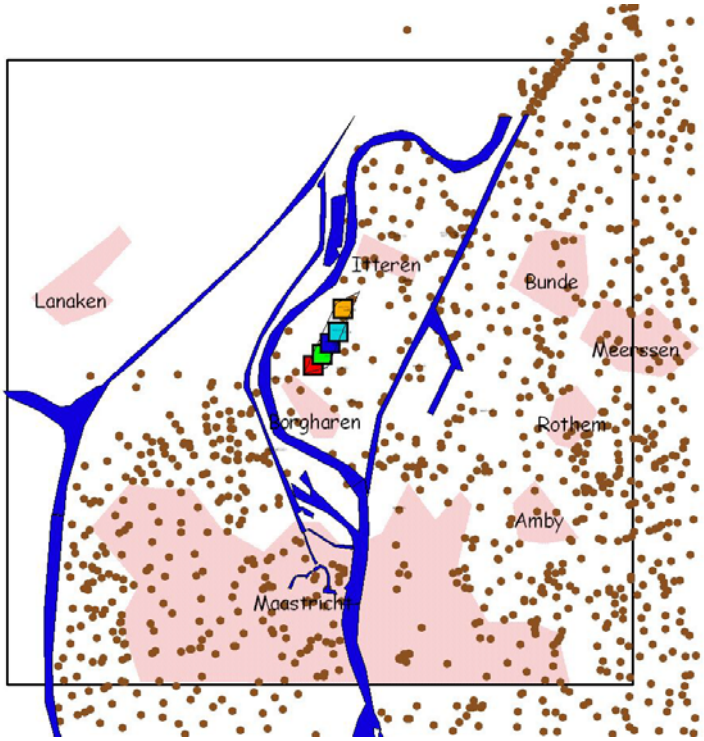
Figuur 8 Dwarsprofiel met enige boorbeschrijvingen binnen het modelgebied, geprojecteerd langs de West – Oost as. De eerste profielen aan de linkerkant zijn van de pompputten van pompstation Borgharen. De cijfers aan de rechterkant corresponderen met de modellagen. (Zie ook Bijlage II)

3.7 Toekenning van bodemparameters aan de modellagen

De initiële toekenning bodemparameters 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 en Wilson 1983. 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 schattingen van doorlaatfactoren per lithologische klasse

k horizontaal (m/d)	k verticaal (m/d)	materiaal
100	100	grind
100	40	stenen/keien/vuursteen
50	50	zeer grof zand
25	25	grof zand
10	5	zand
5	5	kalksteen/mergel
2.5	0.5	fijn zand
1	0.05	zeer fijn zand
0.05	0.005	leem
0.05	0.01	veen
0.001	0.001	klei



Figuur 9 Locaties van bij de modelbouw gebruikte boorbeschrijvingen; het kader geeft de begrenzing van het modelgebied aan.

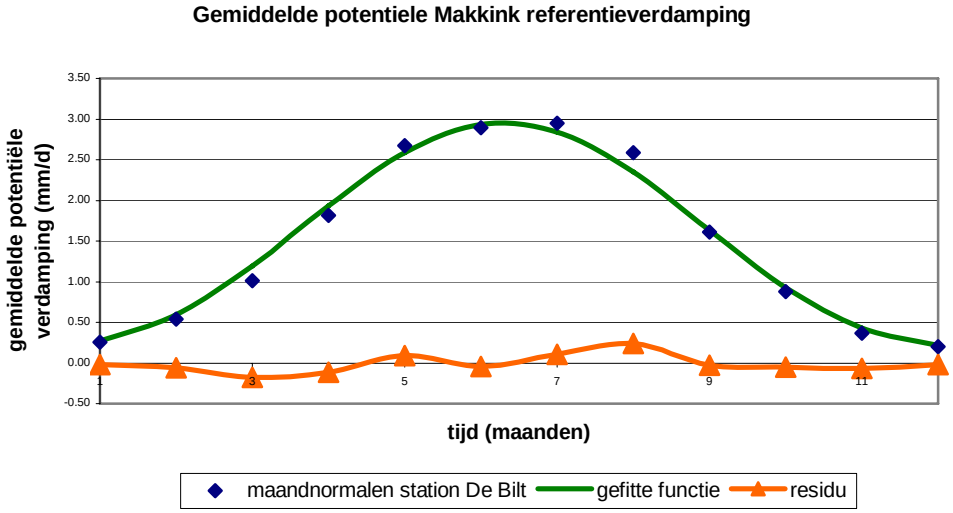
3.8 Grondwateraanvulling

De initiële schatting van de grondwateraanvulling is berekend met een 'bakjes' model (bijlage VII). De belangrijkste variabelen in dit model zijn:

- Neerslag (KNMI station Maastricht, dagsommen);

- Verdamping (Makkink, KNMI langjarige daggemiddelden);
- Grondgebruik (dicht bebouwd, dun bebouwd, gras, naaldbos, loofbos, heide, water, ontleend aan de topografische kaart);
- Bodemsamenstelling van de bovenste twee meter (grof zand, fijn zand, klei, ontleend aan de bodemkaart);
- Grondwatertrap (bodemkaart).

Een gedetailleerde beschrijving van het model dat is gebruikt voor de berekening van de grondwateraanvulling is opgenomen in Bijlage VII. In tegenstelling tot de dagsommen van de neerslag zijn de dagsommen van de Makkink referentieverdamping niet te downloaden van de KNMI site. Daarom is voor de potentiële verdamping uitgegaan van de langjarig gemiddelde maandsommen. Deze zijn met een gefitte functie omgerekend naar langjarig gemiddelde dagsommen (Figuur 10). Deze interpolatie leidt niet tot veel verlies van betrouwbaarheid voor de resultaten van de berekening van de grondwateraanvulling omdat de temporele variatie van de potentiële verdamping veel gelijkmatiger is dan die van de neerslag.



Figuur 10 Maandnormalen van de referentieverdamping volgens Makkink en een daarvan afgeleide continue functie.

Voor de berekening van de grondwateraanvulling is de bodemwaterbalans binnen het modelgebied per modelcel doorgerekend voor de periode 1997-2004. De berekening van de grondwateraanvulling wordt gebaseerd op de actuele verdamping als functie van de potentiële verdamping en de vochttoestand van de bodem.

3.9 Rivieren en sloten

De rivier de Maas is op korte afstand van de pompputten van pompstation Borgharen gelegen en daarom een belangrijke hydrologische factor in het systeem. Het rivierpeil van de Maas is vooral van belang voor de bepaling van de herkomst van het in pompstation Borgharen onttrokken water. De toekenning van de peilen aan de modelcellen is gebaseerd op twee gegevensbronnen:

- peilen van de Maas in het stuwpand Borgharen-Linne;
- betrekkingslijnen van de Maas.

De gemiddelde hoogten over de calibratieperiode zijn conform de betreffende betrekkingslijn geïnterpoleerd over de modelcellen die corresponderen met de ligging van de Maas.
Behalve de Maas is ook de Geul als 'river' in het numerieke model gebouwd. De toegekende peilen zijn gebaseerd op gegevens van de lokale maaiveldhoogte.

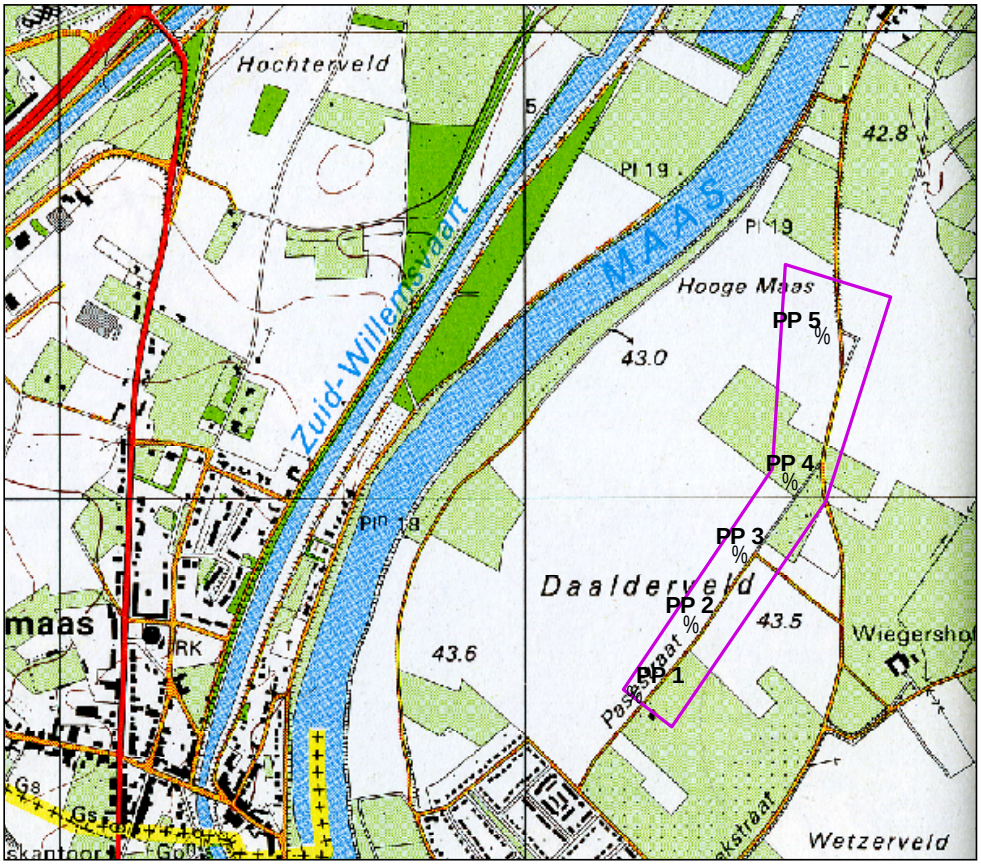
Tabel 4 Gemiddelde maaspeilen over de calibratieperiode aan de bovenstroomse en benedenstroomse kant van het stuwpand Borgharen-Linne (m NAP)

Stuw Borgharen – beneden (m NAP)	**Stuw Linne - boven (m NAP)**
39.35	20.89

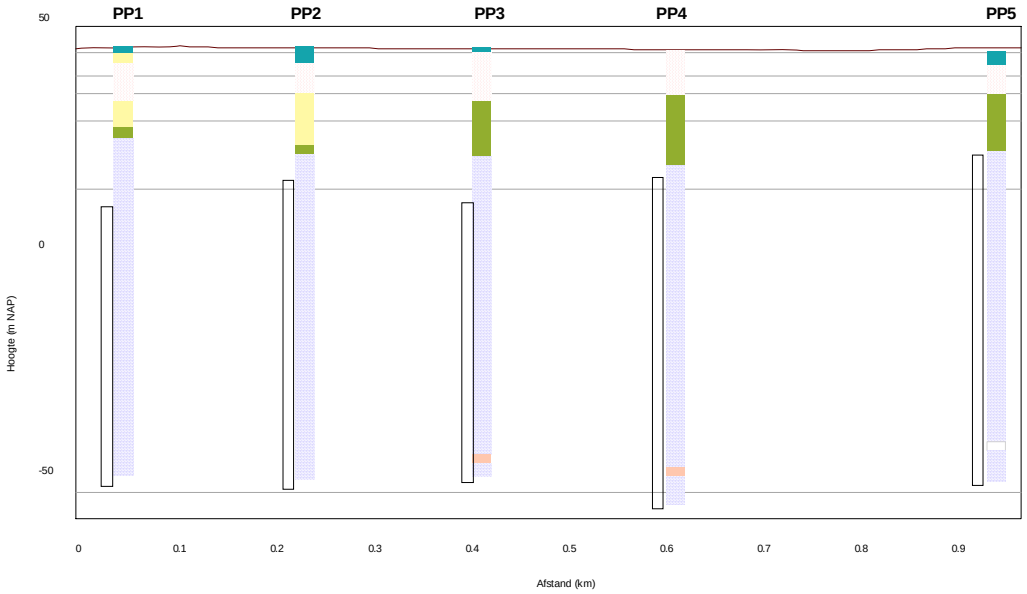
3.10 Pompstations en onttrekkingsgegevens

Pompstation Borgharen is begin jaren 70 gesticht en sindsdien in bedrijf. Het pompstation bestaat uit 5 pompputten, gelegen in de uiterwaarden van de Maas. De positie van de pompputten en de lokale bodemopbouw is weergegeven in Figuur 12.

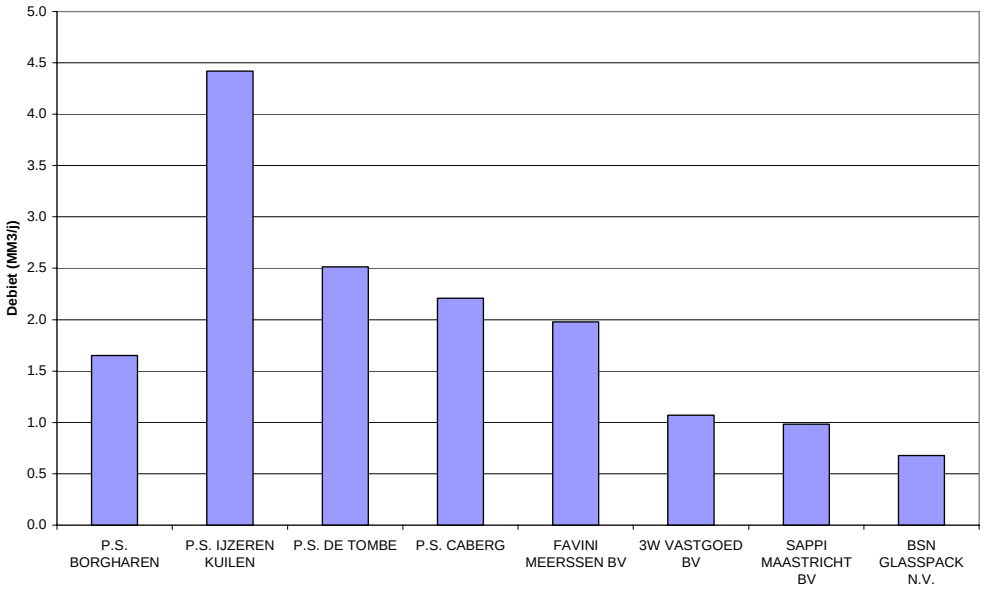
In Figuur 11 is de locatie van de pompputten van pompstation Borgharen op de topgrafische kaart weergegeven. In Figuur 13 zijn de belangrijkste onttrekking in het modelgebied in grafiekvorm gepresenteerd.



Figuur 11 Locatie van de pompfilters van pompstation Borgharen (binnen paars kader)



Figuur 12 Positie van de pompfilters van pompstation Borgharen in dwarsprofiel



Figuur 13 Debieten van de belangrijkste onttrekkingen in het modelgebied

De onttrekkingsgegevens zijn ontleend aan de Provincie Limburg. Alle onttrekkingen in het modelgebied met een gemiddeld debiet van meer dan 25 m^3/d over de calibratieperiode zijn verwerkt in het model.

Voor de periode 1997 – 2004 is de gemiddelde onttrekkingshoeveelheid ongeveer 17 miljoen m^3/jaar. Ruim 60% hiervan is onttrokken ten behoeve van de drinkwatervoorziening. In Bijlage I zijn de gemiddelde onttrekkingen weergegeven die zijn verwerkt in het model. De negatieve waarden hebben betrekking op onttrekkingen.

De verdeling van de debieten over de verschillende pompputten voor pompstation Borgharen is gebaseerd op de mondelinge mededeling van de beheerder dat de onttrokken debieten per put ongeveer gelijk zijn.

3.11 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden voor de modelranden zijn gedefinieerd als vaste stijghoogten. Deze stijghoogten zijn berekend op basis van de beschikbare peilbuisgegevens bij Waterleidingmaatschappij Limburg en in DINO, het gegevensbestand dat wordt beheerd door TNO. In totaal zijn 169 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 de gegevenssets ingedeeld in twee groepen, corresponderend met de watervoerende pakketten. Voor beide groepen zijn de stijghoogten op de knooppunten van de modelcellen met interpolatie berekend.

3.12 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 de randen van het model, waar in het model een vaste stijghoogten is gedefinieerd. Ook de toekenning van de filters aan de modellagen is strikter gebeurd dan bij de vaststelling van de stijghoogten aan de randen van het model en uitsluitend toegekend aan de modellaag die daadwerkelijk overeenkomt met de filterstelling. In totaal zijn 109 stijghoogtegemiddelden gebruikt bij de calibratie, verdeeld over 59 locaties.

4 Calibratie

4.1 Keuze rekenperiode voor de calibratie van het stationaire model

Voor de keuze van de eerste calibratieperiode is gekeken naar de beschikbaarheid van gegevens in het modelgebied.
Op basis van de beschikbare gegevens is de periode 1997 – 2004 gekozen voor de calibratie. Gedurende deze periode is de variabiliteit van stijghoogten, onttrekkingen en neerslagoverschotten relatief gering. Dit betekent dat de hydrologische situatie gedurende langere tijd geen grote veranderingen heeft ondergaan en als een evenwichtssituatie kan worden beschouwd bij de calibratieberekeningen. Voor de calibratie zijn tijdsafhankelijke gegevens over de betreffende periode gemiddeld en is aangenomen dat geen wezenlijke veranderingen van de berging zijn opgetreden.

4.2 Calibratiemethodiek

Bij de calibratie van het model is gebruik gemaakt van een genetisch algoritme dat is ontwikkeld bij Elementair Tiel (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 bepaald deelgebied. 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 landbouwgebied in het rivierdal. Ook voor de doorlaatfactoren zijn meerdere zones gedefinieerd omdat doorlatendheid een betrekkelijk slecht bekende factor is die lokaal sterk kan variëren en slechts op een beperkt aantal punten beter bekend is. De breuk die vanuit het zuidoosten in noordwestelijke richting tot in de nabijheid van pompstation Borgharen komt is bijvoorbeeld als aparte zone onderscheiden zodat de hydraulische doorlatendheid als aparte factor is gecalibreerd.

Een belangrijke factor die het geohydrologische systeem in het modelgebied compliceert is de relatief slecht bekende doorlatendheid van de kalksteen. In het tweede deelrapport zal de onzekerheid ten aanzien van de herkomst van het onttrokken grondwater hopelijk gereduceerd kunnen worden door

betrekking van de chemische eigenschappen van het grondwater bij de systeemanalyse.

In totaal zijn 254 modelparameters tijdens de calibratie geoptimaliseerd. Er is gebruik gemaakt van een referentieset van gemiddelde stijghoogten die bestaat uit 109 verschillende filters, verspreid over 59 locaties. Een deel van deze filters doorsnijdt meerdere modellagen.

Bij de calibratie is gebruik gemaakt van een genetisch algoritme. De calibratie is beschouwd als een optimalisatieprobleem met twee tegenstrijdige doelen. Enerzijds geldt het doel om minimale verschillen tussen waargenomen en berekende stijghoogten te verkrijgen, anderzijds om de gecalibreerde waarden van modelvariabelen niet al te sterk te laten afwijken van de initiële schattingen. Er bestaat niet alleen onzekerheid ten aanzien van de werkelijke waarden van de modelvariabelen én de ijkgegevens, maar ook is er bij een grondwatermodel in de praktijk meestal 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. Voor pompstation Borgharen is dit identificatieprobleem vooral aan de orde doordat de berekening van de herkomst van het onttrokken grondwater erg gevoelig is voor peilen en kD waarden in de directe omgeving van de Maas. De herkomst van het ruwwater is uiteraard zeer relevant voor de risicoanalyse. 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 deze in alle facetten van datasets en rekentechnieken aanwezige onzekerheden wordt bij een calibratie daarom niet gecalibreerd tot een zodanige aanpassing van de modelvariabelen is dat 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 zijn 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 Borgharen.

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 berekend en gemeten (residu)
n	:	aantal referentiestijghoogten
ℓ	:	gewichtsfactor 1: aantal beschikbare jaargemiddelde stijghoogten
m	:	gewichtsfactor 2: afstand tot pompstation Borgharen
O_2	:	doelfunctie 2
δ	:	relatieve afwijking ten opzichte van initiële waarde
k	:	aantal calibratieparameters
ϕ_o	:	referentiestijghoogte (m NAP)
ϕ_s	:	gesimuleerde stijghoogte (m NAP)
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

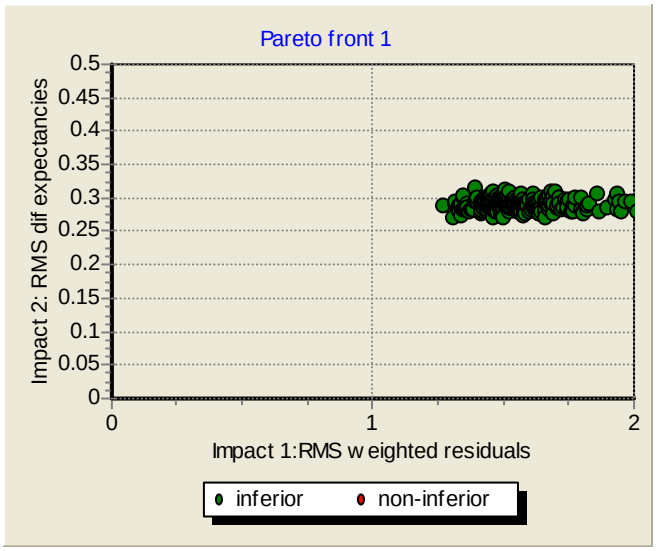
4.3 Resultaten

De verzameling optimale (Pareto efficiënte) oplossingen is weergegeven in Figuur 15. 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. De resultaten van de stijghoogteberekeningen van de gekozen oplossing zijn

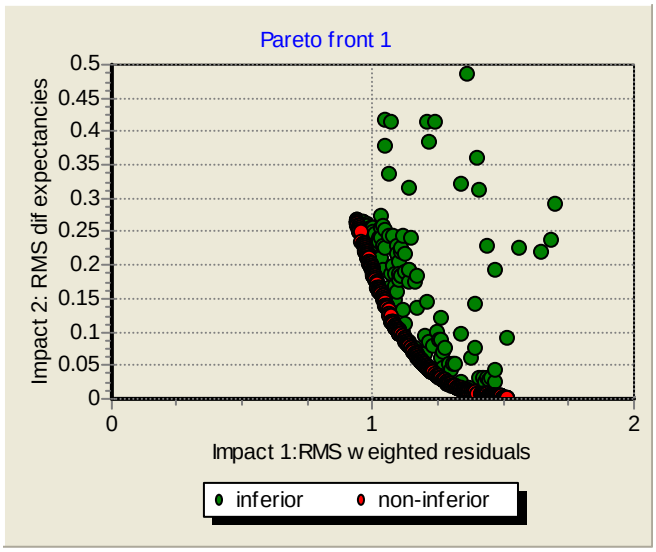
samengevat in Tabel 5. In Figuur 16 zijn de verschillen tussen waargenomen en berekende stijghoogten per waarnemingsfilter in grafiekvorm weergegeven.

In Bijlage IV en V zijn de verschillen tussen waargenomen en berekende stijghoogten in detail weergegeven.

In Bijlage VI is per parameter weergegeven in welke mate de gecalibreerde waarde afwijkt van de initiële waarde.



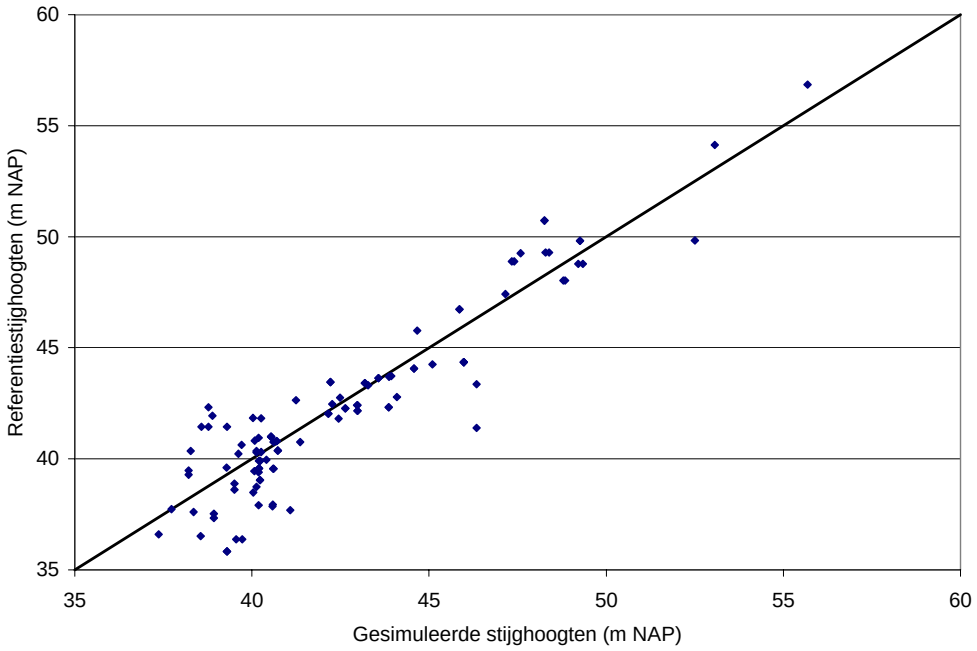
Figuur 14 Resultaten van de berekeningen met Modflow bij aanvang van de optimalisatie, langs de assen van de grafiek staan de beide doelfuncties weergegeven



Figuur 15 Einde van de optimalisatie met het genetisch algoritme. De rode punten geven de geselecteerde oplossingen weer; langs de assen van de grafiek staan de beide doelfuncties weergegeven

Tabel 5 Resultaten van de calibratie

O_1 Doelfunctie 1 Gewogen verschil tussen berekende en gemiddelde waargenomen stijghoogten	O_2 Doelfunctie 2 Afwijking t.o.v. initiële modelwaarden	Gemiddeld verschil waargenomen – berekend (m)	Gemiddeld absoluut verschil (m)	Wortel uit gemiddeld gekwadrateerd verschil (m)
0.94	0.26	-0.22	1.15	1.52



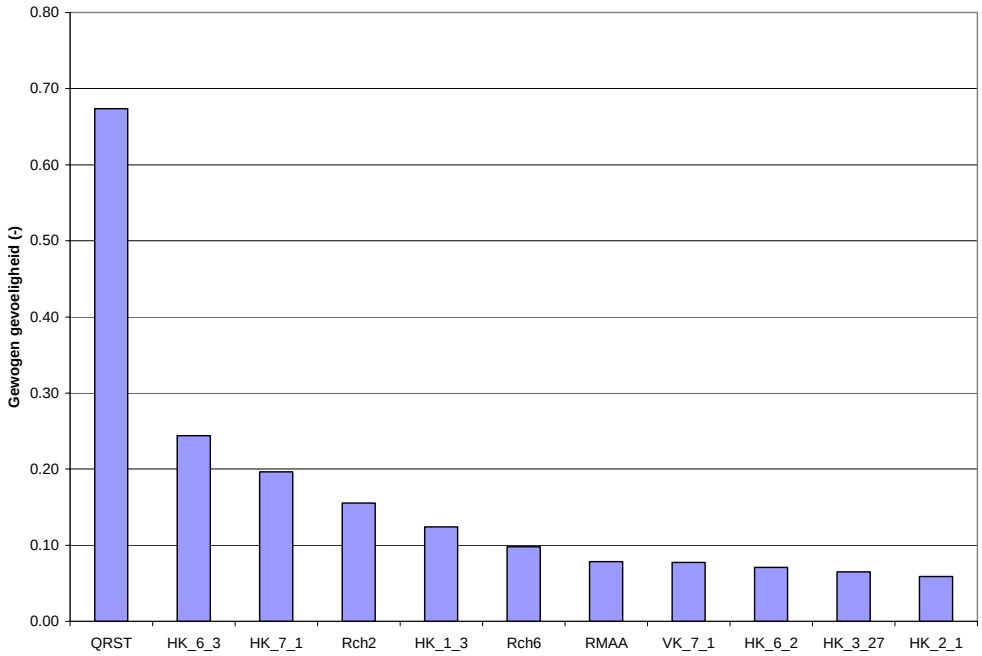
Figuur 16 Verschillen tussen gemeten en berekende stijghoogten in het modelgebied

Tabel 6 Gemiddelde absolute verschillen tussen berekende en gemeten stijghoogten per modellaag

Modellaag	Gemiddeld absoluut verschil (m)
1	0.86
2	1.11
3	1.26
4	0.93
5	1.25
6	1.19

4.4 Gevoeligheidsanalyse

Met een aparte module van Modflow 2000 is een gevoeligheidsanalyse voor de 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 4.2. Daarbij is de mate waarin een parameter verandert bij de gevoeligheidsanalyse gekoppeld aan het toegestane calibratie-interval dat aan die parameter is toegekend. De toekenning van de intervallen is gebaseerd op 'expert judgement' en varieert per parameter. De intervallen die gebruikt zijn bij de calibratie zijn weergegeven in Bijlage VI. Naarmate de onzekerheid van de "echte" waarde van een parameter groter wordt geacht, is een groter interval toegekend. De gevoeligheid van de modelresultaten is berekend voor alle gehanteerde calibratieparameters. De twaalf meest gevoelige parameters zijn weergegeven in Figuur 17. Langs de X- as zijn de verschillende modelparameters weergegeven, langs de Y- as is de gevoeligheid weergegeven.



Parameter	Beschrijving
QRST	Overige onttrekkingen[1]
HK_6_3	Kh[2] laag 6 zone 3
HK_7_1	Kh laag 7
Rch2	Grondwateraanvulling Rzone[3] 2
HK_1_3	Kh laag 1 zone 3
Rch6	Grondwateraanvulling Rzone 6
RMAA	Conductiviteit Maas
VK_7_1	Kv[4] laag 7
HK_6_2	Kh laag 6 zone 2
HK_3_27	Kh laag 3 zone 27
HK_2_1	Kh laag 2 zone 1
Rch1	Grondwateraanvulling Rzone 1

Figuur 17 Resultaten van de gevoeligheidsanalyse (voor de twaalf meest gevoelige parameters)

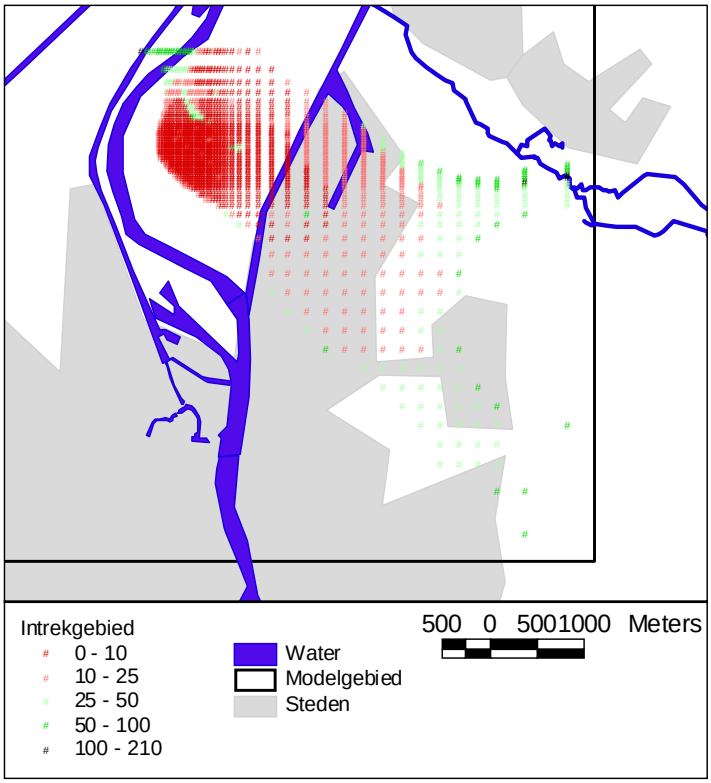
De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn in overeenstemming met de hiervoor beschreven hydrologische analyse en komen daarom overeen met wat van het model verwacht kon worden. De onttrekkingshoeveelheid van de overige putten gezamenlijk is de gevoeligste factor. Deze gevoeligheid wordt veroorzaakt doordat alle onttrekkingen buiten pompstation Borgharen hierin

[1] Buiten pompstation Borgharen
[2] Horizontale doorlaatfactor
[3] Rzone: zone grondwateraanvulling
[4] Verticale doorlaatfactor

gebundeld zijn. De onttrekkingen uit pompputten van pompstation Borgharen zijn per pompput afzonderlijk gedefinieerd en zijn daardoor minder gevoelig. De tweede gevoelige de meest gevoelige factoren. Voor de laatste parameter betreft de doorlaatfactoren nabij de pompputten van pompstation Borgharen in laag 6. Hierbij speelt enerzijds de weging van de verschillen tussen de berekende en waargenomen stijghoogten een belangrijke rol. Daarbij neemt het gewicht toe naarmate de afstand tot pompstation Borgharen geringer is, want naarmate een waarnemingput zich dichter bij pompstation Borgharen bevindt is de weging van de waarneming zwaarder (zie 4.2). Anderzijds is ook de grootte van de zone van de parameters bepalend bij de berekening van de gevoeligheid. De "overige onttrekkingen" en de doorlaatfactoren van modellaag 7 zijn relatief gevoelige factoren doordat veel andere modelparameters een kleinere zone vertegenwoordigen.

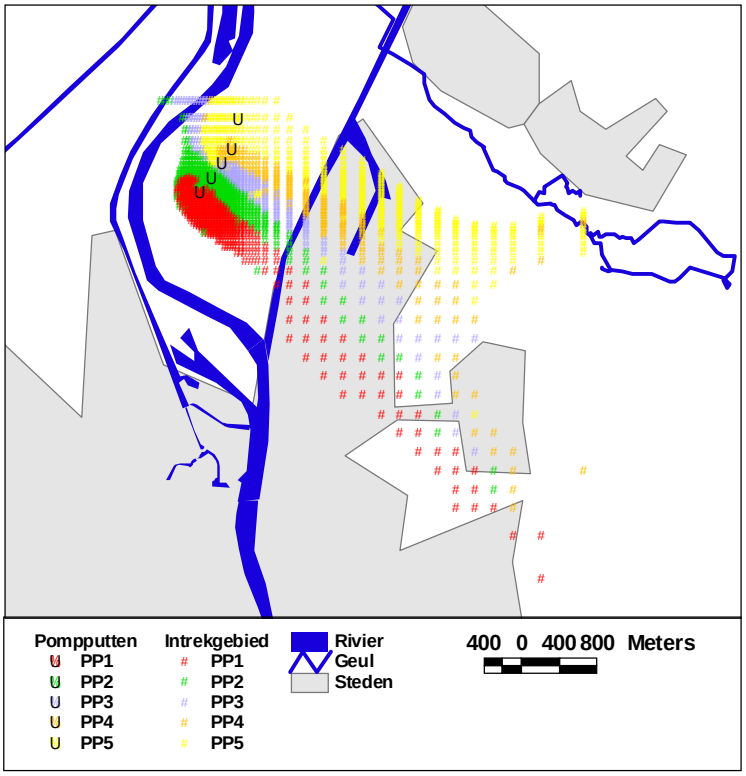
5 Intrekgebied en verblijftijden

Met het gecalibreerde model is het intrekgebied van de winning Borgharen berekend. In Figuur 18 is het totale intrekgebied weergegeven. In rood is het intrekgebied binnen de verblijfijdsgrens van 25 jaar te zien. In het groen is het gebied weergegeven van waar de reistijd langer dan 25 jaar is.

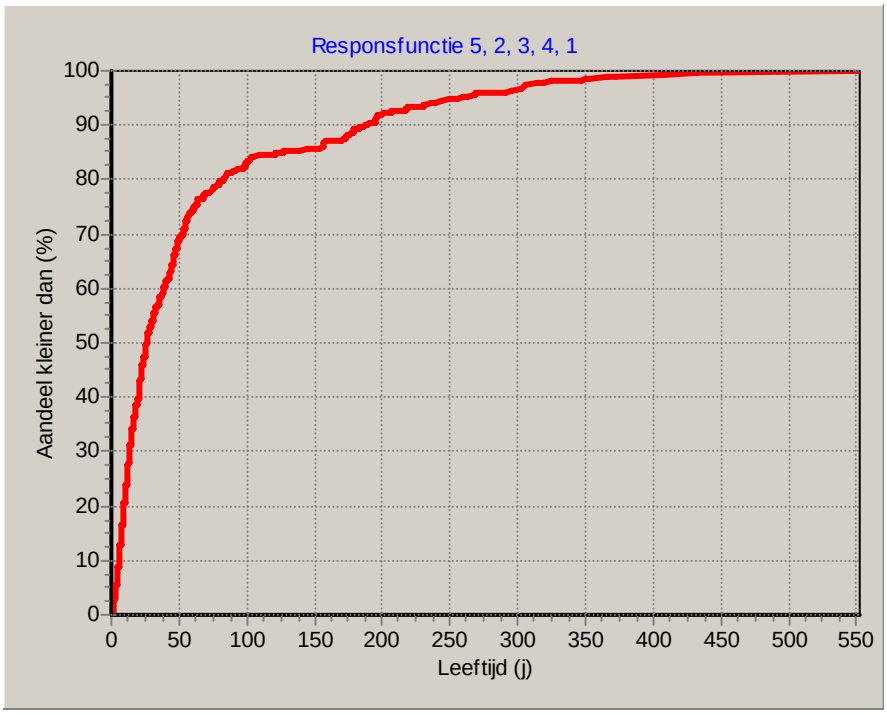


Figuur 18 Intrekgebied van pompstation Borgharen onderverdeeld in verblijftijdsklassen

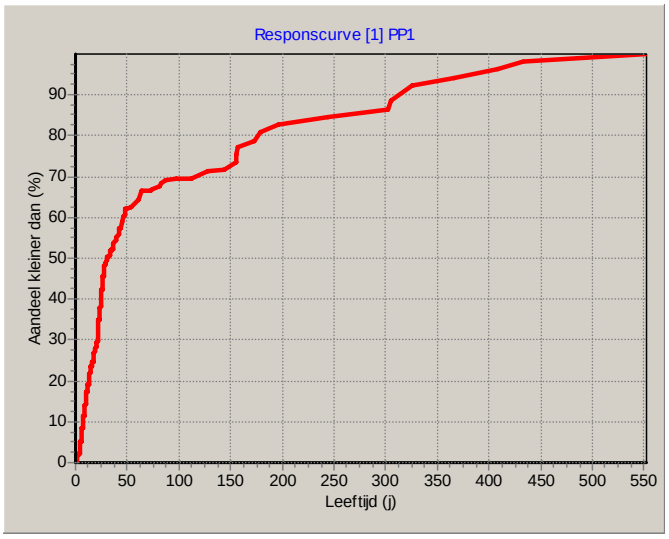
In Figuur 19 is het intrekgebied onderverdeeld in deelintrekgebieden per pompput. De drie noordelijkst gelegen putten onttrekken voor een deel grondwater dat recent is geïnfiltreerd vanuit de Maas. In deel 2 van de pilot studie wordt de herkomst van het grondwater getoetst aan chemische parameters.



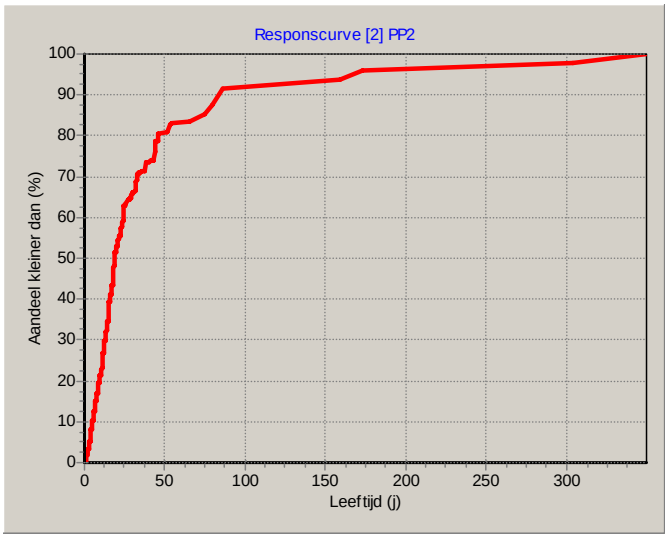
Figuur 19 Intrekgebied per pompput



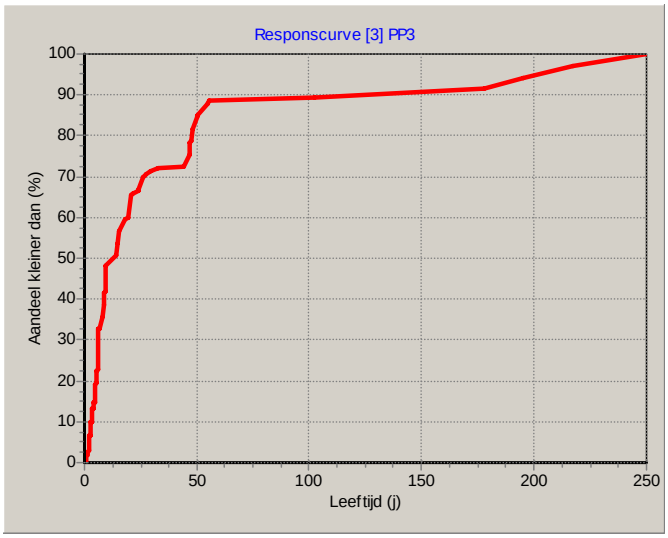
Figuur 20 Responsfunctie van de pompputten gezamenlijk



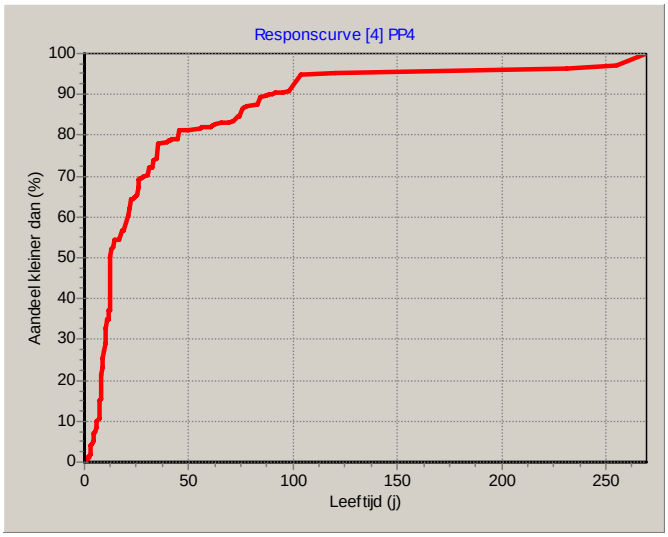
Figuur 21 Responscurve van pompput 1



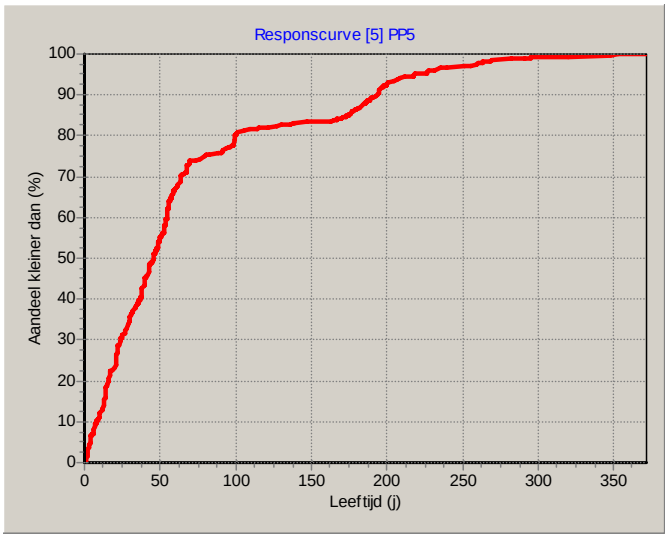
Figuur 22 Responscurve van pompput 2



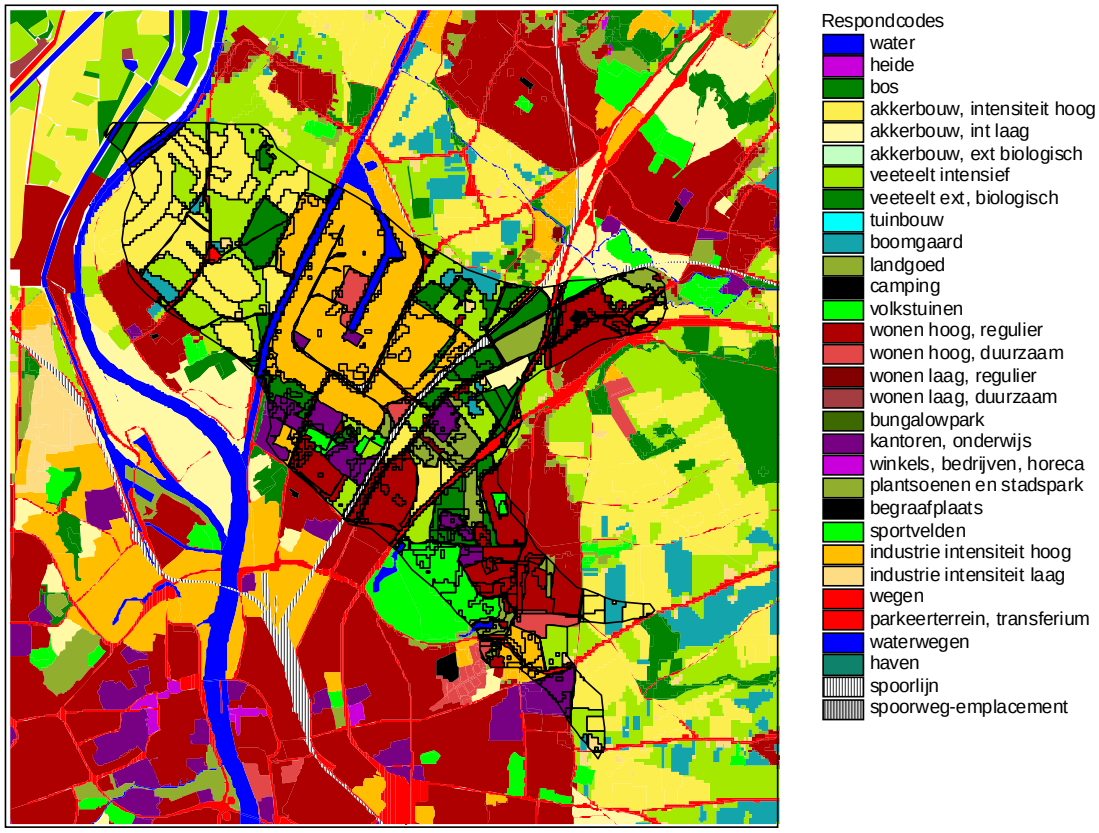
Figuur 23 Responscurve van pompput 3



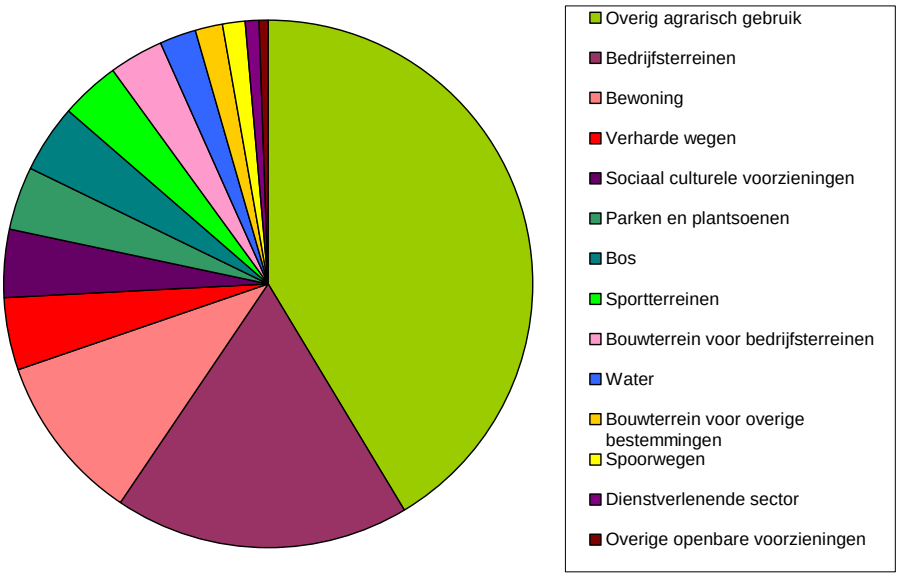
Figuur 24 Responscurve van pompput 4



Figuur 25 Responscurve van pompput 5



Figuur 26 Landgebruik in het intrekgebied van pompstation Borgharen



Tabel 7 Aandeel oppervlak per landgebruikklasse in het intrekgebied

Aandeel (%)	**Landgebruik CBS 1996**
41	Overig agrarisch gebruik
18	Bedrijfsterreinen
10	Bewoning
4	Verharde wegen
4	Sociaal culturele voorzieningen
4	Parken en plantsoenen
4	Bos
4	Sportterreinen
3	Bouwterrein voor bedrijfsterreinen
2	Water
2	Bouwterrein voor overige bestemmingen
1	Spoorwegen
1	Dienstverlenende sector
1	Overige openbare voorzieningen
100	Totaal

6 Conclusies en aanbevelingen

De verschillen tussen de berekende en waargenomen stijghoogten van de stationaire modelberekening zijn behoorlijk groot, maar niet groter dan wat in de praktijk verwacht kan worden van een grondwatermodel in een gebied met eigenschappen zoals het modelgebied Borgharen. Zowel de stijghoogteverschillen als de stijghoogtegradiënten zijn relatief groot in het modelgebied, zodat ook verschillen tussen berekend en gemeten aan de hoge kant zijn. De grootste verschillen tussen berekende en gemeten standen bevinden zich buiten het intrekgebied van pompstation Borgharen.
De mate waarin het bij pompstation Borgharen onttrokken grondwater bestaat uit relatief recent geïnfiltreerd Maaswater kan op basis van de hydrologische modellering niet erg betrouwbaar en nauwkeurig worden bepaald. De reden daarvan is dat de berekende stijghoogten in de omgeving van het pompstation en de Maas relatief ongevoelig zijn voor veranderingen in hydraulische weerstanden en doorlaatfactoren, terwijl de grootte van de fluxen en daarmee de herkomstverdeling van het onttrokken grondwater daar wel gevoelig voor zijn. Er wordt aanbevolen om de met het hydrologisch model berekende herkomst van het onttrokken grondwater met chemische analyses van het grondwater en ruwwater te verifiëren.
Het landgebruik in het intrekgebied van de winning is voor ca. 40% agrarisch en bestaat voor ongeveer 20% uit bedrijfsterreinen, vooral in de omgeving van de Beatrixhaven. Ongeveer 10% bestaat uit gebieden met een woonfunctie. De resterende 30% bestaat voornamelijk uit infrastructuur, water en recreatie.

7 Literatuur

Appelo, C.A.J. & D. Postma 1993. Geochemistry, Groundwater And Pollution. Balkema, 536p.

Bakker, H. De En W.P. Locher, 1991. Bodemkunde Van Nederland, Deel 2, Bodem-. Geografie, 2e Druk, Malmberg, Den Bosch, ISBN 9020835556

Beek, C.G.E.M. Van, J.G.R. Beemster, L. Bernhardi, J.W.N.M. Kappelhof, C. Vink En J.H.C. Mülschlegel, 2002, Vermesting En Grondwaterwinning. Invloed Van Meststoffen Uit De Landbouw Op De Kwaliteit Van Grondwater Opgepompt Door Waterleidingbedrijven. Kiwa, KOA 01.116

Beek, C.G.E.M. Van, L.M. Puijker, 2002, Meer Weten, Minder Meten: Optimalisatie, Monitoringprogramma Grondstof, Kiwa-Rapport BTO 2001.210 (C), Kiwa, Nieuwegein.

Cirkel, D.G. Et Al. 2007. Risicoanalyse Ruwwaterkwaliteit Pompstation Heumensoord Deelrapport 2, Beschrijving Reactiviteit Ondergrond En Chemische Waterkwaliteit. Concept. Kiwa Water Research

Dreven Van F. En Anderen, 2000, Cultuurtechnisch Vademecum. Elsevier, ISBN 90-5439-089-1

Driscoll, F.G.,1987, Groundwater And Wells; Second Edition,Johnson Division, St. Paul.

Ellen Van T. En J. Myl. 1989. Geohydrologisch Onderzoek Naar Intrekgebieden En Verblijftijden Van De Waterwinning Borgharen-Itteren. TNO DGV OS 89-01.

Harbaugh A.W., Edward R. Banta, Hill M.C. And Michael G. Mcdonald, 2000, 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.

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.

IGF,1975. Geologisch Onderzoek T.B.V. Een Spaarbekken Te Itteren. Instituut Voor Grondmechanica En Funderingstechniek.

Laeven, M.P., Beekman, W., Drogendijk, L.J.L., Van Bergen, P. En Van Den Brink, C., 1999. 'Functieverweving En Duurzame Waterwinning – REFLECT: Bepaling Van Risico's Van Functies Voor Grondwaterwinningen'. Kiwa-Rapport SWE 99.007, Nieuwegein, Augustus 1999.

Maas C. 1996. Vuistregels In De Hydrologie, Stromingen 1996.

Matthess, G. 1990. Die Beschaffenheit Des Grundwassers. 2nd Ed., Borntraeger, Berlin, 498p.

Mcdonald M.G. And Harbaugh A.W., 1984. A Modular Three-Dimensional Finite Difference Groundwater Flow Model, U.S. Geological Survey

RID. 1968. Rapport Betreffende Een Geohydrologisch Onderzoek T.B.V. Grondwaterwinning In De Gemeenten Borgharen En Itteren. (Wml Ref. 1906)

RID. 1970. Onderzoek Naar De Mogelijkheid Van De Aanleg Van Spaarbekkens In Het Gebied Itteren-Borgharen R.I.D.

© Kiwa Water Research

Tauw Infra Consult. 1991. Saneringsonderzoek Voormalige Stortplaats Julianakanaal Te Maastricht. Tauw Infra Consult. LI-245-050-30
Tauw Infra Consult. 1991 Aanvullend Bodemonderzoek (I En II) Voormalige Stortplaats Julianakanaal Te Maastricht. Tauw Infra Consult. LI-245-050-30
Todd, D. K. 1980. Groundwater Hydrology; John Wiley And Sons, New York.
Vink C. 2007 . "Analysis Of The Origin Of Pumped Groundwater By Means Of A Genetic Algorithm" (In Prep).
Vink C., Schot P. 2002. Multiple-Objective Optimization Of Drinking Water Production Strategies Using A Genetic Algorithm, Water Resources Research Vol. 38, NO 9.
Vink C., D.G. Cirkel, B.W. Raterman, P.J. Stuyfzand, G.A. van den Berg, A. Doomen, L.M. Puyker, A.J. Gijsbertsen, J.W.N.M. Kappelhof en P.K. Baggelaar, 2005." Stedelijk Waterbeheer en Drinkwaterwinning, Verkenning van de haalbaarheid van stedelijke winningen." 2006. Kiwa-rapport BTO 2005.037.
Vink, C. 2004. Multiple Objective Calibration Of A Groundwater Model By Means Of A Genetic Algorithm. Proceedings Of The FEM_Modflow 2004 Conference In Karlovy Vary, Czech Republic
Vink, C. And Schot, P.P., 2002, 'Multiple-Objective Optimization Of Drinking Water Production Strategies Using A Genetic Algorithm'. Water Resources Research 38(9), 1181, Doi:10.1029/2000WR000034, 2002.
Weerts, H.J.T,Complex Confining Layers,1996, Proefschrift.Universiteit Utrecht
Wilson E.M.1983. Engineering hydrology; Third edition, Macmillan.

BIJLAGEN

I Gemodelleerde grondwateronttrekkingen

Tabel 8 Gemiddelde onttrekkingen over de calibratieperiode, groter dan 5000 m3/j)

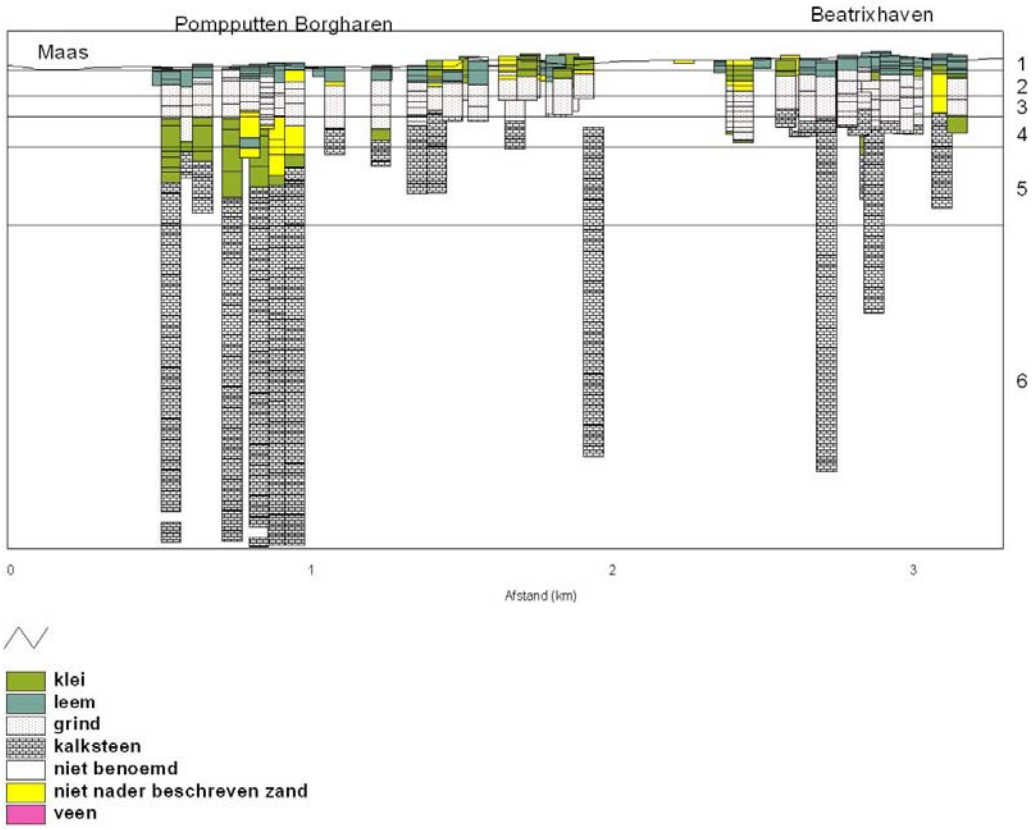
Debiet (Mm3/j)	Naam
1.65	P.S. Borgharen
4.42	P.S. IJzeren Kuilen
2.51	P.S. De Tombe
2.21	P.S. Caberg
1.98	Favini Meerssen Bv
1.07	3w Vastgoed Bv
0.98	Sappi Maastricht Bv
0.68	Bsn Glasspack N.V.
0.43	Ciba Specialitys Chemicals Maastricht Bv
0.31	Gemeente Maastricht
0.25	Vredestein Rubberrecycing
0.23	Trega International Bv
0.17	Koninklijke Sphinx
0.16	Waterschapsbedrijf Limburg
0.16	Koninklijke Mosa Bv
0.10	Ruijters Vastgoed Ontw.Bv
0.05	Gemeente Maastricht
0.05	Radium Foam Bv
0.04	Brouwerij De Ridder B.V.
0.04	Bp Nederland Bv
0.04	Akzo Nobel Ink & Adhesive Resins Bv
0.03	Ankerpoort Maastricht
0.03	Woningstichting Maasvallei
0.03	Thomas Regout International B.V.
0.02	Koninklijke Mosa Bv
0.01	Sphinx Technical Ceramics
0.01	Gemeente Maastricht
0.01	Janssen De Jong Productie B.V.

Tabel 9 Gemodelleerde onttrekkingen per pompput

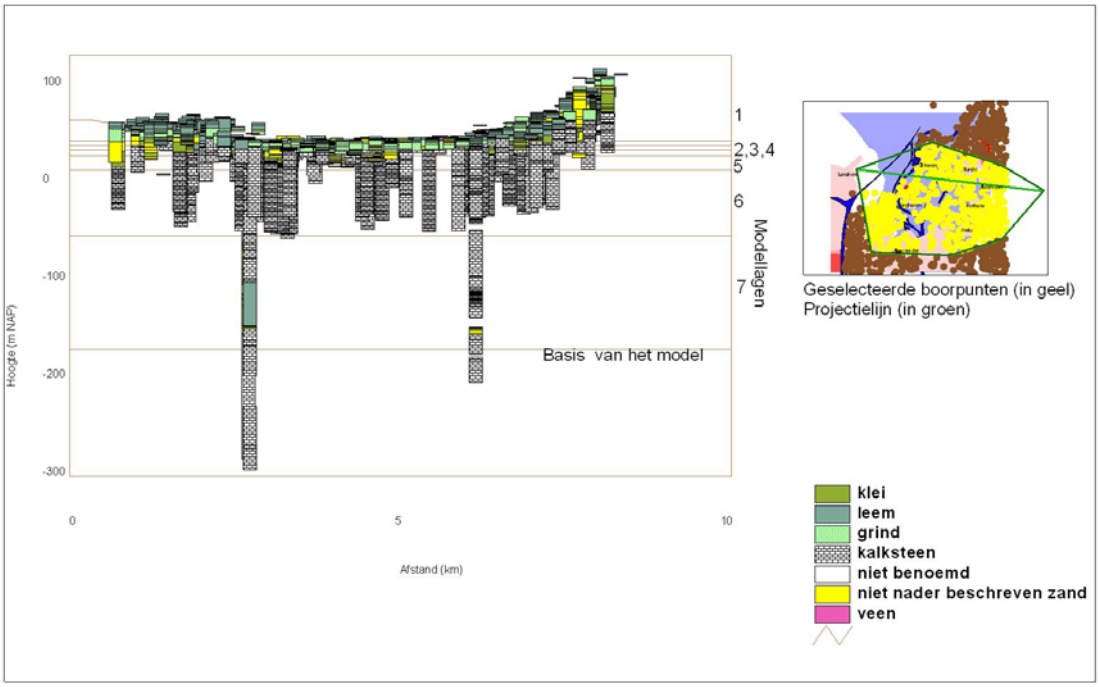
Modellaag	Debiet (m3/d)	Naam
6	-904	PP1
5	-59	PP2
6	-846	PP2
6	-904	PP3
5	-42	PP4
6	-811	PP4
7	-51	PP4
5	-100	PP5
6	-805	PP5

Het gemiddelde jaarlijkse debiet van pompstation Borgharen tijdens de calibratieperiode is gelijkelijk verdeeld over de aanwezige pompputten. De debieten per pompput zijn vervolgens proportioneel aan de filterlengte per aangeboorde modellaag toegekend aan de verschillende modellagen.

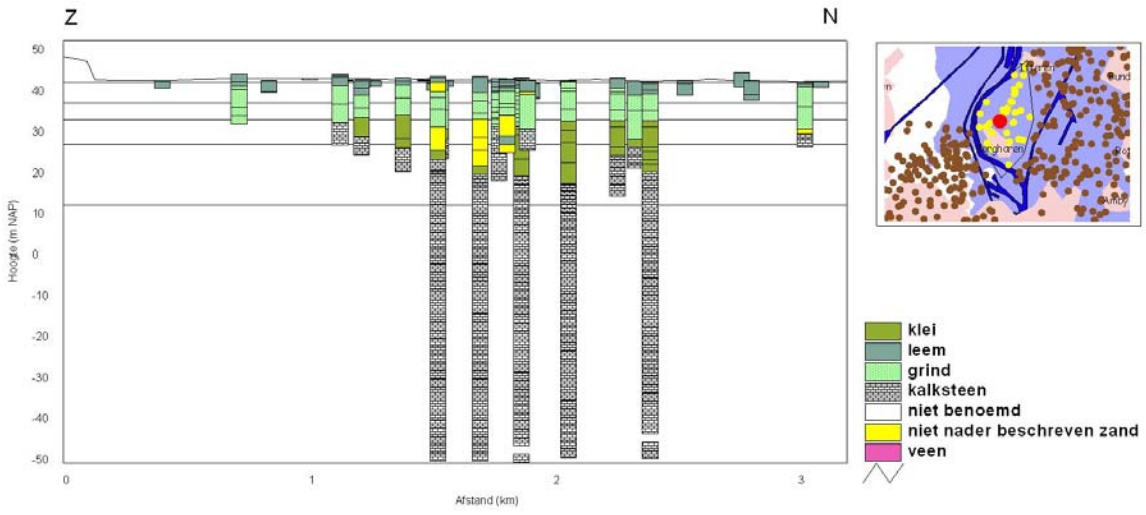
II Dwarsprofielen bodemopbouw



West - Oost Dwarsprofiel van de bodemopbouw ter plaatse van de pompputten. Bij enkele boringen is geen kleideklaag aanwezig.

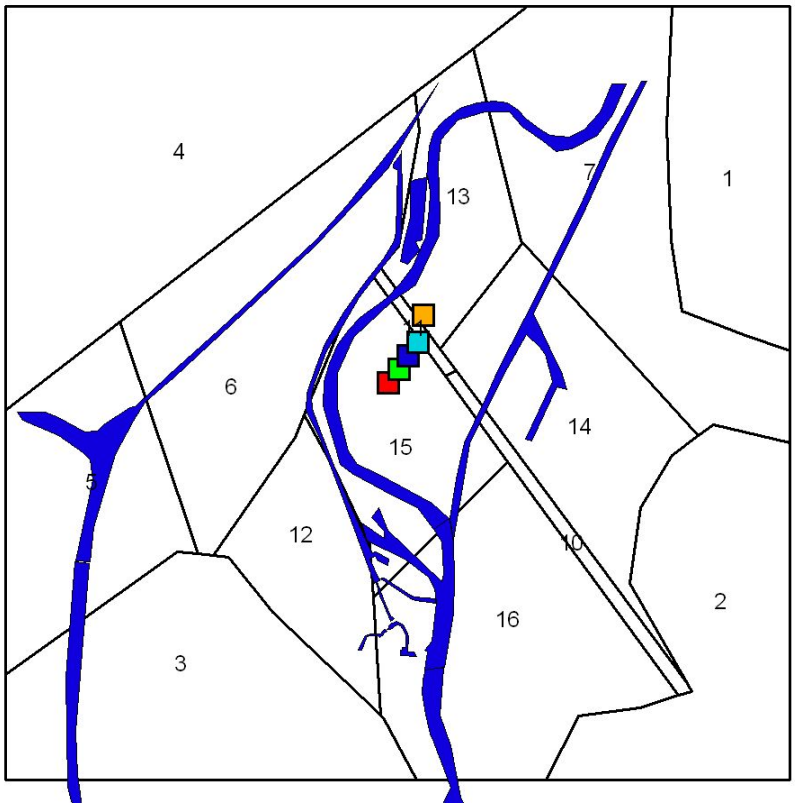


Figuur 27 Dwarsprofiel van boorbeschrijvingen geprojecteerd langs de W –O as



Figuur 28 Dwarsprofiel van boorbeschrijvingen tussen Borgharen en Itteren, geprojecteerd langs de N –Z as..

III Zonering Calibratie



Figuur 29 Zonering van het model voor de doorlaatfactoren, gebaseerd op topografie, bodem, geologie en isohypsen

IV Calibratieresultaten

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

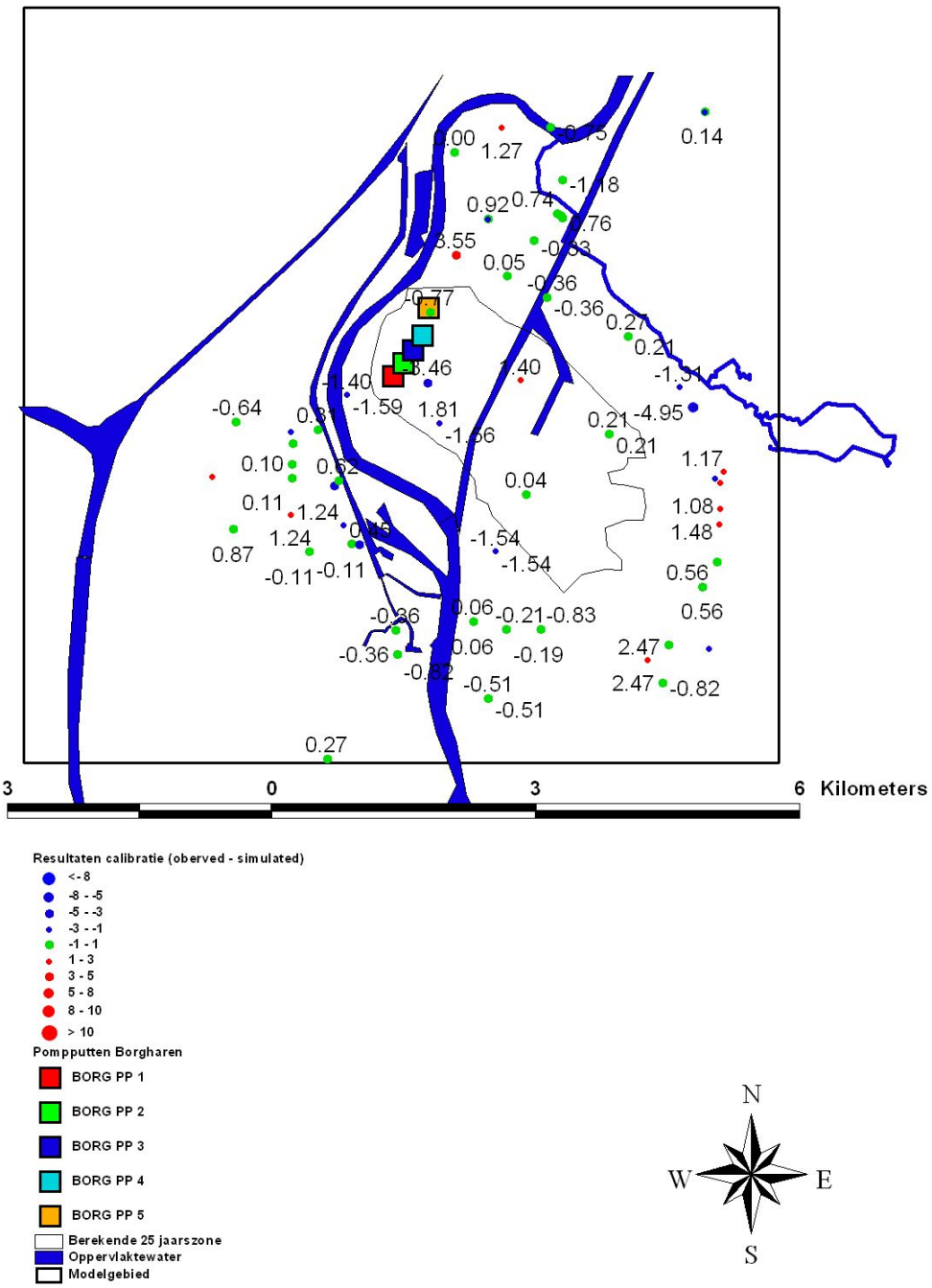
Tabel 10 modelresultaten per waarnemingsfilter per modellaag

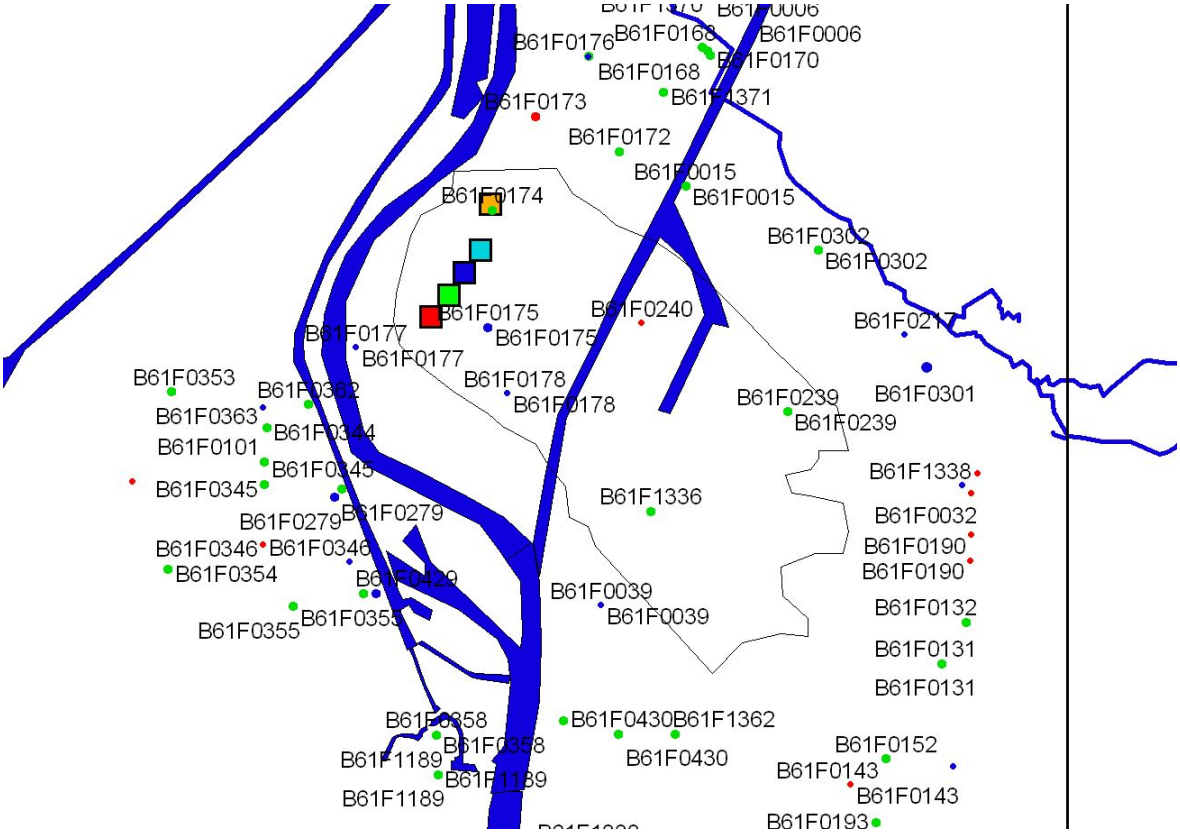
Code	Gesimuleerd (m NAP)	Waargenomen (m NAP)	Verschil (m)
B61F0006_1_5	40.23	39.05	-1.18
B61F0006_1_6	40.23	39.05	-1.18
B61F0015_1_4	40.73	40.37	-0.36
B61F0015_1_5	40.73	40.37	-0.36
B61F0032_1_2	53.06	54.14	1.08
B61F0039_1_2	43.86	42.32	-1.54
B61F0039_1_3	43.86	42.32	-1.54
B61F0101_1_6	40.41	39.96	-0.45
B61F0131_1_2	49.26	49.82	0.56
B61F0131_1_3	49.26	49.82	0.56
B61F0132_1_3	49.21	48.78	-0.43
B61F0132_1_4	49.34	48.78	-0.56
B61F0143_1_3	48.26	50.73	2.47
B61F0143_1_4	48.26	50.73	2.47
B61F0152_1_1	48.39	49.29	0.90
B61F0152_1_2	48.29	49.29	1.00
B61F0168_1_3	40.08	40.82	0.74
B61F0168_2_5	40.06	39.44	-0.62
B61F0169_1_3	40.13	40.29	0.16
B61F0169_2_5	40.13	40.36	0.23
B61F0170_1_3	40.19	40.95	0.76
B61F0170_2_5	40.19	39.39	-0.80
B61F0172_1_3	40.26	41.82	1.56
B61F0172_2_4	40.26	40.31	0.05
B61F0173_1_3	38.77	42.32	3.55
B61F0173_2_4	38.77	41.44	2.67
B61F0173_2_5	38.58	41.44	2.86
B61F0174_1_3	38.89	41.93	3.04
B61F0174_2_5	37.37	36.60	-0.77
B61F0175_1_3	39.29	41.44	2.15
B61F0175_2_4	39.29	35.83	-3.46
B61F0175_2_5	39.29	35.83	-3.46
B61F0176_1_3	39.71	40.63	0.92
B61F0176_2_5	38.56	36.52	-2.04
B61F0177_1_3	38.92	37.52	-1.40
B61F0177_2_5	38.93	37.34	-1.59
B61F0178_1_3	40.03	41.84	1.81
B61F0178_2_5	40.04	38.48	-1.56
B61F0190_1_4	47.41	48.89	1.48
B61F0190_1_5	47.34	48.89	1.55

Code	Gesimuleerd (m NAP)	Waargenomen (m NAP)	Verschil (m)
B61F0191_1_5	47.58	49.26	1.68
B61F0193_1_1	48.84	48.02	-0.82
B61F0193_1_2	48.79	48.02	-0.77
B61F0215_1_6	47.15	47.42	0.27
B61F0217_1_6	44.09	42.78	-1.31
B61F0239_1_2	43.19	43.40	0.21
B61F0239_1_3	43.19	43.40	0.21
B61F0240_1_3	41.24	42.64	1.40
B61F0279_1_2	39.56	36.38	-3.18
B61F0279_1_3	39.73	36.38	-3.35
B61F0301_1_2	46.34	43.36	-2.98
B61F0301_2_2	46.34	41.39	-4.95
B61F0302_1_2	42.49	42.76	0.27
B61F0302_2_4	42.26	42.47	0.21
B61F0310_1_2	45.98	44.35	-1.63
B61F0310_1_3	45.98	44.35	-1.63
B61F0310_1_4	45.98	44.35	-1.63
B61F0344_1_3	40.20	39.57	-0.63
B61F0344_1_4	40.19	39.57	-0.62
B61F0345_1_3	40.70	40.80	0.10
B61F0345_1_4	40.69	40.80	0.11
B61F0346_1_2	42.21	43.45	1.24
B61F0346_1_3	42.21	43.45	1.24
B61F0348_2_3	44.66	45.77	1.11
B61F0353_2_5	42.45	41.81	-0.64
B61F0354_2_3	45.86	46.73	0.87
B61F0354_2_4	45.86	46.73	0.87
B61F0355_2_2	42.15	42.04	-0.11
B61F0355_2_3	42.15	42.04	-0.11
B61F0358_1_2	42.64	42.28	-0.36
B61F0358_1_3	42.64	42.28	-0.36
B61F0361_1_3	39.61	40.23	0.62
B61F0362_1_2	39.29	39.60	0.31
B61F0363_1_4	40.13	38.74	-1.39
B61F0425_1_2	41.36	40.75	-0.61
B61F0425_1_3	40.61	40.75	0.14
B61F0425_2_3	40.61	39.55	-1.06
B61F0425_2_4	40.60	39.55	-1.05
B61F0425_3_5	40.59	37.94	-2.65
B61F0425_4_6	40.58	37.86	-2.72
B61F0429_1_3	40.54	40.99	0.45
B61F0429_1_4	40.54	40.99	0.45
B61F0429_1_5	40.54	40.99	0.45
B61F0430_1_2	43.93	43.72	-0.21
B61F0430_2_5	43.88	43.69	-0.19
B61F1189_1_2	42.98	42.16	-0.82
B61F1189_1_3	42.98	42.16	-0.82
B61F1189_2_4	42.98	42.41	-0.57
B61F1189_2_5	42.97	42.41	-0.56
B61F1329_1_2	43.57	43.63	0.06
B61F1329_1_3	43.57	43.63	0.06

Code	Gesimuleerd (m NAP)	Waargenomen (m NAP)	Verschil (m)
B61F1333_1_2	44.57	44.06	-0.51
B61F1333_1_3	44.57	44.06	-0.51
B61F1336_1_4	43.28	43.32	0.04
B61F1338_1_3	52.50	49.84	-2.66
B61F1362_1_2	45.09	44.26	-0.83
B61F1367_1_4	37.73	37.73	0.00
B61F1368_1_3	38.21	39.48	1.27
B61F1368_2_4	38.21	39.29	1.08
B61F1368_3_5	38.27	40.36	2.09
B61F1369_1_4	38.35	37.60	-0.75
B61F1370_1_4	39.50	38.62	-0.88
B61F1370_2_5	39.50	38.89	-0.61
B61F1371_1_4	40.23	39.90	-0.33
B61F1371_2_4	40.23	39.90	-0.33
B61F1371_2_5	40.19	39.90	-0.29
B61F1378_1_3	40.19	37.91	-2.28
B61F1379_1_3	41.08	37.69	-3.39
B62A0168_1_3	55.68	56.85	1.17

V Calibratieresultaten in kaart




B61F0176
B61F0168
B61F0006
B61F0170
B61F0168
B61F0173
B61F1371
B61F0172
B61F0015
B61F0174
B61F0015
B61F0302
B61F0302
B61F0175
B61F0240
B61F0217
B61F0177
B61F0175
B61F0177
B61F0353
B61F0178
B61F0178
B61F0239
B61F0301
B61F0239
B61F0363
B61F0101
B61F1338
B61F0345
B61F0345
B61F1336
B61F0279
B61F0279
B61F0032
B61F0346
B61F0346
B61F0190
B61F0354
B61F0190
B61F0039
B61F0039
B61F0132
B61F0355
B61F0353
B61F0131
B61F0131
B61F0358
B61F0430
B61F1362
B61F0358
B61F0430
B61F0152
B61F1189
B61F0143
B61F1189
B61F0143
B61F1189
B61F0193

VI Gecalibreerde parameterwaarden

Verschillen tussen initiële en gecalibreerde parameterwaarden.

Legenda bij Tabel 11:

Kolom	Betekenis
1	Nummer
2	Parametercode
3	Verwachtingswaarde parameterfactor
4	Minimaal toegestane factor bij calibratie
5	Maximaal toegestane factor bij calibratie
6	Gecalibreerde factor

Tabel 11 Gecalibreerde parameterfactoren en calibratiebereiken

1	2	3	4	5	6
1	Rch1	1	0.2	2	2.00
2	Rch2	1	0.2	2	0.40
3	Rch3	1	0.2	2	1.99
4	Rch4	1	0.2	2	0.20
5	Rch5	1	0.2	2	1.00
6	Rch6	1	0.2	2	1.37
7	Rch7	1	0.2	2	0.20
8	Rch8	1	0.2	2	0.88
9	HK_1_1	1	0.1	10	0.59
10	VK_1_1	1	0.1	10	1.42
11	HK_1_2	1	0.1	10	0.82
12	VK_1_2	1	0.1	10	6.63
13	HK_1_3	1	0.1	10	4.64
14	VK_1_3	1	0.1	10	0.11
15	HK_1_4	1	0.1	10	8.91
16	VK_1_4	1	0.1	10	9.45
17	HK_1_5	1	0.1	10	0.98
18	VK_1_5	1	0.1	10	1.06
19	HK_1_6	1	0.1	10	2.16
20	VK_1_6	1	0.1	10	0.99
21	HK_1_7	1	0.1	10	4.62
22	VK_1_7	1	0.1	10	0.80
23	HK_2_1	1	0.1	10	9.62
24	VK_2_1	1	0.1	10	7.24
25	HK_2_2	1	0.1	10	0.93
26	VK_2_2	1	0.1	10	0.97
27	HK_2_3	1	0.1	10	0.15
28	VK_2_3	1	0.1	10	3.72
29	HK_2_4	1	0.1	10	0.61
30	VK_2_4	1	0.1	10	4.86
31	HK_2_5	1	0.1	10	1.00

1	2	3	4	5	6
32	VK_2_5	1	0.1	10	4.60
33	HK_2_6	1	0.1	10	0.24
34	VK_2_6	1	0.1	10	2.97
35	HK_2_7	1	0.1	10	0.58
36	VK_2_7	1	0.1	10	0.95
37	HK_2_8	1	0.1	10	0.10
38	VK_2_8	1	0.1	10	1.20
39	HK_2_9	1	0.1	10	0.94
40	VK_2_9	1	0.1	10	0.81
41	HK_2_10	1	0.1	10	0.70
42	VK_2_10	1	0.1	10	0.10
43	HK_2_11	1	0.1	10	0.10
44	VK_2_11	1	0.1	10	0.76
45	HK_2_12	1	0.1	10	0.16
46	VK_2_12	1	0.1	10	2.35
47	HK_2_13	1	0.1	10	0.10
48	VK_2_13	1	0.1	10	1.85
49	HK_2_14	1	0.1	10	0.16
50	VK_2_14	1	0.1	10	2.03
51	HK_2_15	1	0.1	10	5.56
52	VK_2_15	1	0.1	10	0.86
53	HK_2_16	1	0.1	10	0.97
54	VK_2_16	1	0.1	10	8.05
55	HK_2_17	1	0.1	10	0.95
56	VK_2_17	1	0.1	10	1.21
57	HK_2_18	1	0.1	10	0.91
58	VK_2_18	1	0.1	10	1.89
59	HK_2_19	1	0.1	10	0.85
60	VK_2_19	1	0.1	10	0.67
61	HK_2_20	1	0.1	10	0.56
62	VK_2_20	1	0.1	10	0.84
63	HK_2_21	1	0.1	10	1.01
64	VK_2_21	1	0.1	10	0.99
65	HK_2_22	1	0.1	10	0.40
66	VK_2_22	1	0.1	10	2.25
67	HK_2_23	1	0.1	10	0.96
68	VK_2_23	1	0.1	10	4.68
69	HK_2_24	1	0.1	10	0.11
70	VK_2_24	1	0.1	10	0.99
71	HK_3_1	1	0.1	10	0.72
72	VK_3_1	1	0.1	10	0.98
73	HK_3_2	1	0.1	10	0.10
74	VK_3_2	1	0.1	10	3.82
75	HK_3_3	1	0.1	10	1.39
76	VK_3_3	1	0.1	10	0.94
77	HK_3_4	1	0.1	10	0.16
78	VK_3_4	1	0.1	10	0.81
79	HK_3_5	1	0.1	10	6.40
80	VK_3_5	1	0.1	10	1.66

1	2	3	4	5	6
81	HK_3_6	1	0.1	10	1.00
82	VK_3_6	1	0.1	10	1.03
83	HK_3_7	1	0.1	10	5.90
84	VK_3_7	1	0.1	10	1.00
85	HK_3_8	1	0.1	10	9.14
86	VK_3_8	1	0.1	10	0.91
87	HK_3_9	1	0.1	10	0.23
88	VK_3_9	1	0.1	10	0.96
89	HK_3_10	1	0.1	10	5.83
90	VK_3_10	1	0.1	10	0.96
91	HK_3_11	1	0.1	10	5.72
92	VK_3_11	1	0.1	10	1.96
93	HK_3_12	1	0.1	10	0.17
94	VK_3_12	1	0.1	10	1.12
95	HK_3_13	1	0.1	10	6.58
96	VK_3_13	1	0.1	10	0.98
97	HK_3_14	1	0.1	10	0.12
98	VK_3_14	1	0.1	10	0.82
99	HK_3_15	1	0.1	10	9.81
100	VK_3_15	1	0.1	10	5.42
101	HK_3_16	1	0.1	10	4.42
102	VK_3_16	1	0.1	10	0.74
103	HK_3_17	1	0.1	10	2.38
104	VK_3_17	1	0.1	10	0.99
105	HK_3_18	1	0.1	10	0.96
106	VK_3_18	1	0.1	10	2.11
107	HK_3_19	1	0.1	10	0.94
108	VK_3_19	1	0.1	10	1.45
109	HK_3_20	1	0.1	10	0.10
110	VK_3_20	1	0.1	10	0.80
111	HK_3_21	1	0.1	10	0.94
112	VK_3_21	1	0.1	10	1.76
113	HK_3_22	1	0.1	10	1.06
114	VK_3_22	1	0.1	10	0.89
115	HK_3_23	1	0.1	10	7.03
116	VK_3_23	1	0.1	10	0.95
117	HK_3_24	1	0.1	10	0.10
118	VK_3_24	1	0.1	10	1.68
119	HK_3_25	1	0.1	10	0.92
120	VK_3_25	1	0.1	10	1.11
121	HK_3_26	1	0.1	10	9.84
122	VK_3_26	1	0.1	10	6.08
123	HK_3_27	1	0.1	10	0.10
124	VK_3_27	1	0.1	10	0.72
125	HK_3_28	1	0.1	10	1.00
126	VK_3_28	1	0.1	10	0.96
127	HK_3_29	1	0.1	10	1.08
128	VK_3_29	1	0.1	10	0.22
129	HK_3_30	1	0.1	10	0.38

1	2	3	4	5	6
130	VK_3_30	1	0.1	10	0.97
131	HK_3_31	1	0.1	10	1.08
132	VK_3_31	1	0.1	10	0.68
133	HK_3_32	1	0.1	10	0.75
134	VK_3_32	1	0.1	10	0.76
135	HK_3_33	1	0.1	10	0.12
136	VK_3_33	1	0.1	10	8.22
137	HK_3_34	1	0.1	10	8.51
138	VK_3_34	1	0.1	10	1.00
139	HK_3_35	1	0.1	10	9.09
140	VK_3_35	1	0.1	10	0.71
141	HK_3_36	1	0.1	10	0.85
142	VK_3_36	1	0.1	10	1.00
143	HK_3_37	1	0.1	10	0.10
144	VK_3_37	1	0.1	10	0.28
145	HK_4_1	1	0.1	10	1.43
146	VK_4_1	1	0.1	10	0.96
147	HK_4_2	1	0.1	10	1.13
148	VK_4_2	1	0.1	10	1.00
149	HK_4_3	1	0.1	10	1.00
150	VK_4_3	1	0.1	10	0.93
151	HK_4_4	1	0.1	10	0.59
152	VK_4_4	1	0.1	10	1.02
153	HK_4_5	1	0.1	10	0.17
154	VK_4_5	1	0.1	10	0.47
155	HK_4_6	1	0.1	10	0.11
156	VK_4_6	1	0.1	10	0.96
157	HK_4_7	1	0.1	10	0.48
158	VK_4_7	1	0.1	10	8.00
159	HK_4_8	1	0.1	10	7.62
160	VK_4_8	1	0.1	10	0.98
161	HK_4_9	1	0.1	10	0.25
162	VK_4_9	1	0.1	10	3.32
163	HK_4_10	1	0.1	10	2.13
164	VK_4_10	1	0.1	10	1.11
165	HK_4_11	1	0.1	10	0.14
166	VK_4_11	1	0.1	10	0.17
167	HK_4_12	1	0.1	10	0.30
168	VK_4_12	1	0.1	10	0.68
169	HK_4_13	1	0.1	10	0.84
170	VK_4_13	1	0.1	10	0.86
171	HK_4_14	1	0.1	10	0.83
172	VK_4_14	1	0.1	10	0.10
173	HK_4_15	1	0.1	10	0.10
174	VK_4_15	1	0.1	10	0.14
175	HK_4_16	1	0.1	10	0.10
176	VK_4_16	1	0.1	10	0.10
177	HK_4_17	1	0.1	10	0.10
178	VK_4_17	1	0.1	10	0.27

1	2	3	4	5	6
179	HK_4_18	1	0.1	10	0.10
180	VK_4_18	1	0.1	10	4.11
181	HK_4_19	1	0.1	10	0.97
182	VK_4_19	1	0.1	10	1.00
183	HK_4_20	1	0.1	10	2.91
184	VK_4_20	1	0.1	10	1.00
185	HK_4_21	1	0.1	10	0.97
186	VK_4_21	1	0.1	10	1.00
187	HK_4_22	1	0.1	10	9.16
188	VK_4_22	1	0.1	10	1.12
189	HK_4_23	1	0.1	10	0.99
190	VK_4_23	1	0.1	10	1.00
191	HK_5_1	1	0.1	10	2.44
192	VK_5_1	1	0.1	10	3.15
193	HK_5_2	1	0.1	10	8.20
194	VK_5_2	1	0.1	10	1.92
195	HK_5_3	1	0.1	10	0.95
196	VK_5_3	1	0.1	10	0.10
197	HK_5_4	1	0.1	10	1.46
198	VK_5_4	1	0.1	10	0.95
199	HK_5_5	1	0.1	10	0.83
200	VK_5_5	1	0.1	10	0.82
201	HK_5_6	1	0.1	10	0.65
202	VK_5_6	1	0.1	10	0.62
203	HK_5_7	1	0.1	10	0.46
204	VK_5_7	1	0.1	10	0.34
205	HK_5_8	1	0.1	10	0.97
206	VK_5_8	1	0.1	10	0.92
207	HK_5_9	1	0.1	10	2.47
208	VK_5_9	1	0.1	10	0.87
209	HK_5_10	1	0.1	10	0.97
210	VK_5_10	1	0.1	10	0.87
211	HK_5_11	1	0.1	10	0.45
212	VK_5_11	1	0.1	10	0.60
213	HK_5_12	1	0.1	10	0.12
214	VK_5_12	1	0.1	10	0.98
215	HK_5_13	1	0.1	10	0.10
216	VK_5_13	1	0.1	10	0.74
217	HK_5_14	1	0.1	10	0.10
218	VK_5_14	1	0.1	10	0.92
219	HK_5_15	1	0.1	10	3.30
220	VK_5_15	1	0.1	10	1.74
221	HK_5_16	1	0.1	10	0.25
222	VK_5_16	1	0.1	10	1.00
223	HK_5_17	1	0.1	10	1.00
224	VK_5_17	1	0.1	10	1.00
225	HK_5_18	1	0.1	10	0.15
226	VK_5_18	1	0.1	10	0.69
227	HK_5_19	1	0.1	10	1.00

1	2	3	4	5	6
228	VK_5_19	1	0.1	10	0.96
229	HK_5_20	1	0.1	10	1.00
230	VK_5_20	1	0.1	10	3.89
231	HK_5_21	1	0.1	10	0.10
232	VK_5_21	1	0.1	10	0.72
233	HK_6_1	1	0.1	10	9.89
234	VK_6_1	1	0.1	10	0.93
235	HK_6_2	1	0.1	10	0.10
236	VK_6_2	1	0.1	10	0.10
237	HK_6_3	1	0.1	10	0.63
238	VK_6_3	1	0.1	10	0.10
239	HK_6_4	1	0.1	10	0.99
240	VK_6_4	1	0.1	10	1.08
241	HK_7_1	1	0.1	10	0.57
242	VK_7_1	1	0.1	10	0.10
243	HK_6	1	0.1	10	0.91
244	HK_7	1	0.1	10	0.96
245	VK_6	1	0.1	10	1.00
246	VK_7	1	0.1	10	0.89
247	Q1_6	1	0.8	1.2	1.00
248	Q2_5	1	0.8	1.2	1.00
249	Q2_6	1	0.8	1.2	1.00
250	Q3_6	1	0.8	1.2	1.00
251	Q4_5	1	0.8	1.2	1.00
252	Q4_6	1	0.8	1.2	1.00
253	Q4_7	1	0.8	1.2	1.00
254	Q5_5	1	0.8	1.2	0.99
255	Q5_6	1	0.8	1.2	0.99
256	QRST	1	0.8	2	0.99
257	RMAA	1	0.1	10	1.27
258	RGEU	1	0.1	10	4.04

VII Grondwateraanvulling

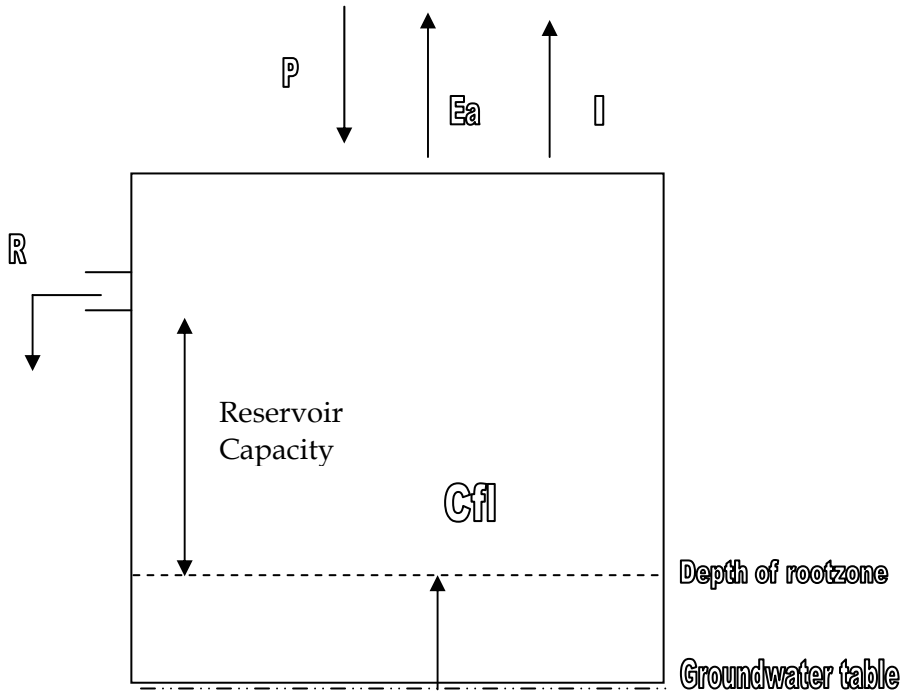
Modelbeschrijving

De grondwateraanvulling is berekend voor de eerste modellaag per modelcel, waarbij een waterbalans benadering is toegepast. Het model is ontwikkeld bij Elementair Tiel. De berekening is uitgevoerd met dagsommen van de neerslag van station Maastricht en naar dagsommen omgerekende maandelijkse verdampingsgegevens. In het model is rekening gehouden met het vochtleverend vermogen en de capillaire nalevering van de betreffende bodemsoort, grondwatertrap, landgebruik en interceptie. Bij toepassing van de methodiek is gebruik gemaakt van kengetallen uit het Cultturtechnisch Vademecum 2002. Een mathematische formulering van het model is navolgend weergegeven.

R	=	f(mc,Pn)
Mc	=	f(swrc,dr,cfl)
Pn	=	P-Ea-I
Ea	=	f(mc,ETP)
ETP	=	EP*cf
Cfl	=	f(gc,zc)
Zc	=	f(sc)

Waar:

R:	grondwateraanvulling
Ea:	actuele evapotranspiratie
ETP:	potentiële evapotranspiratie
EP:	Makkink portentiele evaporatie
cf:	Makkink gewasfactor
mc:	beschikbaar bodemvocht
Pn:	netto neerslag
P:	neerslag
I:	interceptie
swrc:	vochtleverend vermogen
dr:	bewortelingsdiepte
Cfl:	potentiële capillaire nalevering
gc:	grondwatertrap
zc:	kritische z afstand
sc:	bodemklasse



Figuur 30 Schematische weergave van het rekenmodel voor de grondwateraanvulling