

Milieu Effect Rapport

Optimalisatie Bedrijfsvoering

Noord-Hollands Duinreservaat

Achtergronddocument Hydrologie



PWN. Puur water en natuur.



PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland

23 december 2010
definitief

Milieu Effect Rapport Optimalisatie Bedrijfsvoering Noord-Hollands Duinreservaat Achtergronddocument Hydrologie

dossier : AC1899
registratienummer : WA-MS20100361
versie : definitief

PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland

23 december 2010

INHOUD

BLAD

1	INLEIDING EN DOEL	3
1.1	Doelstelling van het MER NHD	3
1.2	Gecalibreerde en gevalideerde grondwatermodellen NHD	3
1.3	Leeswijzer	5
2	MODELCONCEPT	7
2.1	Modelomgeving en rekencode	7
2.2	Modelgebied en keuze modelbegrenzing	8
2.3	Rekengrid	9
2.4	Geohydrologische modelschematisatie	12
2.5	Doorlatendheden en doorlaatvermogen watervoerende pakketten	19
2.6	Hydraulische weerstanden	21
2.7	Dichtheidsverdeling (zoet en zout grondwater)	22
2.8	Randvoorwaarden NHDZ en Bergen	23
2.9	Onttrekkingen	23
2.10	Grondwateraanvulling NHDZ en Bergen	25
2.11	Relatie grondwater-oppervlaktewater	27
3	GEVOELIGHEIDSANALYSE, CALIBRATIE EN VALIDATIE	34
3.1	Inleiding	34
3.2	Gebruikte gegevens en uitgangspunten	35
3.3	Keuze parameters en bijstelling modelconcept (NHDZ)	38
3.4	Gevoeligheidsanalyse NHDZ	40
3.5	Optimalisatie NHDZ	42
3.6	Resultaat parameters en resterende afwijkingen in het model	43
3.7	Validatie	49
3.8	Conclusies	54
4	REFERENTIES	56
5	COLOFON	58

BIJLAGEN

Bijlage 1	Hydrogeologisch lengteprofiel over het NHDZ
Bijlage 2	Hydraulische weerstanden van slecht doorlatende lagen
Bijlage 3	Redenering gewichten ijkset stijghoogte verschillen (verschil-koppels) over de S1.1 laag
Bijlage 4	Infiltratiehoeveelheden IKIEF en ICAS gebruikt bij parameteroptimalisatie van model
Bijlage 5	Validatieresultaat NHDZ

1 INLEIDING EN DOEL

1.1 Doelstelling van het MER NHD

Het doel van het MER Optimalisatie Bedrijfsvoering Noord-Hollands Duinreservaat (NHD) is verdere optimalisatie van de bestaande watersystemen van PWN in het NHD. Oriënterende berekeningen hebben uitgewezen dat veranderingen en verschuivingen binnen het NHD kansrijk zijn. Echter, omdat de vergunde capaciteit van de individuele systemen bereikt is, vraagt de Provincie Noord-Holland als bevoegd gezag informatie om te kunnen besluiten over wijziging van de vergunningen.

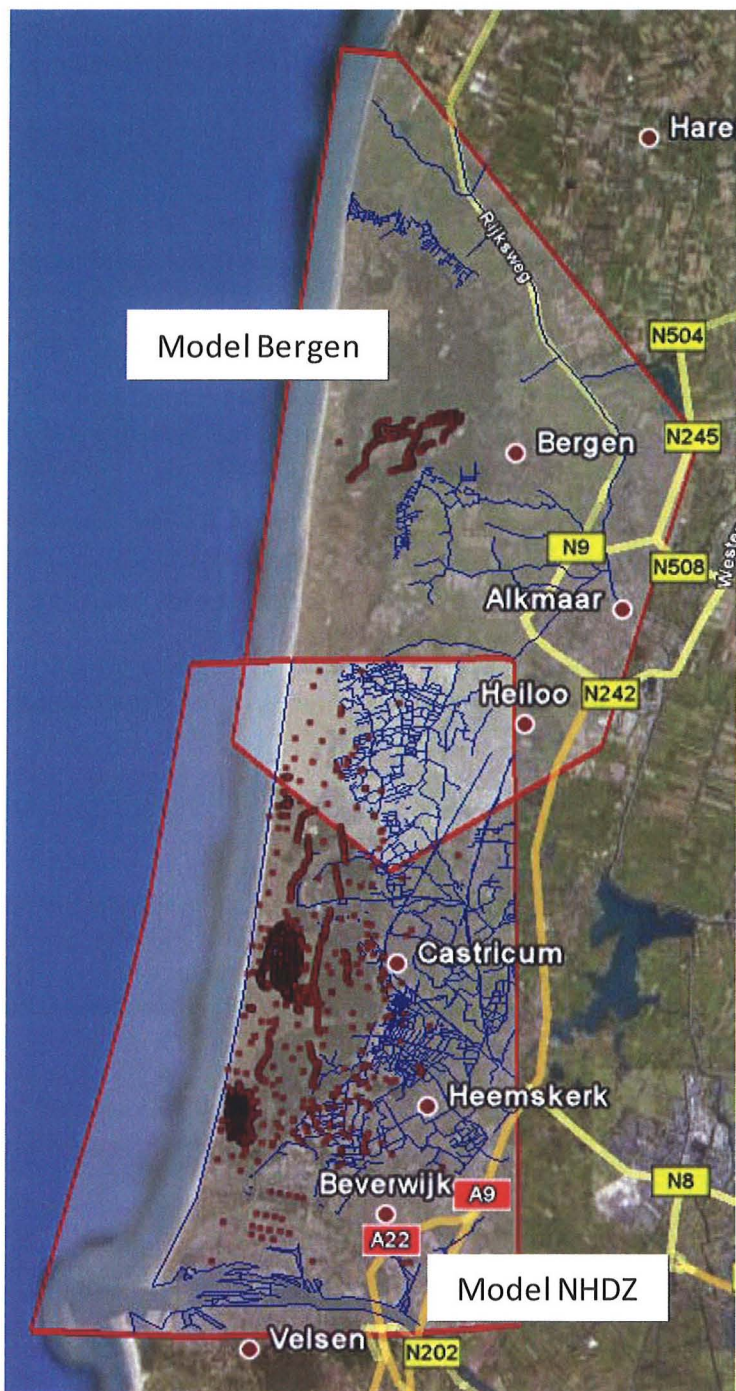
Het doel van het MER is daarom informatie te leveren over de mogelijkheden tot het 1) veiligstellen van de dekking van de behoefte aan drinkwater in combinatie met 2) instandhouden van de natuur- en recreatiewaarden van het natuurgebied en verder terugdringen van verdroging, en 3) vermijden van extra grondwateroverlast in bebouwd gebied.

Voor de natuur is niet de hoeveelheid onttrokken water van belang, maar het effect daarvan op de grondwaterafhankelijke vegetatie. Voor dit MER is het daarom van wezenlijk belang dat PWN beschikt over gecalibreerde en gevalideerde grondwatermodellen voor een betrouwbare voorspelling van de grondwaterstand, in combinatie met de exacte hoogteligging van het maaiveld. Dit is ook van belang voor het voorspellen van eventuele wateroverlast. Het voorliggende rapport beschrijft de grondwatermodellen van PWN.

1.2 Gecalibreerde en gevalideerde grondwatermodellen NHD

PWN beschikt over twee op elkaar aansluitende grondwatermodellen. De ene betreft het Noord-Hollands Duinreservaat Zuid (NHDZ) voor het gebied van het Noordzeekanaal tot Egmond aan Zee, de andere betreft Bergen. Het NHDZ en Bergen model overlappen elkaar voor een deel van het duingebied rondom Egmond aan Zee, zie Figuur 1.1. Beide modellen zijn meer dan 20 jaar geleden initieel opgezet en in de loop der jaren steeds verder verbeterd.

Voor de m.e.r.-studie is het van wezenlijk belang dat de modellen geschikt zijn voor het voorspellen van grondwaterstanden. Dat is het geval. Dit rapport vat de ontwikkeling van de modellen samen, beschrijft de opzet van de modellen en de resultaten van de calibratie en validatie.



Figuur 1.1 Modelgebieden Bergen en NHDZ en de gekozen modelbegrenzungen

De grondwatermodellen zijn in hoofdzaak gecalibreerd op basis van stijghoogtemetingen en de resultaten van tijdreeksanalyse. Het model NHDZ is bovendien ook gecalibreerd op verschillen in stijghoogte over weerstandsbiedende lagen en op de hoeveelheden geïnfiltreerd en onttrokken water door PWN. Beide modellen zijn gevalideerd aan de hand van historisch optredende verhogingen van de grondwaterstand na terugbrengen van de hoeveelheden onttrokken water. Aangezien de grondwatermodellen in de m.e.r.-

studie uitsluitend gebruikt worden voor het voorspellen van veranderingen (stijging of daling) van de grondwaterstand is deze calibratie- en validatie-inspanning ruim voldoende.

De voorspelling van de grondwaterstand is uitgevoerd met stationaire modellen. Met de modellen wordt gebiedsdekkend ten opzichte van de referenties (de huidige grondwaterstand en die bij volledige benutting van de huidige vergunningen) de verandering van de grondwaterstand berekend. Berekende verschillen worden gesuperponeerd op een kaart met werkelijk optredende (gemeten) grondwaterstanden (de grondwaterstandsdieptekaart). Hierbij wordt uitgegaan van het superpositiebeginsel.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de modelopzet. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van gevoeligheidsanalyse, calibratie en validatie van de modellen zoals uitgevoerd door PWN of door externe specialisten in opdracht en onder begeleiding van PWN.

De beschrijving van de verschillende onderdelen is voor het grondwatermodel NHDZ dezelfde als voor het grondwatermodel Bergen. De opzet van het grondwatermodel NHDZ is daarom als basis genomen, voor Bergen is steeds de specifieke situatie toegelicht.

2 MODELCONCEPT

2.1 Modelomgeving en rekencode

2.1.1 Modelomgeving

Het model is opgezet binnen de standaard Triwaco gebruikersschil versie 4.0 (Royal Haskoning, 2004). Triwaco combineert databeheer, aansturing van modellen en visualisatie binnen één werkomgeving. De dataomgeving maakt gebruik van OpenGIS, tegenwoordig OpenGeoSpatial. Dit betekent dat het instrumentarium met vrijwel alle bekende GIS bestanden overweg kan en aansluit op bestaande standaarden (KRW-geoformats, Aquo, INTWIS, IRIS). Er is een databank van basisgegevens opgebouwd van waaruit de individuele parameters van het model worden aangemaakt.

2.1.2 Rekencode

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt voor de rekencode Triwaco-Flairs die de grondwaterstroming berekent op basis van de eindige elementenmethode (Royal Haskoning, 2004). Er is gebruik gemaakt van de uitgebreide versie die in staat is rekening te houden met effecten op grondwaterstroming als gevolg van dichtheidsverschillen in het grondwater.

Het effect van de variabele dichtheid op grondwaterstroming wordt in Triwaco-Flairs verdisconteerd door correctiefluxen toe te kennen aan de individuele knopen. Deze correctiefluxen zijn afhankelijk van de geometrie van de watervoerende pakketten en de dichtheidsverdeling (zoet/zout verdeling). Met de correctiefluxen per knoop en de overige gebruikelijke randvoorwaarden zoals het topsysteem en de waterlopen kan de stroming worden berekend.

De dichtheidsverdeling wordt opgegeven als een vaste randvoorwaarde. Het model berekent dus geen veranderingen in de dichtheidsverdeling (en zout/zout verdeling). Aangenomen wordt dat de dichtheidsverdeling niet belangrijk verandert in de gesimuleerde periode.

2.2 Modelgebied en keuze modelbegrenzing

Het modelgebied is per definitie groter dan het aandachtsgebied waarvoor het model wordt opgezet. De keuze van de modelgrenzen is gebaseerd op twee voorwaarden. De eerste is dat de eventuele onjuistheden in de randvoorwaarden geen invloed hebben op de grondwaterstroming en stijghoogten als gevolg van inzet van de productiemiddelen van PWN. Ten tweede moet binnen het model het grondwatersysteem tot zijn recht komen.

2.2.1 NHDZ

De eerste voorwaarde houdt in dat het duingebied met daarin de belangrijke PWN-productiemiddelen (de infiltratiegebieden ICAS en IKIEF, het diepinfiltratiesysteem DWAT en de duinwaterwinningen) binnen de modelbegrenzing moet liggen.

Het duinsysteem in combinatie met het naastgelegen poldergebied en de strandwallen aan de oostkant en de Noordzee aan de westkant zijn bepalend voor de diepere grondwaterstroming. Deze gebieden zijn om die reden opgenomen binnen de randen van het model (o.a. PWN, 2004 en Royal Haskoning, 2002) zodat ook aan de tweede voorwaarde is voldaan.

Op basis hiervan is gekozen voor een model tussen coördinaten x:96000 y:500000 en x:109000 y:515000, zie Figuur 1.1. De modelgrens is in het oosten op circa 5 km buiten het duingebied gekozen. Hiermee is de geohydrologische spreidingslengte voldoende lang om een vaste rand-stijghoogte aan te nemen. Aangezien de Noordzee een vaste randvoorwaarde vormt, is daar een kortere afstand aangehouden van circa 3 km. Het model bestrijkt een gebied van circa 193 km².

2.2.2 Bergen

Op een vergelijkbare manier zijn de begrenzingen van het model Bergen vastgesteld (zie Figuur 1.1). Het model bestrijkt een gebied van circa 170 km². Het model is oorspronkelijk opgezet voor een onderzoek naar de waterhuishouding in het gebied Bergen-Egmond-Schoorl (IWACO, 1997).

2.3 Rekengrid

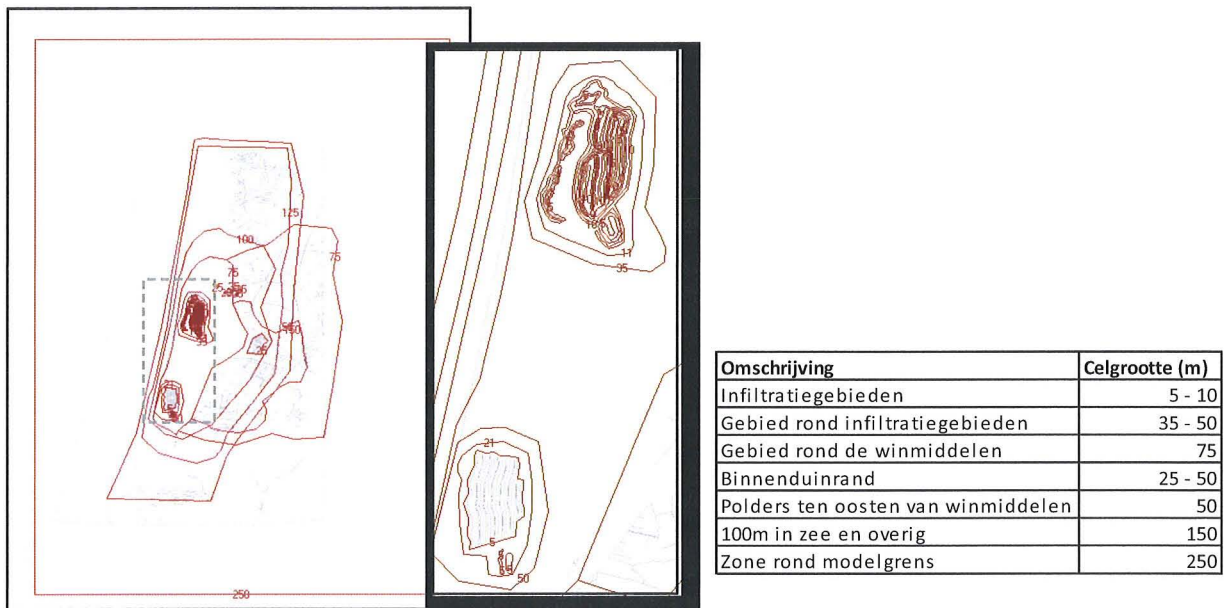
2.3.1 NHDZ

Beschrijving grid

Het model bestaat uit 93466 knooppunten die samen 186580 elementen vormen. De afstanden tussen de knooppunten van het elementennetwerk worden vanaf de modelgrens richting het duingebied steeds kleiner. Rondom de infiltratiegebieden zijn de gridcellen/knooppuntafstanden het kleinst. In de infiltratiegebieden is de afstand tussen de pompputten onderling en de afstand tussen pompput en infiltratiepand maatgevend voor de aangehouden knooppuntafstand.

Polygonen en celgrootte

Figuur 2.1 toont polygoon waarvoor per polygoon een andere knooppuntafstand ("celgrootte") is opgegeven. Een samenvatting ervan is gegeven in de tabel ernaast.



Figuur 2.1. Polygoon met celgrootte (in m) en aangehouden celgrootte per deelgebied

Lijnelementen (HOBO's en waterlopen) en vaste punten (onttrekkingen)

Waterlopen

In 2001 is een complete inventarisatie uitgevoerd van de ligging van waterlopen in het duin en het aangrenzende poldergebied. De informatie over de ligging van de waterlopen en bodemhoogte is ontleend aan 1) andere grondwatermodellen (Heemskerkerduin-, Vennewater- en CALU-model), 2) kaarten van PWN Natuur & Recreatie en 3) veldinventarisaties.

HOBO's

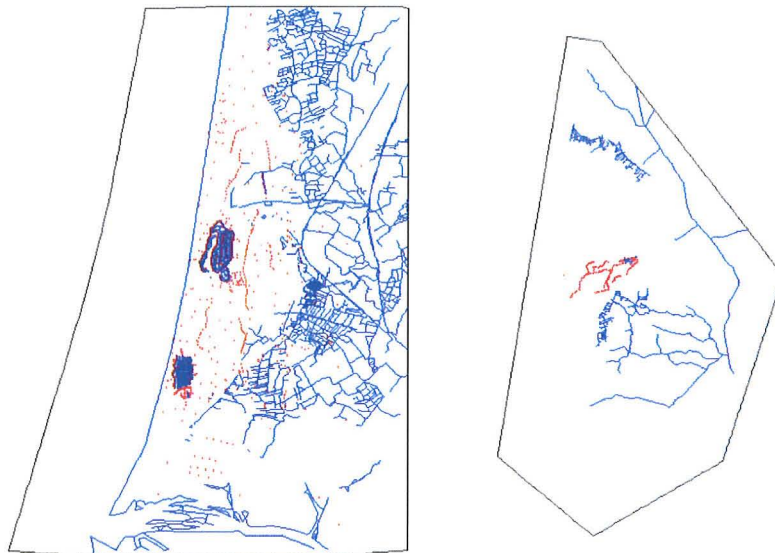
Een bijzonderheid in het bestand van lijnelementen is dat ook de winsecties van de infiltratiegebieden ICAS en IKIEF met deze specifieke HOBO-optie zijn gemodelleerd. De winputten van de infiltratiegebieden zijn in secties gekoppeld. Per sectie wordt het water opgepompt met behulp van één pomp. Per sectie is het totale debiet dus bekend, maar de debietverdeling per put niet. Om dit in het model goed te simuleren zijn de winsecties gedefinieerd als 'HOBO' (*horizontale boring*). Met deze speciale HOBO-optie kunnen de winsecties als verzameling van pompputten worden gedefinieerd en kan tevens een weerstand worden toegekend. Kenmerkend voor de HOBO-optie is dat de stijghoogte in alle verbonden pompputten gelijk is en dat alle HOBO-knooppunten samen het opgegeven debiet moeten leveren.

Overige lijnelementen

Om de kustlijn en havengebied/monding bij Wijk aan Zee goed in het model te schematiseren zijn deze als lijnelement aan het grid toegevoegd. Op deze manier kan de scherpe overgang van kust naar open water voor wat betreft de modelparameters beter worden geschematiseerd.

Onttrekkingen

In het grid opgenomen zijn alle onttrekkingen en injectieputten van PWN alsook alle andere bekende onttrekkingen binnen het modelgebied.



Figuur 2.2. Overzicht van lijnelementen (blauwgekleurd met onder andere de waterlopen) en onttrekkingen (punten, roodgekleurd) in het grid van NHDZ (links) en Bergen (rechts). In het grid van NHDZ zijn ook alle peilfilters als onttrekkingsput in het model gezet, daarom zijn daar veel rode punten in de figuur. Op de locaties van de peilfilters is echter geen debiet gespecificeerd waardoor deze punten niet als een feitelijke onttrekking functioneren.

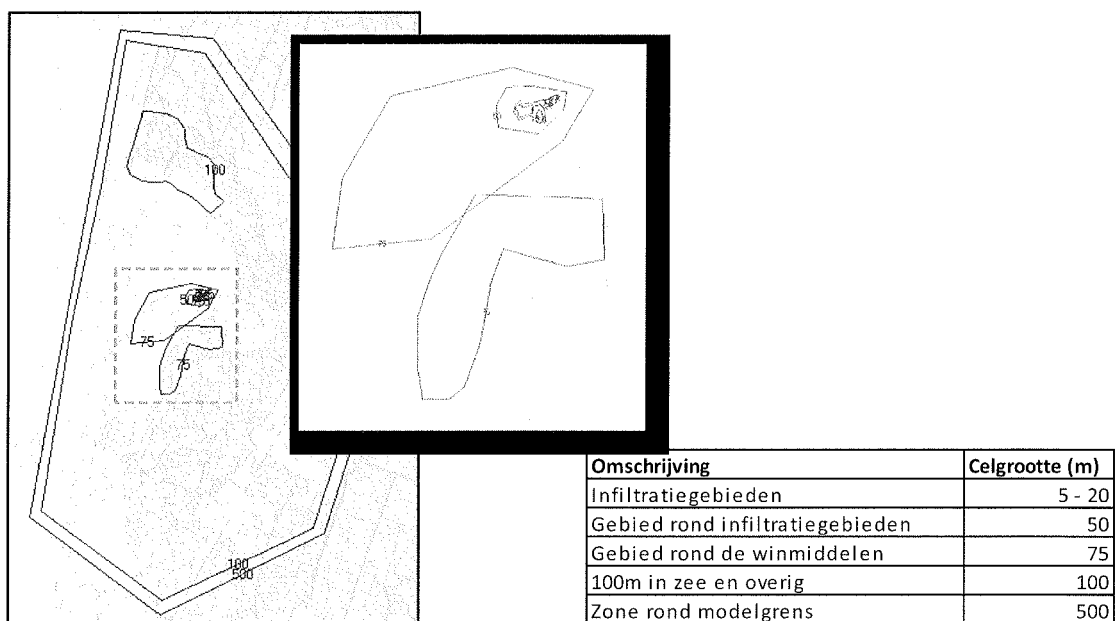
2.3.2 Bergen

Beschrijving grid

Het model bestaat uit 24381 knooppunten die samen 48268 elementen vormen. De afstanden tussen de knooppunten van het elementennetwerk variëren over het hele modelgebied. Rondom het wingebied en met name rond de (spoelwater) infiltratievijvers is de knooppuntafstand het kleinst.

Polygonen en celgrootte

Figuur 2.3 toont de polygonen waarvoor per polygoon een andere knooppuntafstand ("celgrootte") is opgegeven. Een samenvatting ervan is gegeven in de tabel ernaast.



Figuur 2.3. Polygonen met celgrootte (in m) en aangehouden celgrootte per deelgebied

Lijnelementen (HOBO's en waterlopen) en vaste punten (onttrekkingen)

Waterlopen

In het model zijn de belangrijkste waterlopen expliciet opgenomen. De informatie over de ligging van de waterlopen en bodemhoogte is ontleend aan het eerder opgezette model van Bergen en omstreken (IWACO, 1997).

Onttrekkingen

De winningen die door PWN worden gebruikt, zijn gedurende de afgelopen decennia regelmatig gemoderniseerd. Hierdoor is de putconfiguratie in de loop der jaren telkens veranderd. Alle putten (ook de buiten gebruik zijnde oude putten) zijn in het model opgenomen. Er zijn verder geen overige relevante onttrekkingen in het modelgebied.

2.4 Geohydrologische modelschematisatie

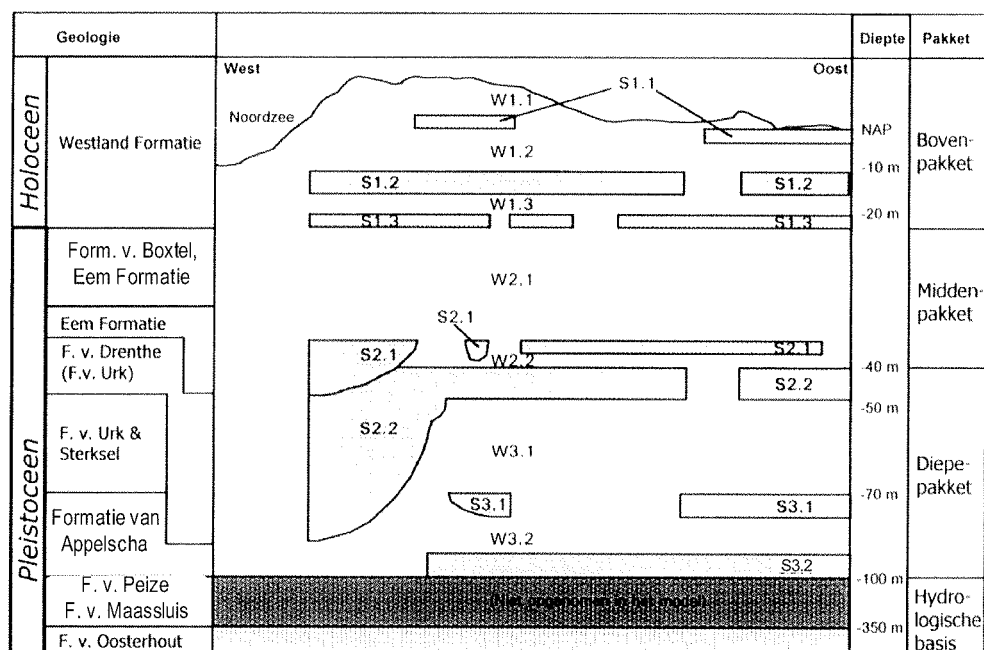
2.4.1 NHDZ

Voor de beschrijving van de geohydrologische schematisatie zal de indeling worden aangehouden welke ook voor het grondwatermodel is toegepast. Deze indeling is zoals eerder toegepast door PWN (Koster, 1997). De indeling van Koster is in belangrijke mate gebaseerd op het werk van Stuyfzand (Stuyfzand, 1985). Verder is gebruik gemaakt van de Geologische Kaart van Nederland Alkmaar West 19W (RGD, 1987) en De Landelijke Hydrologische Systeemanalyse: deelrapport 4 (TNO,1995). In bijlage 1 is een hydrogeologisch lengteprofiel opgenomen dat loopt van Egmond aan Zee (noord) tot IJmuiden (zuid).

In onze benadering nemen we aan dat voornamelijk de sedimenten die we aantreffen tot een diepte van 100 meter het hydrologische systeem bepalen. Tot deze diepte worden 3 pakketten onderscheiden: bovenpakket, middenpakket en diepe pakket. In ieder pakket komen slecht doorlatende lagen en goed doorlatende lagen voor. De slecht doorlatende lagen bestaan voornamelijk uit klei, veen en slibafzettingen. De goed doorlatende lagen (ook wel watervoerende pakketten) bestaan uit zand en grindafzettingen.

Op basis van deze criteria is een lagenmodel opgesteld waarbij iedere laag een specifieke codering heeft gekregen, bestaande uit een letter en 2 getallen. De letteraanduiding S geeft aan dat het om een slecht doorlatende laag gaat (aquitard). Evenzo geeft de lettercode W aan dat het om een goed doorlatende laag gaat (aquifer). Bij de nummercodering komt het eerste cijfer overeen met het nummer van de watervoerende (W1.x) of slecht doorlatende laag (S1.x) waarin een bepaalde laag te vinden is.

De lagen met een codering 1.x worden tot het bovenpakket gerekend. Lagen met de codering 2.x behoren tot het middenpakket en de lagen met de codering 3.x behoren tot het diepe pakket. De x staat vervolgens voor het volgnummer van de laag op basis van een verdere onderverdeling binnen één van deze drie pakketten (Figuur 2.4).



Figuur 2.4. Overzicht van de geohydrologische schematisatie

Dieper dan S3.2 : ouder dan de Formatie van Appelscha

De formaties ouder dan de Formatie van Enschede zijn Oosterhout, Maassluis en Peize. Deze formaties zijn als basis genomen voor het hydrologische systeem.

De Formatie van Oosterhout bestaat uit mariene kleiige en fijne zandige afzettingen. Deze geologische formatie komt in het gehele gebied voor. In het NHD ligt de top van deze formatie bij IJmuiden op ongeveer -300 m NAP. De diepte neemt in noordelijke richting toe tot ongeveer -350 m NAP nabij Bakkum en Egmond aan Zee. Aan de top wordt deze formatie begrensd door een kleilaag, welke ten noorden van het Noordzeekanaal in het gebied varieert in dikte van 20 tot 48 meter. Omdat de Formatie van Oosterhout vrijwel in heel Nederland op grote diepte voorkomt (dieper dan -250 m NAP), is alleen informatie bekend over de top van de laag.

De Formatie van Maassluis is opgebouwd uit slibhoudende, fijne zanden en zandige, kalkhoudende kleipakketten. Het aantal en dikte van deze lagen wisselt sterk.

De Formatie van Peize is opgebouwd uit grove, grindhoudende, grijs tot wit gekleurde zanden. Onderin de zanden van de Formatie van Peize komen ook kleilagen voor van wisselende dikte.

S3.2 : Klei- en/of slibhoudend zand c.q. leem aan basis van Formatie van Appelscha

De slecht doorlatende laag S3.2 komt in het gehele gebied voor. Er is weinig variatie in de diepteligging. De laag ontbreekt echter in de zuidoosthoek nabij Beverwijk. Ook in het westen ontbreekt de laag in de vorm van een geulpatroon van Castricum via de kustlijn naar het noorden. Er zijn twee duidelijke gebieden herkenbaar waar de dikte maximaal oploopt tot ruim 15 meter: noordelijk nabij DWAT en ICAS en meer zuidelijk richting Heemskerkerduin. In het zuidwesten is de laag vermoedelijk door latere glaciële erosie verdwenen.

W3.2 : Matig grove tot zeer grove, grindhoudende zanden van de Formatie van Appelscha

Deze hoofdzakelijk grove, grindhoudende zanden worden tot de Formatie van Appelscha gerekend. Lokaal worden zowel aan de top als midden in deze formatie veelal zandige kleilagen en/of leemlagen aangetroffen, respectievelijk S3.1 en S3.2. De Formatie van Appelscha komt in het gehele gebied voor. De top van deze formatie ligt op ongeveer -75 m NAP. De basis van de formatie ligt op -100 tot -115 m NAP. De dikte van de formatie varieert van 35 tot 50 meter.

S3.1 : (Klei- en) Slibhoudend zand c.q. leem aan top van Formatie van Appelscha

Dit betreft voornamelijk fijne slibhoudende zanden en leem. Lokaal komen echter toch kleilagen voor. Deze laag is vooral aanwezig in een zone bij Heemskerkerduin en bij Bakkum-Noord.

W3.1 : Formatie van Urk & Sterksel

De formatie van Urk is opgebouwd uit matig fijne tot grove zanden, grindhoudende zanden en is in lithologisch opzicht vergelijkbaar met de Formatie van Sterksel, zowel qua samenstelling als verbreiding. Het onderscheid tussen beide formaties berust voornamelijk op verschil in de zware mineralensamenstelling.

Aan de top van de Formatie van Urk & Sterksel wordt in diverse boringen een klei- en of leemlaag aangetroffen. Deze wordt in de schematisering vanwege de diepteligging tot slecht doorlatende laag S2.2 gerekend.

Bovengenoemde afzettingen zijn door de landschap beïnvloed (stuwing), die zich tijdens het Saalien uitbreidde tot halverwege in Nederland en tot ver in het zuidelijk deel van het gebied (omgeving IJmuiden).

Daardoor is de ligging van de top van deze formatie nogal wisselend en komen scheefgestelde lagen voor. In het gebied kunnen de beide formaties (Urk & Sterksel) samen een dikte bereiken van 35 tot 50 meter. De top ligt gemiddeld op -44 m NAP.

S2.2 : Keileem in glaciaal bekken & lokaal Urk-klei behorende tot de Formatie van Drenthe

Bovengenoemde geologische eenheden worden tot één slecht doorlatende laag gerekend. In het oosten van het gebied ligt de kleiig ontwikkelde keileem het meest ondiep, in het westen het diepst.

De keileem ontbreekt ten noordoosten van het glaciaal bekken en op twee plaatsen langs een lijn die juist ten noordwesten van het infiltratiegebied Castricum (ICAS) noordoostwaarts loopt. De afzettingen zijn hier door de latere Eemzee geërodeerd. Onder de keileem wordt lokaal vaak matig tot sterk slibhoudend zand aangetroffen. Gebrek aan informatie betreffende het percentage klei en leem in de lokaal sterk zandige keileem vormt een probleem bij de hydrologische interpretatie.

De noordelijke begrenzing van de keileem is gerelateerd aan erosie door de latere Eemzee. De zuidwaarts opdringende ijstongen schuurden diepe glaciaal bekken uit, zoals bijvoorbeeld in het zuidwestelijk deel van het gebied nabij Wijk aan Zee en Velsen. De stuwwallen bestaan uit materiaal van de Formaties van Urk & Sterksel, Appelscha en mogelijk ook de Formatie van Peize.

De verbreiding van het dikke pakket warvenkleien is beperkt tot het glaciaal bekken, waar het op de keileem gelegen is. Naar de randen van het glaciaal bekken (van IJmuiden) neemt de dikte af. In het zuidwesten zijn de dikte en de diepte tot aan de onderkant het grootst. In de rest van het gebied - buiten het glaciaal bekken - vormt de keileem een aaneengesloten laag. Lokaal kunnen echter variaties in de lithologische samenstelling optreden.

W2.2 : Matig fijne tot grove, grindhoudende zanden behorende tot de Formatie van Drenthe

Aan de rand van het bekken komen grovere sedimenten voor. Deze bestaan voor een deel uit smeltwater-afzettingen, maar kunnen mogelijk ook uit solifluctie-materiaal (hellingafzettingen) bestaan, afkomstig van de stuwwallen. Veel van het erosiemateriaal van de stuwwal zal als bekkenopvulling in het randgebied te vinden zijn. De dikte van de glaciolacustriene klei bedraagt in de diepste delen van het glaciaal bekken circa 20 m. Aan de basis van de glaciaal bekkenopvulling komt grondmorene voor. Deze zogenaamde keileem heeft een dikte van ongeveer 5 m. De fluvioglaciaal afzettingen, welke als een puinwaaier voor de landschap werden afgezet, kunnen een dikte van wel 40 meter bereiken.

De totale dikte van de Formatie van Drenthe kan in het centrale deel van het glaciaal bekken wel 60 meter bedragen. De top ligt op ongeveer -35 m NAP. De diepte van de basis van de formatie ligt in het centrale deel van het bekken op ongeveer -95 m NAP.

S2.1 : Eem-klei

Deze klei- en/of slibhoudende pakket behorende tot de mariene Eem Formatie heeft over het algemeen geen continue laterale verbreiding. De klei werd met name in het noordelijk gelegen bekken van het voormalige Zeegat van Bergen afgezet en in het eerder genoemde glaciaal bekken nabij IJmuiden. De dikte kan oplopen tot ongeveer 30 meter, vooral langs de kust. Noordelijk in het gebied ligt de Eem-klei tegen de bovengesloten Bergen-klei (S1.3) aan.

In de bekken vormt de klei een aaneengesloten laag. De top van de (Eem)kleilaag ligt in het bekken op 28 m-NAP. Daarbuiten is de kleilaag vaak discontinu en slechts enkele meters dik. De zanden komen zowel binnen als buiten het bekken voor. De gemiddelde dikte bedraagt ongeveer 15 meter.

Intrusie van zeewater tijdens afzetting van de Eem Formatie zorgde ervoor dat zout water de onderliggende, oudere formaties binnendrong dankzij de hogere dichtheid van het zoute water.

In het gebied worden door Stuyfzand twee kleihoudende lagen, behorende tot de mariene Eem Formatie, onderscheiden met een vrij aanzienlijke ruimtelijke verbreiding en dikte (Stuyfzand, 1985). De eerste wordt om en nabij -35 tot -40 meter NAP aangetroffen, dat wil zeggen ongeveer op de hoogte van de bovenkant van het keileem (Formatie van Drenthe: S2.2). Uit de diverse gebruikte boorbeschrijvingen blijkt dat er geen continue laterale verbreiding van deze laag wordt aangetroffen. Lokaal kan echter wel een kleilaag worden aangetroffen. Mogelijk markeert deze laag het moment van stilte na een grote stormvloed, die ineens de laatste resten van het glaciaire landschap (tevorens klifkusten vormend) erodeerde. De tweede laag bevindt zich in het glaciaire bekken beneden -60 m NAP.

Samengevat, vormen bovengenoemde eerste laag in het gebied buiten het glaciaire bekken samen met bovengenoemde tweede laag in het glaciaire bekken één slecht doorlatende laag S2.1.

W2.1 : Fijn tot matig grof zand behorende tot de Eem Formatie & lokaal Formatie van Boxtel

De top van de formatie ligt op ongeveer -21 m NAP. De basis ligt op ca -35 m NAP. Dit pakket is belangrijk omdat zich hierin (bijna) alle winningen bevinden. Lokaal worden slibhoudende zanden aangetroffen. Dit pakket is dan ook minder grof dan W3.1.

S1.3 : Holocene: Bergen-klei, Beemster Afzettingen (Afzetting van Calais II t/m IV), Velsen- klei (Afzetting van Calais I), Basisveen

Tijdens de overgang van het relatief koude Pleistoceen naar het relatief warme Holocene, zo'n 10.000 jaar geleden, bestaat het gebied uit een dekzandlandschap met dalvormen van in de loop van het Weichselien (de - voorlopig - laatste ijstijd) in betekenis afgenomen rivier- en beeksystemen.

Fijnzandige afzettingen (zandige klei) aan de basis van S1.3 behoren tot de Pleistocene Formatie van Twente zijn geïnterpreteerd als eolische sedimenten, (dekzanden en löss) en lokale rivierafzettingen onder periglaciaire milieuocondities. De verbreiding van het dekzandlandschap is ongeveer gelijk aan die van het (Holocene) Basisveen. De oppervlakte van dit oude Pleistocene landschap ligt nu op diepten tussen -20 en -32 m NAP. In het gebied ligt de top van de Formatie van Boxtel gemiddeld op ongeveer -18 m NAP. Lokaal kunnen enkele lemige afzettingen worden aangetroffen. Deze slecht doorlatende laagjes worden vanwege hun diepteligging in de schematisering tot S1.3 gerekend.

Onder invloed van de ingezette klimaatsverandering smolt het landijs af met als gevolg een stijging van de zeespiegel. In relatie hiermee steeg ook de grondwaterspiegel en kon in de lagere delen van het gebied veenvorming optreden: het Basisveen (behorende tot eenheid S1.3). Er ontstaan veenmoerassen.

Door een voortgaande zeespiegelstijging tijdens het Atlanticum (7.000 jaar geleden) verdrinkt dit Basisveen en ontstaat er een lagune waarin klei tot afzetting komt onder brakke tot zoete condities: de Laag van Velsen (ook wel bekend onder de naam Hydrobia-klei).

Deze kleige afzettingen op het Basisveen en uit zand en klei opgebouwde geulopvullingen, in diep in het Pleistoceen ingesneden dalen, worden tot de Afzettingen van Calais I gerekend.

Lokaal kan deze laag bedekt zijn met Afzettingen van Calais II t/m IV (Beemster Afzettingen) en eventueel een kleilig traject van de Strandzanden (ondiep marien). Deze sedimenten worden echter over het algemeen niet in het gebied aangetroffen. De Beemster Afzettingen (en kleige Strandzanden) zijn vermoedelijk door latere rijzing van de zeespiegel geërodeerd. Qua lithologie zijn ze identiek aan de Strandzanden (W1.3) en daardoor moeilijk van de bovenliggende strandwalafzettingen te onderscheiden.

De Beemster Afzettingen zijn gevormd in een wad- en lagunair milieu. Alle bovengenoemde afzettingen worden tot S1.3 gerekend.

S1.3 wordt in het noorden van het gebied als een dikke, zeer fijnzandige laag met veel slib- en kleibrokjes aangetroffen. Het betreft een zandige randfacies van de zogenaamde Bergen-klei. Meer noordwaarts neemt de dikte van deze 'klei' sterk toe en bevat deze nog ingesloten zeewater. De klei is ongeveer 5000 jaar geleden afgezet in het voormalige zeegat van Bergen. S1.3 betreft in de duinen buiten de klei van Bergen slibhoudende en kleilagen bevattende Noordzee- afzettingen. S1.3 ontbreekt in het centrale deel van het gebied in een aantal langgerekte, west-oost verlopende zones; de erosiebanen van latere Holocene geulpatronen.

Tijdens het middelste deel van het Atianticum (6.500 jaar geleden) neemt de mariene invloed in het gebied sterk toe. Eerst ontstaan er een aantal west-oost georiënteerde geulen, waarvan onder andere het geulsysteem van Castricum in de richting van Akersloot langere tijd open blijft. Tussen de geulen bevinden zich zandplaten. Langs de geulen komen wadafzettingen voor. Aan de westzijde van de zandplaten die het bovengenoemde geulsysteem begrenzen, ontstaat tijdens het begin van het Subboreaal de eerste van een serie van strandwallen in het zuidelijk deel van het gebied (ten westen van Uitgeest). De snelheid van zeespiegelstijging was afgenomen, het getijdengebied opgevuld en de geulen slibten dicht. Het nog steeds door de golven aangevoerde zand en het zand van de eb-getijden delta's van de verdwenen geulen werd gebruikt voor uitbouw van de strandwal gordel.

S1.2, W1.2 en S1.1, W1.1

De eenheden S1.2 en W1.2 behoren toe aan het Holocene. W1.2 bestaat uit de Oude Duin- en Strandzanden. S1.2 bestaat uit de sedimenten die zijn afgezet vanuit het Oer-IJ. Ook de eenheden S1.1 en W1.1 behoren tot de Westland Formatie, waarbij W1.1 bestaat uit de zogenaamde Jonge Duinen. De Zijpe afzettingen liggen in depressies van de Oer-IJ afzettingen en worden gerekend tot S1.1. Een uitgebreidere beschrijving van deze eenheden is te vinden in de beschrijving van de geomorfologie.

Geohydrologische schematisatie vertaald naar modellagen

Voor de definitie van de dikte en de diepte (top) van de scheidende lagen in het model is gebruik gemaakt van de schematisatie van de bodemopbouw door Koster (Koster, 1997) beschreven in de voorgaande paragraaf. Er worden acht watervoerende en scheidende lagen, respectievelijk watervoerende laag/scheidende laag gemodelleerd (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 3.1, 3.2 en 3.3; in het model zijn dit respectievelijk watervoerend/scheidende laag 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 en 8). Voor al deze lagen heeft Koster een dikte en dieptekaart gemaakt die overgenomen zijn in het model. Hieruit wordt de dikte en diepte van de watervoerende pakketten berekend.

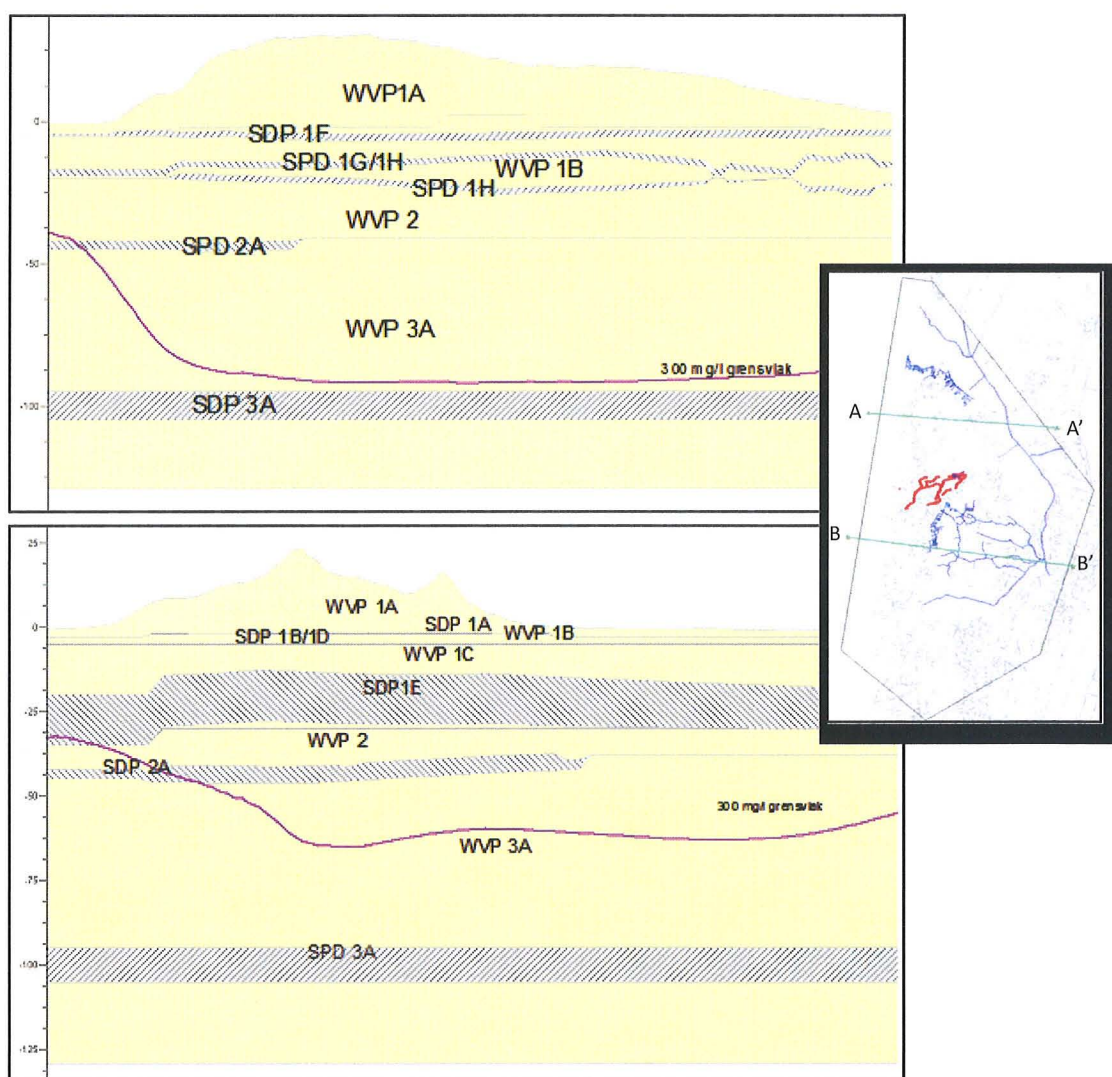
Voor de scheidende laag 1.1 (S1.1) is de verbreiding en dikte gekarteerd. Voor deze kartering zijn gecombineerd: informatie uit de karteringen van Koster en Stuijzand, stijghoogteverschillen Dawaco (databank PWN), structurele niveau's en gebiedskennis (Rolf, 2002). Aan deze laag is extra aandacht besteed omdat het voorkomen zeer bepalend is voor een juiste berekening van de freatische grondwaterstand.

2.4.2 Bergen

De indeling in watervoerende en waterscheidende lagen van Stufzand (1989) is gebruikt bij de geohydrologische schematisatie.

Het gebied kent ten zuiden van de winningen van PWN een duidelijk andere bodemopbouw dan ten noorden ervan (Figuur 2.5). Ten zuiden wordt deze gekenmerkt door de aanwezigheid van de Bergenklei. De grens van de Bergenklei bevindt zich min of meer onder de winningen. Ten noorden bevindt zich geen Bergenklei, maar wordt een duidelijke weerstandslaag aangetroffen behorend tot de Formatie Calais II kleilaag van Velsen en Basisveen. Onder deze lagen bevindt zich Eemklei die vooral aan de kust goed is ontwikkeld en landinwaarts minder, of niet aanwezig.

De geohydrologische schematisatie vertaald naar modellagen is weergegeven in Tabel 2.1 en in Figuur 2.5. Voor het model Bergen worden de slecht doorlatende lagen aangeduid met 'SDP' en de goed doorlatende lagen met 'WVP'.



Figuur 2.5. Modelschematisatie noordzijde en zuidzijde van het modelgebied

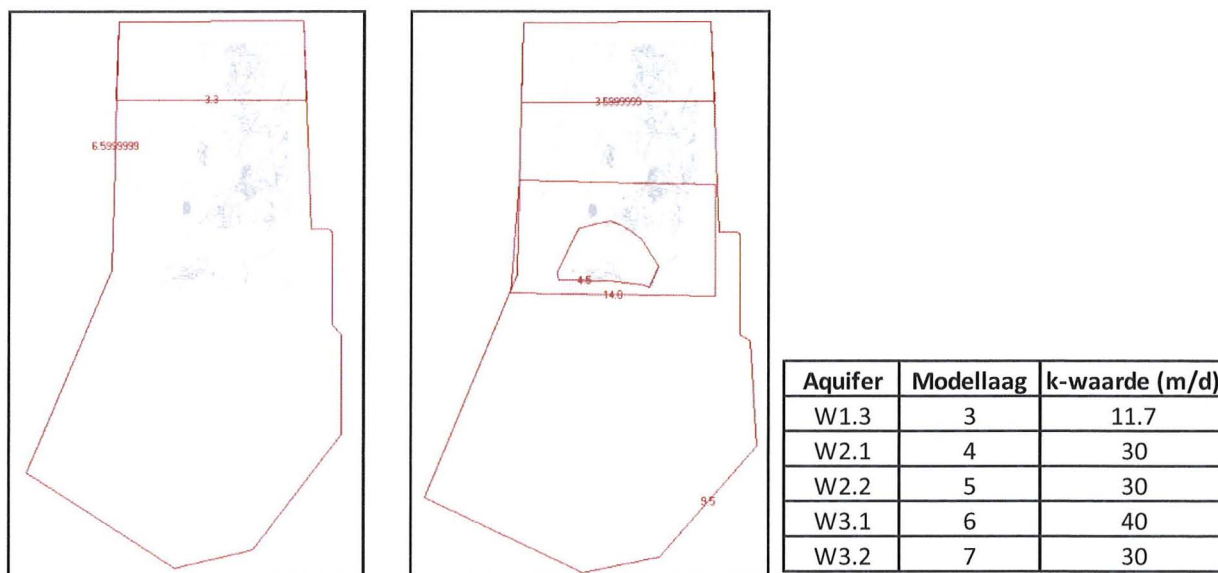
Tabel 2.1. Geohydrologische schematisatie (top en dikte in m +NAP)

Hydrologische eenheid	Afzetting	Mediaan		Modellaag	
		Top	Dikte	Aquifer	Aquitard
WVP1A	Westlandformatie eenheden 3 t/m 7	+4-2	6-13	1 2 3	
SDP 1A	Duinveen	+1	0.2		1
SDP 1B	Duinkerken-I, klei ondiep		-2		2
SDP 1D	Klei aan basis van Holocene, geologisch niet gedifferentieerd	-17	2		3
SDP 1E	Bergenklei, geulopvulling	-16	10		3
SDP 1F	Veen en watafzetting	-30	2		3
SDP 1G	Calais II kleih. Zand	-7	1		3
	Kleilagen van Velzen	-8	2		
	Basisveen (noordelijk kustgebied)	-10	0.4		
WVP 1B	Formatie van Twente	-13	5	4	
SDP 1H	Formatie van Twente	-21	3		4
WVP 2	Formatie van Twente	-20	5	5	
	Eem Formatie	-25	15		
SDP 2A	Eem Klei	-40	3		5
SDP 2D	Keileem (Form. Van Drenthe)	-40	5		5
WVP 3A	Eem F./F.v. Drente/F. v. Urksel/F. v. Enschede	-40/-60/-80	30/20/30	6	
SDP 3A	Klei en veenrijke facies F. Enschede	-95	10		6
WVP 3B	F. v. Harderwijk	-129	30	7	

2.5 Doorlatendheden en doorlaatvermogen watervoerende pakketten

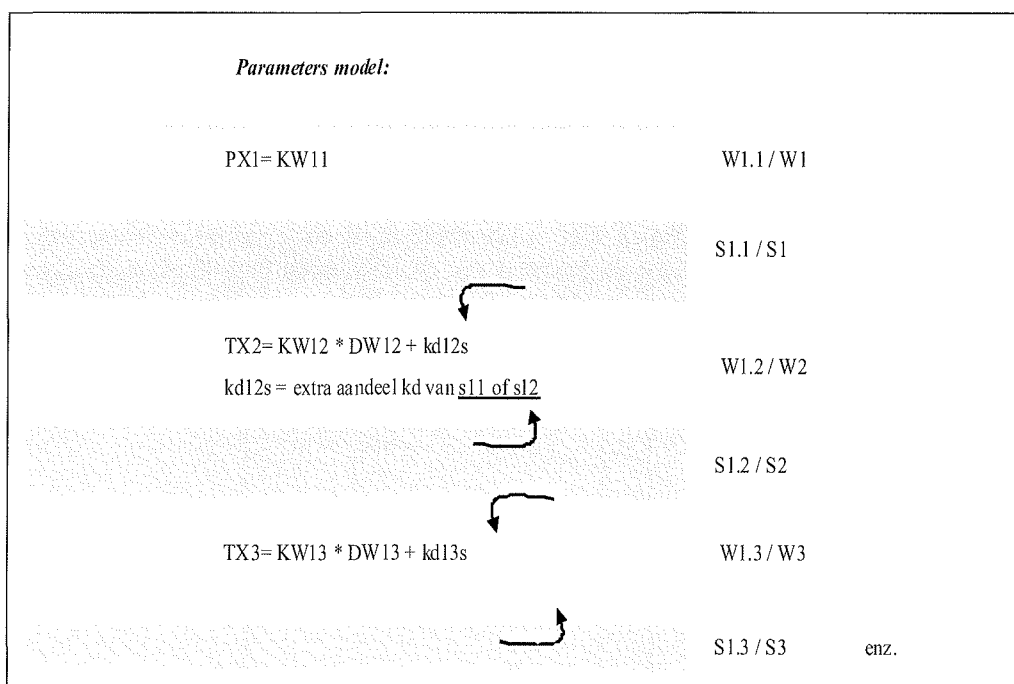
2.5.1 NHDZ

Per watervoerend pakket is de initiële k-waarde verdeling op basis van lithologische kenmerken gedefinieerd. Voor enkele watervoerende pakketten is een onderverdeling gemaakt in vlakken met verschillende k-waarden (zie Figuur 2.6). In het model wordt de k-waarde vermenigvuldigd met de dikte van het watervoerende laag voor de bepaling van de kD-waarde (het doorlaatvermogen). Uitzondering hierop vormt het bovenste watervoerend pakket dat freatisch is.



Figuur 2.6. Kaart links k-waarde W1.1 en rechts k-waarde W1.2. De tabel bevat de toegekende k-waarden van de overige watervoerende pakketten voor het NHDZ model.

In voorgaande modellen is gebleken dat het doorlaatvermogen (kD-waarde) dat op deze wijze wordt berekend vaak te laag is. Vermoedelijk is het werkelijk doorlaatvermogen van het watervoerend pakket groter, doordat delen van de scheidende lagen meer doorlatend zijn dan anderen en bijdragen aan de doorlatendheid van het watervoerend pakket erboven of eronder. Hieraan is invulling gegeven door per scheidende laag de kD waarde te bepalen van het meer doorlatende deel en deze toe te kennen aan de kD-waarde van het pakket eronder en erboven. Hiermee wordt een betere benadering gekregen van de kD-waarde van de watervoerende pakketten.



Figuur 2.7. Definitie doorlaatvermogen watervoerende pakketten. PX1 = doorlatendheid freatische laag, TXn=kD, KWn=k-waarde, DWn=dikte

2.5.2 Bergen

Op dezelfde wijze als voor het NHDZ model zijn ook doorlatendheden en doorlaatvermogens van de watervoerende pakketten voor het model van Bergen gekozen. Tabel 2.2 geeft de toegekende k-waarden van de watervoerende pakketten.

Tabel 2.2. k-waarden van de watervoerende pakketten in het Bergen model

Aquifer	Modellaag	k-waarde (m/d)
WVP1A	1	8
WVP 1A	2	7
WVP 1A	3	12
WVP1B	4	15
WVP2	5	20
WVP3A	6	30
WVP3B	7	35

2.6 Hydraulische weerstanden

2.6.1 NHDZ

Voor de definitie van de hydraulische weerstanden ofwel c-waarden van de scheidende lagen is gebruik gemaakt van: de c-waarde bepaling en diktekaarten op basis van lithologische samenstelling en hieraan gekoppelde k-waarden beschikbaar in de DAWACO-databank, de diktekaarten (Koster, 1997), dwarsprofielen en kaarten van Stuijzand (1985) en de kartering van Rolf (2002).

De gegevens uit deze bronnen zijn met elkaar gecombineerd tot een verbreidingskaart, waarin vlakken worden onderscheiden met relatief meer of minder weerstand. Het gaat dus niet om de absolute weerstanden, maar om de relatieve verschillen. Voor elk vlak is een weerstand geschat, deze waarden zijn verder geoptimaliseerd tijdens de calibratie van het model (zie verder paragraaf 3.5, waar de calibratie wordt behandeld en bijlage 2).

2.6.2 Bergen

Voor de definitie van de hydraulische weerstanden ofwel c-waarden van de scheidende lagen is gebruik gemaakt van eerdere modellering van het gebied (IWACO, 1997) waarvan de waarden bij de calibratie waar nodig zijn aangepast. Tabel 2.3 geeft de toegepaste c-waarden voor de verschillende scheidende lagen in het model. In bijlage 2 is per scheidende laag de weerstandlaag weergegeven.

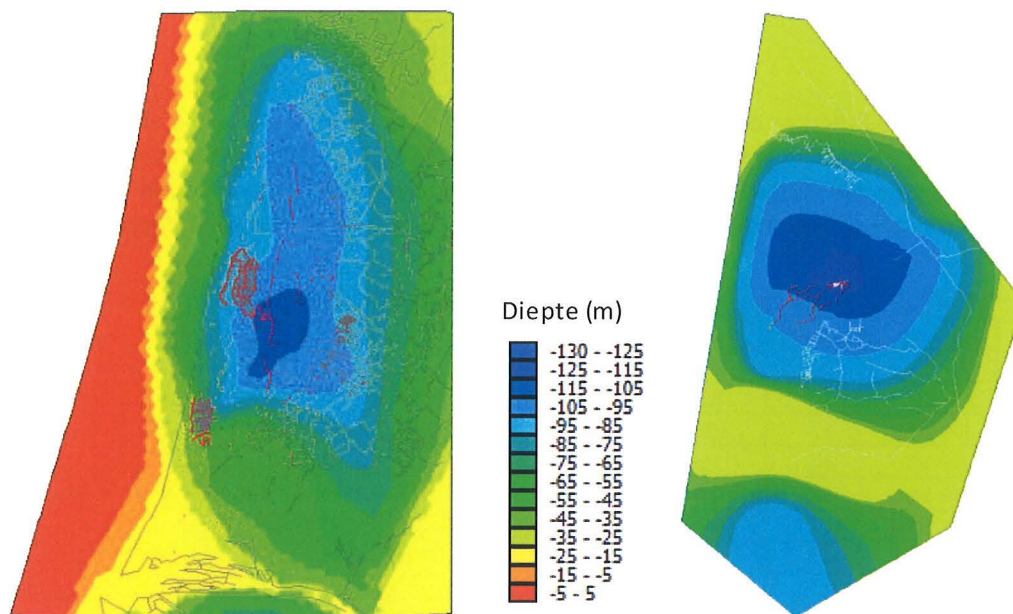
Tabel 2.3. C-waarden van de scheidende lagen in het Bergen model

Aquitard	Modellaag	c-waarde (d)
SDP 1A	1	200 - 2000
SDP 1B	2	2000 - 7000
SDP 1D	3	100 - 5000
SDP 1E	3	50000
SDP 1F	3	7000
SDP 1G	3	2000
SDP 1H	4	1000
SDP 2A	5	500 - 10000
SDP 2D	5	1000
SDP 3A	6	3000

2.7 Dichtheidsverdeling (zoet en zout grondwater)

2.7.1 NHDZ

De rekencode Flairs kan rekening houden met dichtheidsverschillen in grondwater. De chlorideverdeling van het grondwater is in beginsel ontleend aan een kartering van de 300 mg/l isohalobathen kaart (Stuijzand, 1985). Deze kartering is aangevuld met meer recente meetgegevens over de overgangsdiepte van zoet naar zout water. Aangenomen is dat de overgang van zoet (minder dan 300 mg/l) naar zout water (meer dan 10.000 mg/l) relatief scherp is. Binnen enkele meters vindt de overgang van zoet naar zout grondwater plaats. Buiten het duingebied zal een brakwater zone aanwezig zijn tot soms enkele tientallen meters dik. Een ander aspect bij het gebruik van de variabele dichtheidsmodule is de concentratie van het zoute grondwater. Het ICW rapport (ICW, 1982) meldt chloridewaarden van 10.000 mg/l onder de polder op ongeveer -130 m NAP, terwijl voor zeewater en ook voor grondwater enkele km uit de kust 20.000 mg/l wordt aangehouden.



Figuur 2.8. Diepte zoet/zout grensvlak gedefinieerd als 300 mg/l chloride. Links het NHDZ model en rechts het Bergen model.

In het model wordt uitgegaan van zout grondwater met een dichtheid van 1025 g/l, terwijl voor zoet grondwater 1000 g/l wordt aangehouden. Daar waar een modellaag uit een zoet en een zout deel bestaat wordt een gewogen gemiddelde bepaald. Figuur 2.8 geeft de diepte weer van het zoet/zout grensvlak. De dichtheidsverdeling is vervolgens op basis van de chlorideconcentraties vertaald.

2.7.2 Bergen

Op dezelfde wijze als voor het NHDZ model is voor het Bergen model de dichtheidsverdeling in het model gebracht. Figuur 2.8 geeft ook de diepte weer van het zoet/zout grensvlak, gebaseerd op Stuijzand (1989).

2.8 Randvoorwaarden NHDZ en Bergen

In de rekencode Flairs kan gewerkt worden met omgevingsstijghoogten of zoetwaterstijghoogten (voor een nadere uitleg van deze begrippen, zie bijvoorbeeld Inleiding in de Hydrologie van Nederland, pp 51-53, Jacobus de Vries, 1980).

Gekozen is om te werken met omgevingsstijghoogten. Op deze wijze kan vooral langs de westrand van het model eenvoudig de randvoorwaarde worden gekozen. Circa 2 km vanaf de kustlijn veronderstellen we dat geen verticale en vrijwel geen horizontale stroming plaatsvindt. Dit betekent dat hier een hydrostatisch evenwicht bestaat waarbij in alle pakketten zout zeewater aanwezig is en waarbij de omgevingsstijghoogte gelijk is aan nul.

Aan de oostrand is voor het vaststellen van de randvoorwaarde gebruik gemaakt van informatie uit het ICW rapport (1982). Uit dit rapport wordt voornamelijk voor de diepe lagen (dieper dan -65 m NAP) de stijghoogte aan de oostzijde van het model ontleend. Deze zoete stijghoogten zijn omgerekend naar omgevingsstijghoogten.

2.9 Onttrekkingen

2.9.1 NHDZ

Voor de debieten in het calibratie-model is het gemiddelde genomen van juli 1996 t/m juni 2000 (overeenkomend met de calibratieperiode). De gemiddeld berekende onttrekking per dag en per jaar voor elke winsectie is weergegeven in Tabel 2.4. De hoeveelheid water die in de infiltratiepanden infiltreert, wordt berekend door het model.

Tabel 2.4. Gemiddelde onttrekking per dag en per jaar voor elke winsectie in het NHDZ model

Secundair	(m3/d)	ICAS	(m3/d)	IKIEF	(m3/d)	DWAT	(m3/d)	
secHPcas	0	P 100	3526	PM9100	2887	PM8	8580	
sec2	0	P 200	6264	PM9200	4833	IM8	-9163	
sec3	54	P 300	3209	PM9300	4767			
sec4	212	P 400	6047	PM9400	3673			
sec5	20	P 500	5323	PM9500	4279			
secA	313	P 600	4056	PM9600	1740			
secD	209	Q 100	3957	PM10100	1982			
secE	124	Q 200	8563	PM10200	4210			
secF	46	Q 300	5492	PM10300	3765			
secG	0	Q 400	7250	PM10400	3224			
secH	395	Q 500	7335	PM10500	3735			
secJ	793	Q 600	2729	PM10600	3853			
secL	81	secR	1245					
		secS	1293					
Totaal	2247	Totaal	66289	Totaal	42949	Totaal	-584	
Gemiddeld (Mm3/jaar)	0.8	Gemiddeld (Mm3/jaar)	24.2	Gemiddeld (Mm3/jaar)	15.7	Gemiddeld (Mm3/jaar)	-0.2	

De winputten van de infiltratiegebieden ICAS en IKIEF zijn in secties gekoppeld. Per sectie wordt het water opgepompt met behulp van één pomp (in tegenstelling tot de duinsecundairs waar elke winput is voorzien van een pomp). Per sectie is het totale debiet dus bekend, maar de debietverdeling per put niet. Om dit in het model goed te simuleren zijn de winsecties als 'rivier' gedefinieerd en hebben deze als riviertype 'HOB0'. Met deze speciale optie kunnen de winsecties als verzameling van pompputten worden gedefinieerd en kan tevens een weerstand worden toegekend (infiltratieweerstand 1 dag en drainageweerstand van 0.1 dag). Voor elke HOB0 is een vast debiet gedefinieerd. Met één afpompingsniveau voor alle pompputten van een sectie, zoekt Flairs naar een juiste verdeling van het debiet over de pompputten (zie ook paragraaf 2.3).

Alle duinwatersecundairs (1^e kolom van bovenstaande tabel) bevinden zich in watervoerende laag W2.1 (modellaag 4), met uitzondering van secundair HPcas, deze bevindt zich in watervoerende laag W1.3 (modellaag 3). Alle onttrekkingen (HOB0's) van ICAS en IKIEF bevinden zich ook in watervoerende laag W1.3. De secundairs R en S (in het infiltratiegebied ICAS) bevinden zich in watervoerende laag W2.1 (modellaag 4). De injectie- en onttrekkingsputten van DWAT bevinden zich in watervoerende laag W3.1 (modellaag 6).

Daarnaast zijn er onttrekkingen van CORUS, tuinders en andere bedrijven. Deze gegevens zijn overgenomen uit de databank van de provincie. Uitzondering is de CORUS onttrekking waarvan de gegevens direct afkomstig zijn van CORUS (PWN, 2001).

2.9.2 Bergen

De winningen van PWN zijn gedurende de afgelopen decennia regelmatig gemoderniseerd. Hierdoor is de putconfiguratie in de loop der jaren telkens veranderd. In Tabel 2.5 wordt hiervan een overzicht gegeven.

Tabel 2.5. Overzicht van de putconfiguraties in het Bergen model

Secundair:	A	Bnieuw	Boud	Cnieuw	Coud	Doud	F	HPnieuw	HPoud	HPoud	HPoud
Modellaag	6	5 of 6	5(#23) of 6	6	6	6	3	3	6	3	6
Aantal putten	26	38	30	8	24	20	11	6	10	11	10
m3/d											
1983-1988	723		737		470	420	517		430	1287	0
2000-2005	397	337		497			13	540			
2004-2006 (voor model)	110	120		467				43			
m3/jr											
1983-1988	260597		264975		168808	150958	186529		154269	462806	154269
2000-2005	142451	121227		179098			4660	194679			
2004-2006 (voor model)	39331	43577		168477				15477			

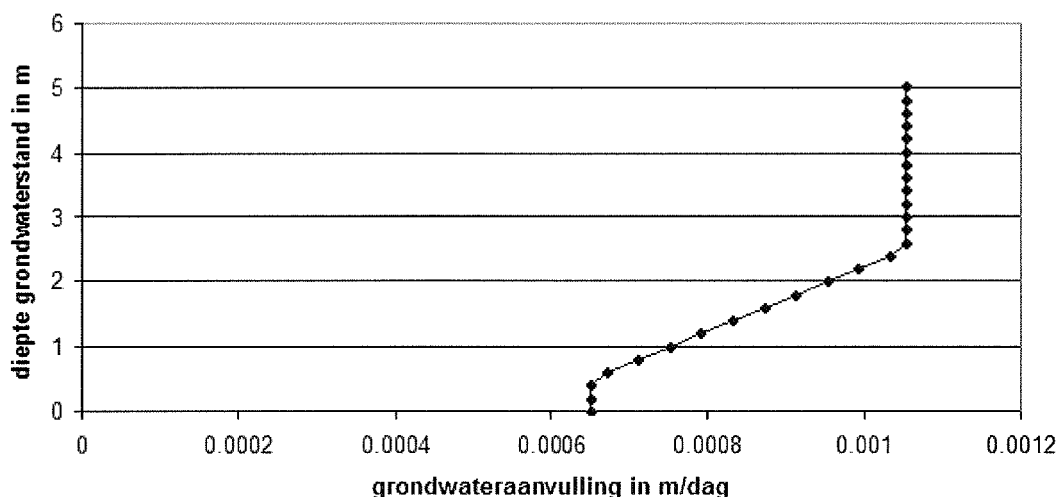
Er zijn verder geen relevante onttrekkingen in het duingebied. Door het bassin bij het pompstation op een continu peil van -0.25 m NAP te handhaven, wordt grondwater onttrokken en wordt voorkomen dat er wateroverlast bij de gebouwen van het pompstation ontstaat. Het onttrokken grondwater infiltreert in vijver 4.

2.10 Grondwateraanvulling NHDZ en Bergen

Grondwateraanvulling is neerslag minus verdamping (evapotranspiratie). Het model is gecalibreerd op basis van zogenaamde 'structurele niveaus' in de grondwaterstandsmeetpunten (zie voor een toelichting paragraaf 3.2.1). Het structurele niveau is de grondwaterstand die heerst bij normale grondwateraanvulling. Hiervoor is genomen de neerslag van de KNMI-normaal van de regenmeter op voormalig pompstation Castricum (0.00225 m/d). Voor de verdamping is de normaal van de referentieverdamping van de Kooy genomen (0.00161 m/d). De lokale verdamping is afhankelijk van het grondgebruik en het gewas ter plaatse. Per gewas is een gewasfactor gedefinieerd, die zo goed mogelijk is geschat op basis van literatuur. Deze waarden zijn voor diverse vegetaties aangepast op basis van ervaringen in het duingebied (o.a. metingen met 4 lysimeters van Castricum). Voor gewasverdamping in het poldergebied is uitgegaan van 'gras'.

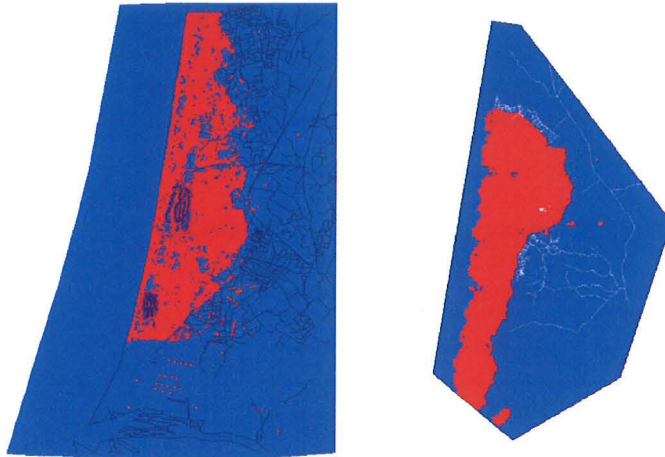
Tabel 2.6. Gewasfactoren uit literatuur en aangepast voor het duingebied

	Nummer	Gewasfactor (literatuur)	Gewasfactor (aangepast)
Cultuurland	1	1	1
Duindoornstruweel	2	1.3	0.8
Hoogstruweel	3	1.1	0.8
Kruidenvegetatie	4	0.95	0.8
Loofbos	5	1.1	0.85
Mosvegetatie	6	0.95	0.6
Naaldbos	7	1.5	1.1
Pioniervegetatie	8	0.45	0.35
Parkeerterrein	9	1	1
Laagstruweel	10	0.95	0.8
Water	11	1.25	1.25
Bebouwde kom	12	1	1
Rest	13	1	1



Figuur 2.9 Relatie grondwater aanvulling – diepte grondwaterstand voor gras

In het model zijn afzonderlijke gewasfactoren opgenomen voor plaatsen met een ondiepe en een diepe grondwaterstand. De aanname is dat wanneer de grondwaterstand dieper is dan 2 m onder maaiveld de gewassen geen water meer verbruiken via capillaire opstijging. Ervaringen op de Utrechtse heuvelrug lijken dit te bevestigen (Royal Haskoning, 2004). De diepte van de grondwaterstand is gebaseerd op het structurele niveau (zie ook calibratie) dat gebaseerd is op tijdreeksanalyse voor individuele peilbuizen die vervolgens zijn gekarteerd naar de gebiedsdekkende grondwaterstandsdieptekaart (Rolf & Lebbink, 1998).



Figuur 2.10. Gebieden met een grondwaterstand dieper dan 2m onder maaiveld (rood) en hoger dan 2m onder maaiveld (blauw)

Voor de gebieden met een diepe grondwaterstand wordt een 'afgeknotte' neerslagoverschotreeks gebruikt. Het 'afgeknot' neerslagoverschot (normaal KNMI) voor Castricum is 0.00104 m/d (geen negatief neerslagoverschot in de zomermaanden, maar een neerslagoverschot van 0). Dit is gelijk aan de neerslag – (0.75 * gewasfactor * verdamping) = 0.00225 – (0.75*1*0.00161) = 0.00104 m/d. Het afgeknotte neerslagoverschot is $\frac{3}{4}$ van het normale neerslagoverschot.

2.11 Relatie grondwater-oppervlaktewater

De relatie tussen het oppervlaktewatersysteem en het grondwatersysteem wordt in het model gedefinieerd door:

- 1) Individuele waterlopen
- 2) Gedraineerde percelen (met drainagebuizen of greppels) met een bekend drainageniveau en
- 3) Een gebiedsdekkende ontwatering, representatief voor het betreffende waterlopen/drainagestelsel bestaande uit een peil en een ontwateringsniveau.

Paragraaf 2.11.3 beschrijft de individuele waterlopen die als lijnelement in het model zijn opgenomen. De gebiedsdekkende ontwatering en gedraineerde percelen, binnen Triwaco geschematiseerd in het zogenaamde topsysteem, worden beschreven in de daarop volgende paragrafen. In de laatste paragraaf wordt nog specifiek ingegaan op de schematisatie van de infiltratiepanden.

2.11.1 Polderpeil NHDZ en Bergen

Voor de gebieden waar een peil wordt gehandhaafd (grijze gebieden Figuur 2.11) is gebruik gemaakt van de in de calibratieperiode geldende polderpeilenkaart van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. Het polderpeil is gebruikt voor zowel het expliciet als impliciet geschematiseerde oppervlaktewater. Indien sprake is van een zomer- en winterpeil is een gemiddelde waarde aangenomen.

De aangeleverde polderpeilenkaart is de basis voor het definiëren van de oppervlaktewater gerelateerde parameters (topstelsysteem). In vrij afwaterende gebieden langs het duin staan echter stuwen die het peil plaatselijk verder opstuwen. Op basis van locaties van stuwen met bijbehorende stuwpeilen zijn extra peilgebieden aangemaakt, vooral vlak langs de duinrand. Voor de berekeningen is hierbij het uitgangspunt dat deze sloten altijd watervoerend zijn. De polderpeilenkaart is op enkele plaatsen aangevuld op basis van veldkennis.

2.11.2 Maaiveld NHDZ en Bergen

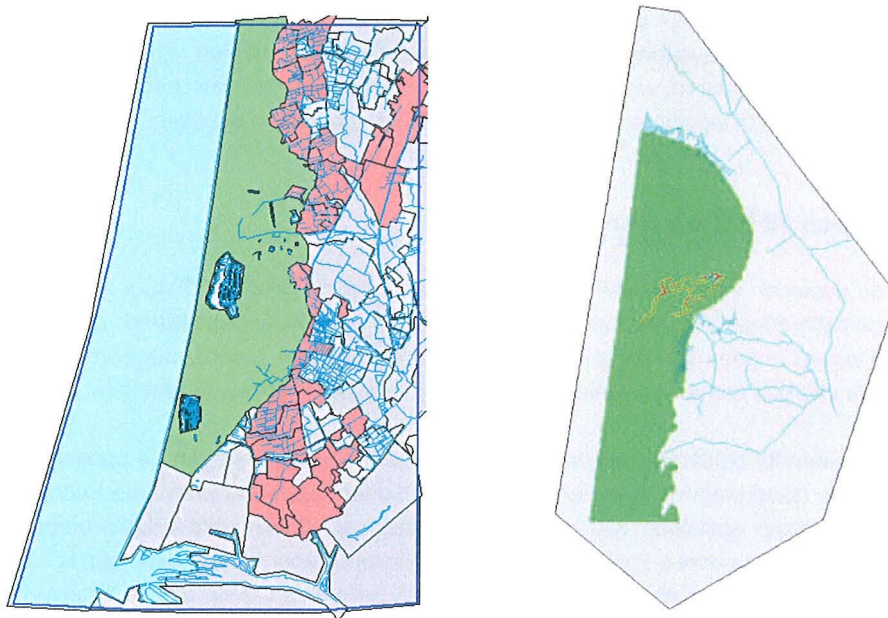
Voor het duingebied is gebruik gemaakt van een digitaal terreinmodel (DTM) met een horizontale resolutie van 2 m. Dit DTM is dekken voor het gehele duingebied, maar niet voor het buitengebied. Daarom is voor de maaiveldhoogtes buiten dit DTM gebruik gemaakt van het ANH met een resolutie van 5 m.

2.11.3 Oppervlaktewater (expliciet)

In Triwaco worden drie typen 'rivieren' onderscheiden:

- 1) permanent watervoerende waterlopen met een vast, op te geven peil,
- 2) zogenaamde hobo's: lijnbronnen met een vast debiet (en een berekend peil) en
- 3) waterlopen die vrij afwaterend zijn en droog kunnen vallen.

Figuur 2.11 geeft aan welke gebieden vrij afwaterend zijn en waar een vast peil wordt gehandhaafd.



Figuur 2.11 Links NHDZ en rechts Bergen: vrij afwaterende gebieden zonder drainage (groen), met drainage (rood) en gebieden met een vast polderpeil (grijs). De blauwe lijnen zijn individuele waterlopen.

NHDZ

In 2001 is een complete inventarisatie uitgevoerd naar de ligging van waterlopen in het duin en het aangrenzende poldergebied. De informatie over ligging van de waterlopen en bodemhoogte is ontleend aan 1) andere grondwatermodellen (Heemskerkerduin-, Vennewater- en CALU-model), 2) kaarten van PWN Natuur & Recreatie en 3) veldinventarisaties.

Het peil in de waterlopen is gebaseerd op de polderpeilenkaart van het waterschap (gemiddeld polderpeil). De drainage- en infiltratieweerstand voor de waterlopen in het poldergebied is respectievelijk 2 dagen en 10 dagen met een waterbreedte van 1 m. De bodem van de individuele waterlopen is bepaald op basis van polderpeil en maaiveld ter plaatse.

Bergen

In het model Bergen zijn de duinrellen en de belangrijkste waterlopen in het poldergebied expliciet opgenomen. De drainage- en infiltratieweerstand voor deze waterlopen in het poldergebied is respectievelijk 3 dagen en 6 dagen met een waterbreedte van 1-5 m.

Voor de duinrellen geldt dat zij vrij afwaterend zijn. Stuwen of anders ingestelde peilen bepalen hier in hoeverre de duinrellen draineren. Waar bekend, zijn ze in het model opgenomen als individuele waterlopen met een slootbodemhoogte, stuwhoogte en drainageweerstand (1 dag).

2.11.4 Oppervlaktewater (impliciet)

Algemeen

Percelen, zee en duingebied

De gedraineerde percelen (met drainagebuizen of greppels) en gebiedsdekkende ontwatering wordt binnen Triwaco impliciet geschematiseerd middels het zogenaamde topsysteem.

De informatie over gedraineerde percelen is afkomstig van gemeenten, interpretatie en analyse van luchtfoto's en veldkennis. De gedraineerde gebieden zijn weergegeven in Figuur 2.12. Gebiedsdekkende ontwatering is alleen gedefinieerd in de gebieden waar niet alle afwaterende middelen (rivieren, drainage) bekend zijn. Dit zijn over het algemeen gebieden die buiten een zone van 1 km van de grens van het duingebied vallen. De specifieke parameters voor de gedraineerde percelen en gebiedsdekkende ontwatering worden binnen het topsysteem afzonderlijk toegekend. Te weten: gehandhaafd peil (polderpeil), ontwateringsniveau, infiltratie- en drainageweerstand.

In de gebieden waar ontwateringsmiddelen (rivieren en drainage) afwezig zijn, is definitie van de gebiedsdekkende ontwatering niet nodig. Verder geldt in het algemeen dat het ontwateringsniveau van drainage is gedefinieerd als de draindiepte ten opzichte van maaiveld.

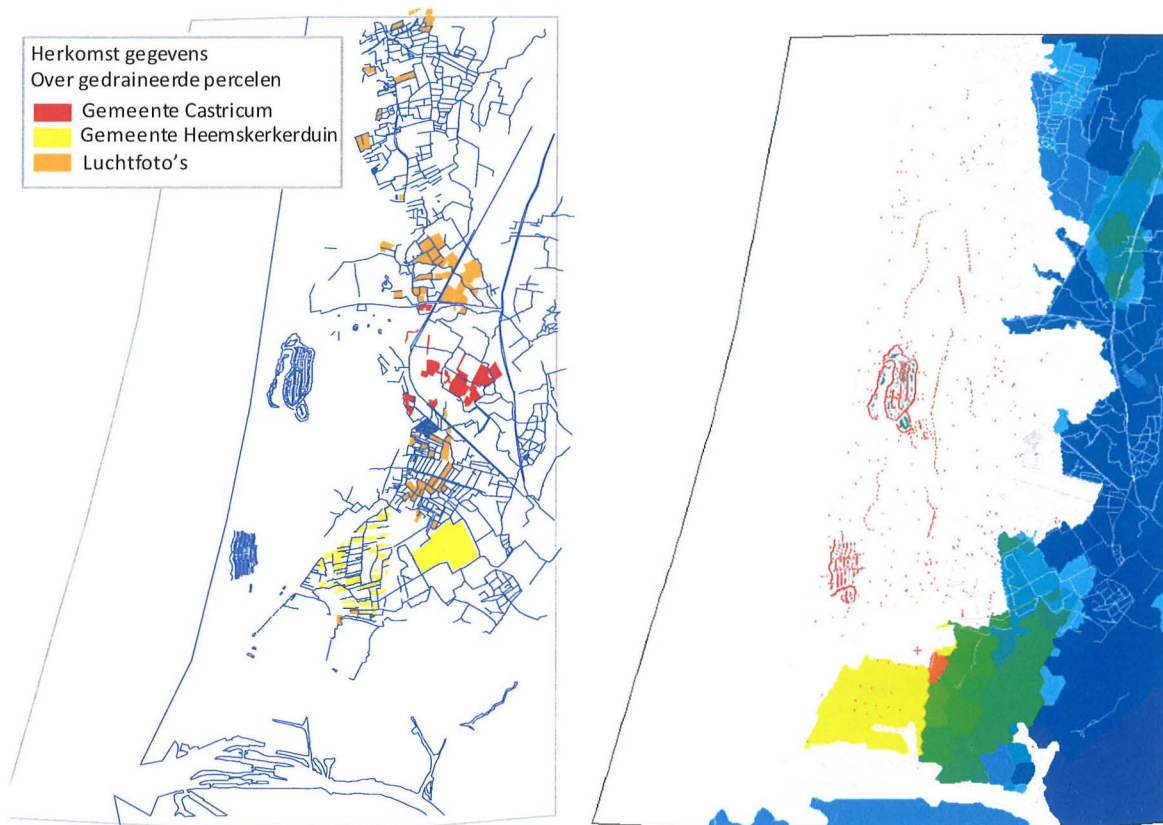
Afhankelijk van de situatie, is een weerstand toegekend. In de polders is deze afhankelijk van bodemopbouw en drainafstand. De verschillende weerstanden zijn weergegeven in Tabel 2.7 en Tabel 2.8.

Schematisatie infiltratiepanden

De infiltratieweerstanden zijn geschematiseerd binnen het topsysteem op dezelfde manier als de gebiedsdekkende ontwatering. Het toegekende pandpeil en de weerstanden zijn weergegeven in Tabel 2.7 en Tabel 2.8.

NHDZ

Volgens de hiervoor beschreven aanpak zijn de percelen, zee, duingebied en infiltratiepanden geschematiseerd. Figuur 2.12 geeft een overzicht van de gebieden waarvoor een gebiedsdekkende ontwatering is gedefinieerd. Verder geeft Tabel 2.7 het overzicht van de toegekende parameterwaarden.



Figuur 2.12 Links gedraineerde percelen binnen het modelgebied. Rechts de gebieden waarvoor gebiedsdekkende ontwatering is gedefinieerd

Tabel 2.7. Overzicht van de parameters voor de gedraineerde percelen in het NHDZ model (een drainageniveau van 110 betekend dat de gebiedsdekkende ontwatering in dat gebied is uitgeschakeld)

Type gebied	Oppervlaktewater		Topsysteem	Drainageniveau	Gebiedsdekkende ontwatering		Drainerende percelen	
	Expliciet	Impliciet			Drain. weerstand	Infiltr. weerstand	Drain. weerstand	Infiltr. weerstand
Vast peil (polder - flexibel tussen)	x		Uitgeschakeld	110	-	-	-	-
		x	Actief	Polderpeil - 0.1m	50-200	100 - 400	20	100
Duin en vrij afwaterend	x		Uitgeschakeld	110	-	-	-	-
		x	Actief	MV - 0.1m	100 - 200	200 - 400	-	-
Noordzee		x	Actief	MV - 10m	215	0.1	-	-
Corusterrein		x	Actief	Polderpeil	50	100	-	-
Infiltratiepanden		x	Actief	Polderpeil - 0.5m	0.1	0.1	-	-

* Corusterrein betreft regenwaterafvoer aan maaiveld

Bergen

Volgens de hiervoor beschreven aanpak zijn de percelen, zee, duingebied en infiltratiepanden geschematiseerd. Figuur 2.12 geeft een overzicht van de gebieden waarvoor een gebiedsdekkende ontwatering is gedefinieerd. Verder bevat Tabel 2.8 de toegekende parameterwaarden.

Tabel 2.8. Overzicht van de parameters voor de gedraineerde percelen in het Bergen model (een drainageniveau van 110 betekend dat de gebiedsdekkende ontwatering in dat gebied is uitgeschakeld)

Type gebied	Oppervlaktewater		Topsysteem	Drainageniveau	Gebiedsdekkende ontwatering	
	Expliciet	Impliciet			Drain. weerstand	Infiltr. weerstand
Vast peil	x		Actief	110	-	-
		x	Actief	Polderpeil - 0.1m	200	400
Duin en vrij afwaterend	x		Uitgeschakeld	Slootbodern	1	1.00E+05
		x	Uitgeschakeld	110	-	-
Noordzee		x	Actief	Zeeniveau - 0.1m	5	1
Infiltratiepanden		x	Actief	Polderpeil - 2m	1 - 10	1 - 15

3 GEVOELIGHEIDSANALYSE, CALIBRATIE EN VALIDATIE

3.1 Inleiding

Na het opzetten van het grondwaterstromingsmodel dienen de modelresultaten te worden vergeleken met meetgegevens. Om een goede overeenkomst tussen modelresultaat en meetwaarde te bewerkstelligen zijn ingevoerde parameters geoptimaliseerd. Het proces van optimalisatie van parameterwaarden waarbij modelresultaten worden vergeleken met meetgegevens, staat bekend als parameteroptimalisatie of ijking (calibreren) van het model (NHV, 1997).

Binnen Triwaco kan een bestand met meetgegevens worden opgegeven waarbij het programma een vergelijking met de modelresultaten maakt en de afwijkingen naar een uitvoerbestand wegschrijft. De afwijkingen van de berekende ten opzichte van de gemeten stijghoogten, eventueel per modellaag, kunnen ruimtelijk in beeld worden gebracht. Op basis van deze afwijkingen kunnen vervolgens parameterwaarden handmatig worden aangepast. Omdat dit een bewerkelijke en tijdrovende aangelegenheid is, is naast handmatige aanpassingen de module TrCC gebruikt om tot de 'optimale' parameterwaarden te komen. Deze module gaat voor de parameteroptimalisatie uit van de methode Marquart-Levenberg waarbij parameterwaarden na elke berekening automatisch worden aangepast op basis van een vergelijking van de modelresultaten met de opgegeven meetwaarden. Met TrCC kunnen naast automatische calibraties ook gevoeligheidsberekeningen en betrouwbaarheidsbepalingen worden uitgevoerd.

Bij de parameteroptimalisatie wordt een deel van het proces automatisch uitgevoerd. Voor een geselecteerd aantal parameters worden automatisch de optimale waarde bepaald gegeven de beschikbare meetgegevens. Vervolgens worden de resultaten door de hydroloog/modelleur beoordeeld. Dit kan resulteren in acceptatie van de automatisch gevonden waarden. Wanneer dit niet het geval is dan worden aanpassingen doorgevoerd van het modelconcept. Vervolgens kan een andere set parameters worden geoptimaliseerd, of een andere verdeling van de gekozen parameters over het gebied. Hiermee ontstaat een procedure voor het beoordelen van het model en de parameters.

Voor het NHDZ model is het calibratieproces uitgevoerd volgens een vaste procedure bestaande uit een aantal stappen. Deze procedure is meermaals doorlopen. Hierbij is telkens elke stap geëvalueerd. Zo is door bijstelling van parameter waarden de gevoeligheid veranderd. Ook zijn onder invloed van voortschrijdend inzicht wijzigingen aangebracht aan de meetgegevens en hun weegfactoren waardoor de objectfunctie (de te optimaliseren functie) er anders is komen uit te zien.

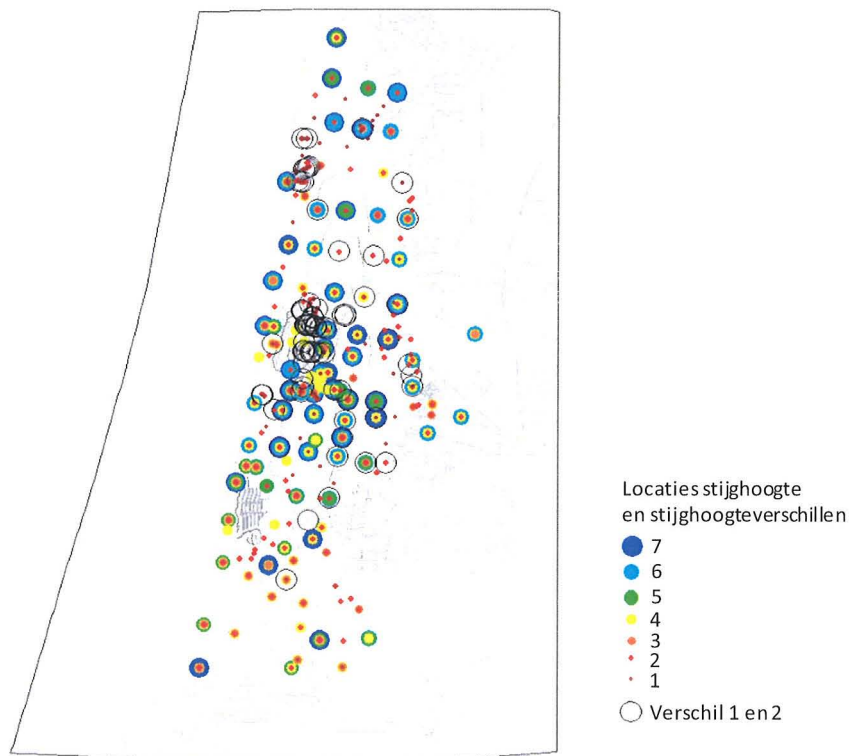
Voor het Bergen model is een kortere procedure gevolgd.

3.2 Gebruikte gegevens en uitgangspunten

3.2.1 NHDZ

Voor de parameteroptimalisatie is het KNMI-normaal gebruikt voor het neerslagoverschot. Voor de onttrekkingen is het gemiddelde debiet over de periode 1996-2000 genomen. De keuze is direct gebaseerd op de tijdreeksanalyse die gebruikt is voor elk meetpunt één eenduidige waarde voor de stijghoogte te bepalen, het zogenaamde 'structureel niveau' (zie kader op volgende pagina).

Voor de parameteroptimalisatie is gebruik gemaakt van drie soorten meetwaarden: stijghoogten, stijghoogteverschillen en debieten. De locaties zijn weergegeven in Figuur 3.1.



Figuur 3.1. Locaties van peilfilters in de verschillende modellagen. De kleur en dikte van de punt geeft de modellaag waarin een filter aanwezig is.

Stijghoogten

Met behulp van tijdreeksanalyse (Rolf & Lebbink, 1998) is voor elke meetreeks in een peilbuis een 'structureel' niveau berekend. Dit is het niveau dat optreedt bij normaal neerslagoverschot (Normaal KNMI) en gemiddelde winning (1996 - 2000). Voor een verdere uitleg zie het kader op de volgende pagina.

Structurele niveau's

Het 'structureel niveau' van een betreffende grondwaterstandsmetreeks (strucniv) karakteriseert het niveau van de grondwaterstand, los van de tijdelijke meteorologische variaties. Dit kenmerk leent zich uitstekend voor kartering van de toestand van het grondwater en vormt een eenduidige ijkset voor de calibratie van het grondwatermodel.

Het 'structureel niveau' is te definiëren als: de grondwaterstand bij een op te geven permanent niveau van grondwaterwinning, als er voortdurend een gemiddelde ('normale') hoeveelheid neerslagoverschot zou zijn. Populair gesproken: de grondwaterstand bij gemiddelde regenval en gemiddelde hoeveelheid winning in de huidige situatie.

Voor het 'normale neerslagoverschot' wordt de normaal van KNMI genomen, zijnde het gemiddelde van de maandnormalen. Deze normalen worden genomen van het betreffende neerslagstation en de referentieverdamping in De Kooy. Het verschil tussen beide levert de normaal voor het neerslagoverschot. Complicatie is dat de normaal van KNMI (bepaald uit het gemiddelde over 30 jaren) eens in de tien jaren wordt bijgesteld. Dit is overigens begin 2001 weer gebeurd. Opgemerkt moet worden dat de neerslag in de afgelopen 20 jaar en zeker de afgelopen tien jaar duidelijk hoger is geweest dan de geldende normaal. Vooralsnog is uitgegaan van de normalen zoals die thans gelden in de KNMI-overzichten.

Getalsmatig wordt strucniv berekend als volgt:

$$\text{Strucniv} = \text{Gno} * \text{NOnorm} + \text{Constante} + \text{Gont} * \text{ONTnorm}$$

Waarin:

Gno:	de berekende Gain (parameterwaarde) uit het neerslagoverschot-transfermodel
NOnorm:	de normaal van het neerslagoverschot
Gont:	de Gain van het onttrekkings-transfermodel (voorzover aan de orde)
ONTnorm:	de aan te houden (structurele) hoeveelheid onttrekking (gemiddelde over 1996 - 2000)

Stijghoogteverschillen

Voor peilbuis koppels met een filter in watervoerende lagen 1.1 en 1.2 (modellaag 1 en 2) zijn stijghoogteverschillen vastgesteld. Het gaat hier met name om verschillen in stijghoogte over de duinveenlaag S1.1. Deze verschillen worden bij de parameteroptimalisatie belangrijker geacht dan het streven naar het bekende absolute niveau. Daarom zijn deze verschillen (het stijghoogteverschil ten opzichte van watervoerende laag 1.2), opgenomen in de ijkset. Indien op de locatie waarvoor het stijghoogteverschil is bepaald ook een structureel niveau voor beide pakketten bekend is, is het structureel niveau van watervoerende laag 1.1 uit de ijkset weggelaten. De methode van gewichtstoekenning aan stijghoogteverschillen is uitgewerkt in bijlage 3.

Debieten in de ijkset

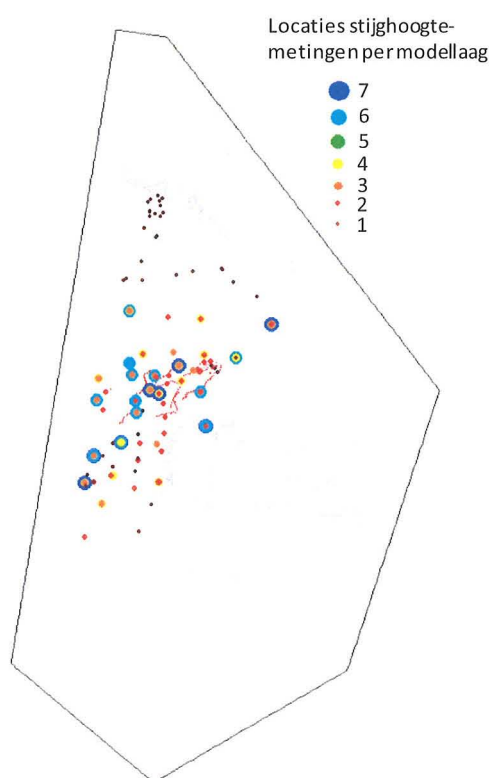
In de ijkset zijn twee debieten opgenomen: de hoeveelheid infiltratie in de locaties IKIEF en in ICAS (juli 1996-juni 2000). In de objectfunctie (de te optimaliseren functie) moet per categorie meetwaarden (stijghoogtes, stijghoogteverschillen, debieten) een weegfactor worden meegegeven. Deze factor bepaalt hoe zwaar de betreffende categorie meetwaarden wordt meegeteld in de optimalisatie.

De weegfactoren voor IKIEF en ICAS infiltratiehoeveelheden zijn bepaald door twee verschillende berekeningen uit te voeren voor deze infiltratiegebieden. Daarbij wordt de infiltratiehoeveelheid gevarieerd. Met alleen structurele niveaus in de meetwaardenset is voor de beide debieten de waarde van de objectfunctie bepaald. Besloten is om de verandering in de waarde van de objectfunctie door de debietwijziging even sterk terug te laten komen als de bijbehorende verandering van de objectfunctiewaarde door stijghoogteveranderingen.

3.2.2 Bergen

Voor de parameteroptimalisatie is het KNMI-normaal gebruikt voor het neerslagoverschot. Voor de onttrekkingen is het gemiddelde debiet over de periode 1983-1988 genomen. Deze periode is ook gebruikt in de tijdreeksanalyse voor de bepaling van het 'structurele niveau'. Er is voor deze periode gekozen omdat er in de jaren '80 nog veel duinwater werd gewonnen in Bergen. Vanaf de jaren '90 is de duinwaterwinning in Bergen sterk gereduceerd waardoor deze periode minder geschikt is om de invloed van de winning op de grondwaterstand te bepalen met tijdreeksanalyse

Er zijn geen andere categorieën meetwaarden beschikbaar om de parameters te optimaliseren.



Figuur 3.2 Locaties van peilfilters in de verschillende modellagen. De kleur en dikte van de punt geeft de modellaag waarin een filter aanwezig is

3.3 Keuze parameters en bijstelling modelconcept (NHDZ)

3.3.1 Keuze parameters voor optimalisatie

Parameters die in aanmerking komen voor parameteroptimalisatie zijn de volgende:

- Hydraulische weerstand van S1.1, S1.2, S1.3, S2.1, S2.2, S3.1, S3.2 (7)
- Doorlatendheid W1.1, W1.2, W1.3, W2.1, W2.2, W3.1, W3.2, W4 (8)
- Drainage weerstand (1)
- Grondwateraanvulling (1)

Dit zijn in totaal 17 parameters. Deze parameters kunnen echter ook onderverdeeld worden in meerdere subparameters. Zo bestaat de doorlatendheid van W1.2 uit drie vlakken met elk een eigen doorlatendheid. Elk van deze vlakken kan afzonderlijk worden geoptimaliseerd.

Wanneer van de genoemde parameters de gedefinieerde vlakken afzonderlijk worden geoptimaliseerd dan is sprake van totaal 113 subparameters:

- Hydraulische weerstand van S1.1 (22), S1.2 (14), S1.3 (21), S2.1 (7), S2.2 (10), S3.1 (5), S3.2 (6)
- Doorlatendheid W1.1(2), W1.2(4), W1.3(1), W2.1(1), W2.2(1), W3.1(1), W3.2(1), W4 (1)
- Drainage weerstand (3)
- Grondwateraanvulling (13)

Voor een verantwoorde automatische optimalisatie van al deze parameters is een enorm groot aantal meetwaarden nodig. Aangezien deze niet in voldoende mate beschikbaar zijn, is ervoor gekozen om per run slechts een gedeelte van de parameters te optimaliseren. Voor de selectie van de parameters wordt de eerder beschreven procedure gevolgd waardoor vooral de meest gevoelige parameters worden meegenomen in de optimalisatie.

3.3.2 Opmerkelijke bijstellingen in modelconcept of modelparameters

Tijdens het calibratie proces worden verschillende optimalisaties doorlopen. Na elke optimalisatie is het resultaat geëvalueerd. Op basis hiervan zijn wijzigingen doorgevoerd in het modelconcept. In onderstaande staan (als voorbeeld) enkele opmerkelijke bijstellingen vermeld.

Opdeling k-waarde W1.1 en W1.2

In eerste instantie werd voor het hele modelgebied één waarde aangehouden voor de k-waarde voor modellaag 1 (W1.1) en voor de k-waarde voor modellaag 2 (W1.2). Tijdens de calibratie van het model zijn de k-waarde van modellaag 1 als 2 veranderd. Na optimalisatie van de waarden bleken de afwijkingen in het zuiden, midden en noorden niet gelijk verdeeld te zijn over het modelgebied. Dit gegeven en informatie over de afzetting van de duinzanden waaruit deze lagen bestaan hebben geleid tot een opdeling van deze twee parameters in drie zones met gelijke k-waarde: noord, midden en zuid. Voor de zes verschillende k-waarden is een optimalisatie uitgevoerd met verbeterd calibratie resultaat.

Weerstand en opdeling eerste waterscheidende laag S1.1

Tijdens de ontwikkeling van het model is een kaart vervaardigd van de weerstand van S1.1. Deze kaart is opgenomen in bijlage 2. Deze kaart kent een aantal codes voor het voorkomen van klei en veen en de zekerheid daarin. Elk van de codes krijgt bij de calibratie een waarde voor de verticale hydraulische weerstand. Gedurende de optimalisatie van deze weerstanden is gebleken dat een verdere opdeling van de codes nodig is voor verbetering van de calibratie resultaten. Conclusie is dat de hydraulische

weerstand van deze laag over het hele modelgebied afhankelijk is van de samenstelling en dikte. De samenstelling en dikte zijn zeer inhomogeen in het modelgebied en maar beperkt bekend. Om een zo goed mogelijk resultaat te krijgen is daarom een pragmatische zonering toegepast, gebaseerd op veldkennis en hydraulische logica.

Tabel 3.1. Voorbeeld voor codes bij weerstand S1.1

1 veen
2 mogelijk veen
3 klei
4 mogelijk klei
5 special: kleibodem ICAS
6 special: gefreesd veen (ICAS panden)
7 special: superklei
8 special: dikke veen
20 special: gefreesd veen (ICAS panden)
21 Geversduin e.o.
22 Veen bij ICAS
20 special: gefreesd veen (ICAS panden)

Randvoorwaarden landinwaarts en zoet/zout grensvlak

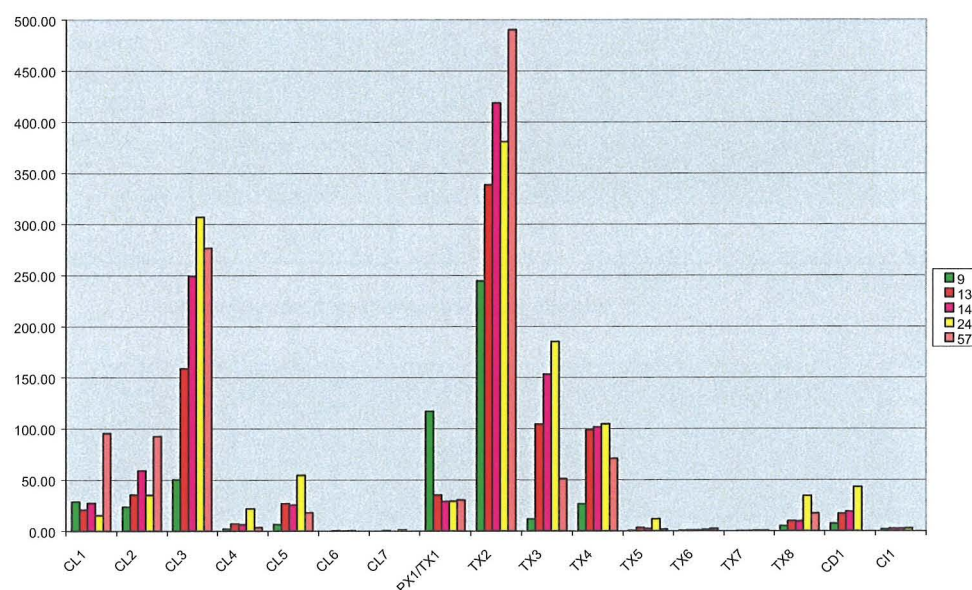
De diepe stijghoogte (modellaag 6, 7 en 8) zijn tijdens de eerste optimalisaties over het algemeen te laag berekend. Gevoeligheidsanalyses tonen aan dat de randvoorwaarden van modellaag 6, 7 en 8 van invloed zijn. De diepe stijghoogten blijken wel degelijk (ondanks de grootte van het model) afhankelijk van de gekozen randvoorwaarden. De randvoorwaarden zijn vervolgens vastgesteld met informatie uit rapporten over de diepe stijghoogte (ICW West Nederland, 1982). Bij de keuze van de randvoorwaarden in deze lagen speelt is de zoutconcentratie van het grondwater van invloed. Voor de concentratie van het grondwater onder zee is uiteindelijk een concentratie aangehouden van 25000 mg/l. Voor de concentratie van het zoute grondwater onder de polders is 10.000 mg/l aangehouden. Daartussen is lineair geïnterpoleerd. Na aanpassing van de randvoorwaarden en de zoutconcentraties werd een duidelijk beter calibratieresultaat verkregen voor de diepste modellagen.

3.4 Gevoeligheidsanalyse NHDZ

3.4.1 Algemeen

De gevoeligheid van het calibratieresultaat voor de verschillende modelparameters verandert wanneer de parameterwaarden worden gewijzigd (zie figuur 3.3). Aan het begin van het calibratie proces was het doorlaatvermogen van de tweede modellaag TX2 (W1.2) het meest gevoelig, gevolgd door PX1 (k-waarde W1.1). TX3 (kD-waarde W1.3) en TX4 (kD-waarde W2.1) zijn dan relatief minder gevoelig. Van de verticale hydraulische weerstanden waren CL1, CL2 en CL3 het meest gevoelig en CL4, CL5 en CL6 relatief ongevoelig.

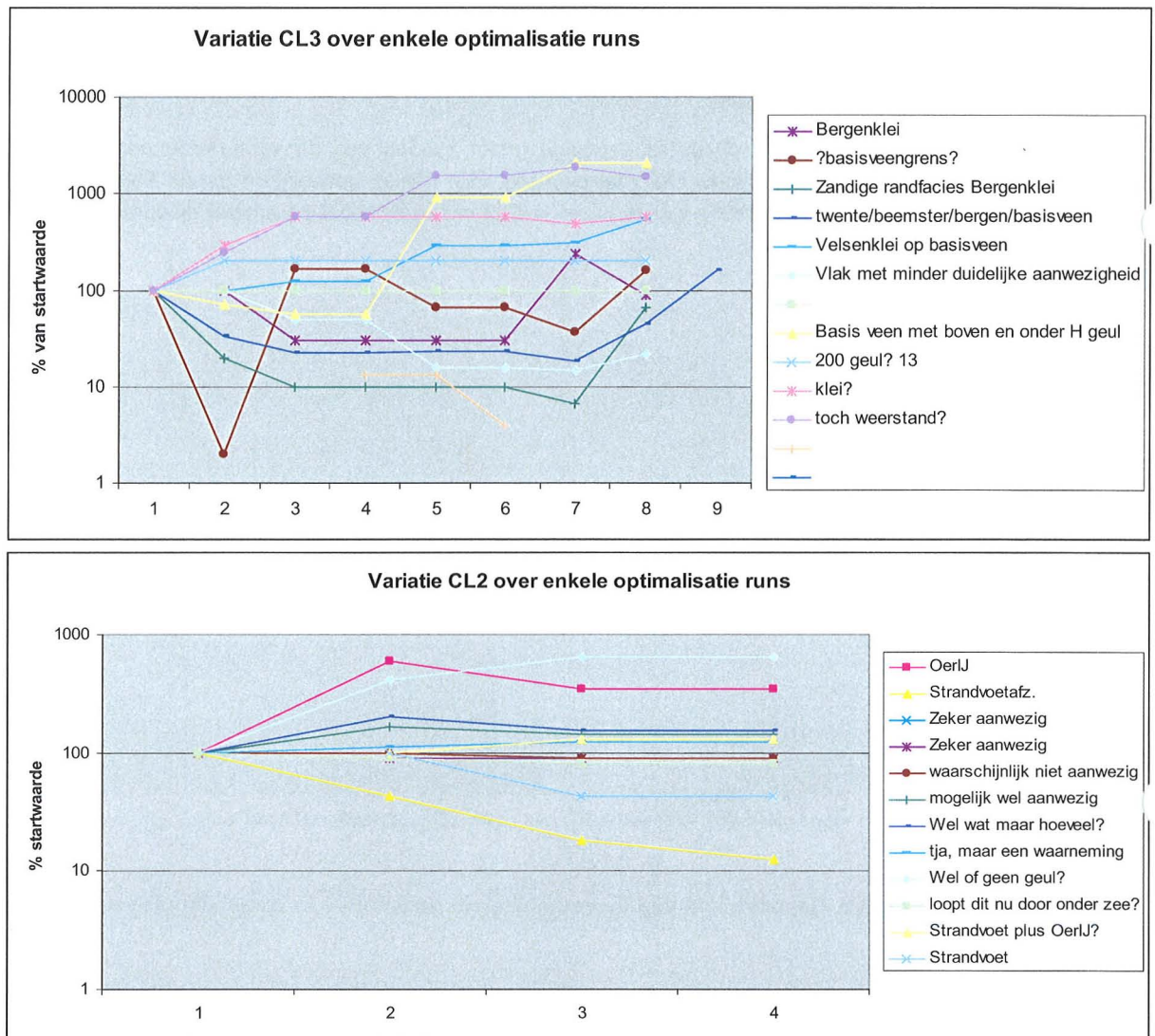
Na optimalisatie is dit beeld gewijzigd onder invloed van de veranderde parameterwaarden: van de doorlaatvermogens is nu TX2 zeer gevoelig, PX1 minder gevoelig en zijn nu TX3 en TX4 gevoeliger. Van de verticale hydraulische weerstanden is CL3 veel gevoeliger parameter geworden. Ook CL1 en CL2 zijn meer gevoelig.



Figuur 3.3. Gevoeligheid van de verschillende parameters in verschillende modelruns

3.4.2 Bijstelling subparameterwaarden

De hydraulische weerstanden van de slechtdoorlatende laag S1.2 (CL2) en S1.3 (CL3) zijn in zones opgedeeld waarvan per zone de weerstand (subparameterwaarde) geoptimaliseerd is. Louter ter illustratie is de verandering van de weerstand voor verschillende vlakwaarden in Figuur 3.4 weergegeven als percentage van de startwaarde. De horizontale as toont de verschillende modelruns.



Figuur 3.4. Variatie van CL3 en CL2 over enkele optimalisatie runs

3.4.3 Gevoeligheidsanalyse grondwateraanvulling

De parameters zijn gecalibreerd met een vaste waarde voor de grondwateraanvulling die hoort bij het 'structurele niveau'. De grondwateraanvulling heeft echter ook een onzekerheid die van invloed kan zijn op de calibratie van de parameterwaarden. Er is een analyse uitgevoerd om een indruk te krijgen van de

gevoeligheid van de parameterwaarden voor verandering in grondwateraanvulling. Met name de gewasfactor is van invloed op de berekende grondwateraanvulling en het minst goed bekend.

In het model is gevarieerd met de grondwateraanvulling door

- 1) gewasfactor + 10 %, dus grondwateraanvulling neemt af
- 2) gewasfactor – 10 %, grondwateraanvulling neemt toe

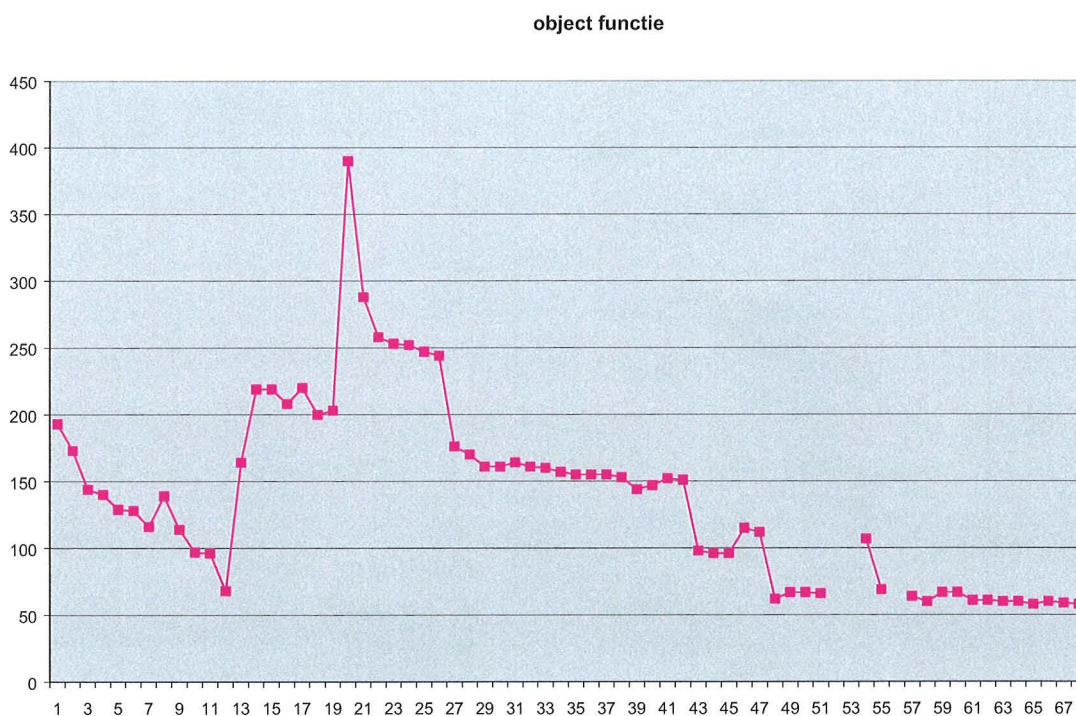
Voor beide situaties zijn de parameters PX1, TX2, TX4, CL1, CL2, en CL3 nader geoptimaliseerd.

Geconcludeerd kan worden dat:

- De parameters over het algemeen maar weinig veranderen bij verandering van gewasfactor met 10%.
- Parameter TX4 het meest gevoelig blijkt voor een andere gewasfactor. De overige parameters variëren tot een factor 1.1 onder invloed van een variatie van 10%.

3.5 Optimalisatie NHDZ

Gedurende het optimalisatieproces is de waarde van de objectfunctie veranderd. Onderstaande grafiek toont de verandering voor de circa 65 runs die zijn uitgevoerd. Opmerkelijk is dat een aantal keer de objectfunctie sterk in waarde toeneemt. Dit gebeurt door de wijzigingen die zijn uitgevoerd aan de set meetwaarden en weegfactoren. Telkens na de aanpassingen aan de meetset tendeeft de waarde van de objectfunctie in een aantal optimalisatie stappen naar een asymptoot. Een enkele keer treedt ook nog een plotseling grote verbetering op als gevolg van aanpassingen in het modelconcept.



Figuur 3.5. Verandering van de objectfunctie in de loop van 68 runs

3.6 Resultaat parameters en resterende afwijkingen in het model

3.6.1 NHDZ

De belangrijkste resultaten van de calibratie zijn in dit rapport verwerkt:

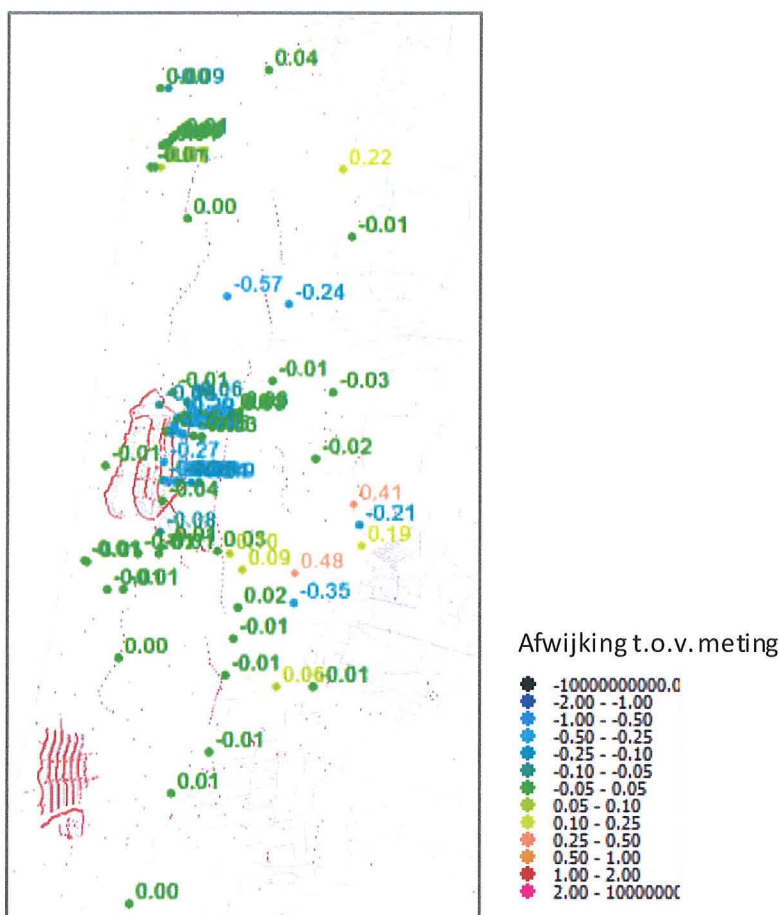
- De ijkresultaten van de c-waarden per scheidende laag zijn terug te vinden in bijlage 2
- De k-waarden (doorlatendheid) van de watervoerende pakketten is gegeven in paragraaf 2.5.1.

Kaarten van scheidende laag 1 en watervoerende pakketten 2, 4 en 6 zijn gemaakt met hierin isohypsen en nog voorkomende afwijkingen van gemeten stijghoogten. Met dit resultaat is nu de optimalisatie afgesloten. De resultaten per laag worden hieronder kort toegelicht.

Stijghoogteverschillen

Scheidende laag 1, S1.1

Voor de optimalisatie van de bovenste scheidende laag (overwegend duinveen) is gekeken naar het verschil tussen de stijghoogten boven en onder deze scheidende laag. Het algemene beeld is dat op veel punten de berekende en gemeten stijghoogteverschil goed overeenkomt. Bij inzoomen op verschillende deelgebieden zijn er plaatsen in het model waar het model grotere afwijkingen toont. Het is niet mogelijk dit soort lokale afwijkingen te corrigeren zonder afbreuk te doen aan het modelconcept.

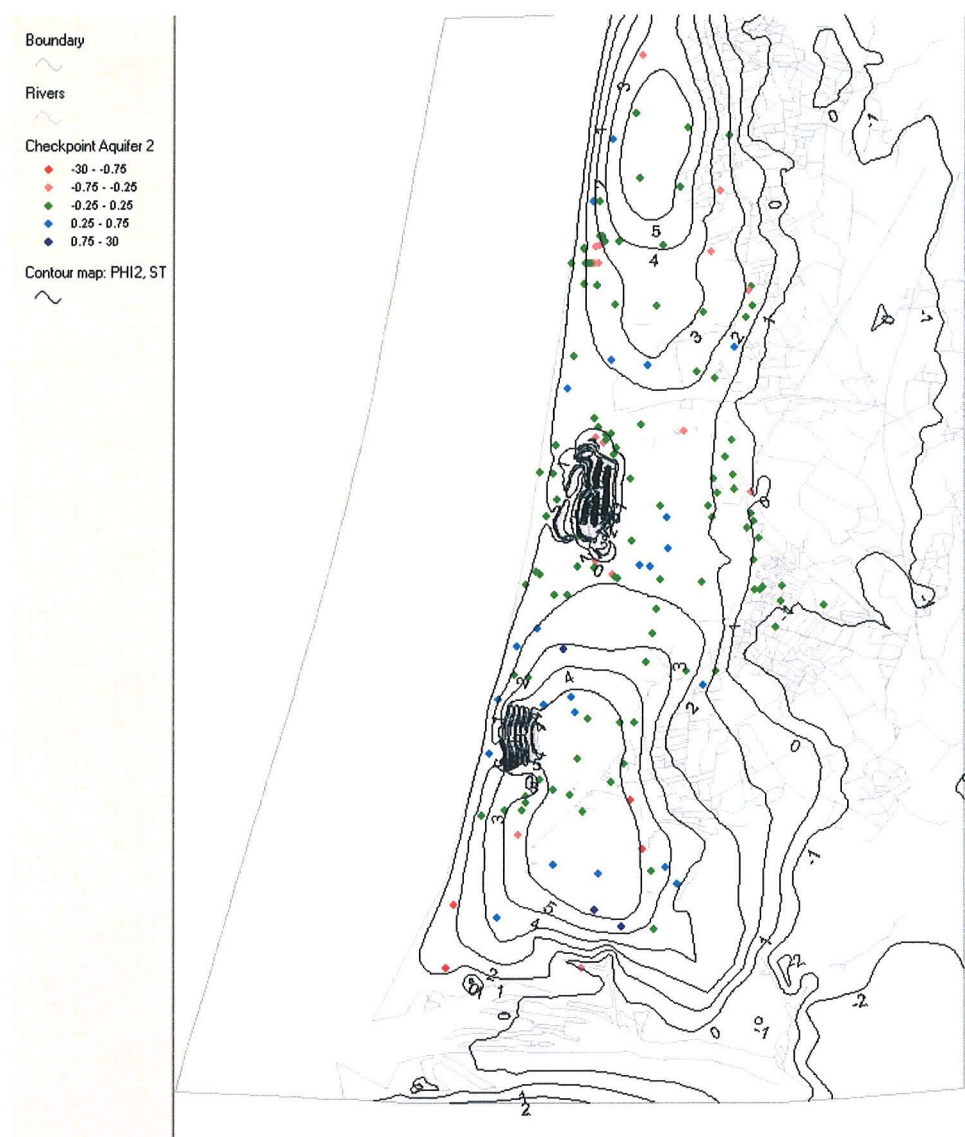


Figuur 3.6. Afwijking van berekend ten opzichte van gemeten stijghoogteverschil over de bovenste scheidende laag

Stijghoogten

Watervoerende laag 2, W1.2

Bijna overal is de afwijking minder dan 10 cm. Bij het inzoomen op verschillende deelgebieden zijn er lokaal in het model nog plaatsen waar het model afwijkingen vertoont groter dan 10 cm.

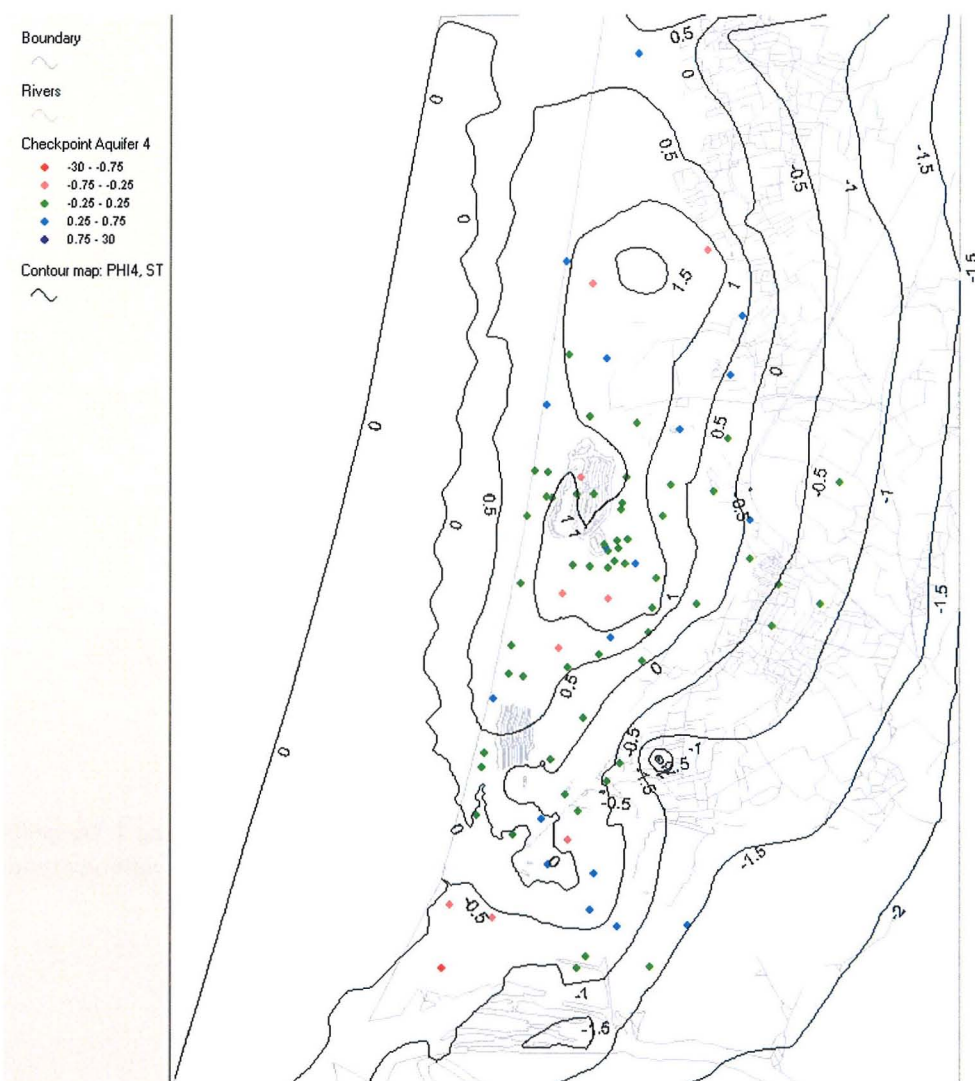


Figuur 3.7. Contouren van de berekende stijghoogte in watervoerende laag 2. De gekleurde punten tonen de afwijkingen (in m) tussen gemeten en berekende stijghoogte in watervoerende laag 2

Watervoerende laag 4, W2.1

Het algemene beeld toont rond ICAS veel punten met geringe afwijking en ten zuiden van IKIEF punten met zowel te hoog en te laag berekende stijghoogten. Inzoomen op verschillende deelgebieden toont nog plaatsen in het model waar meerdere punten bijeen een grotere afwijking kennen.

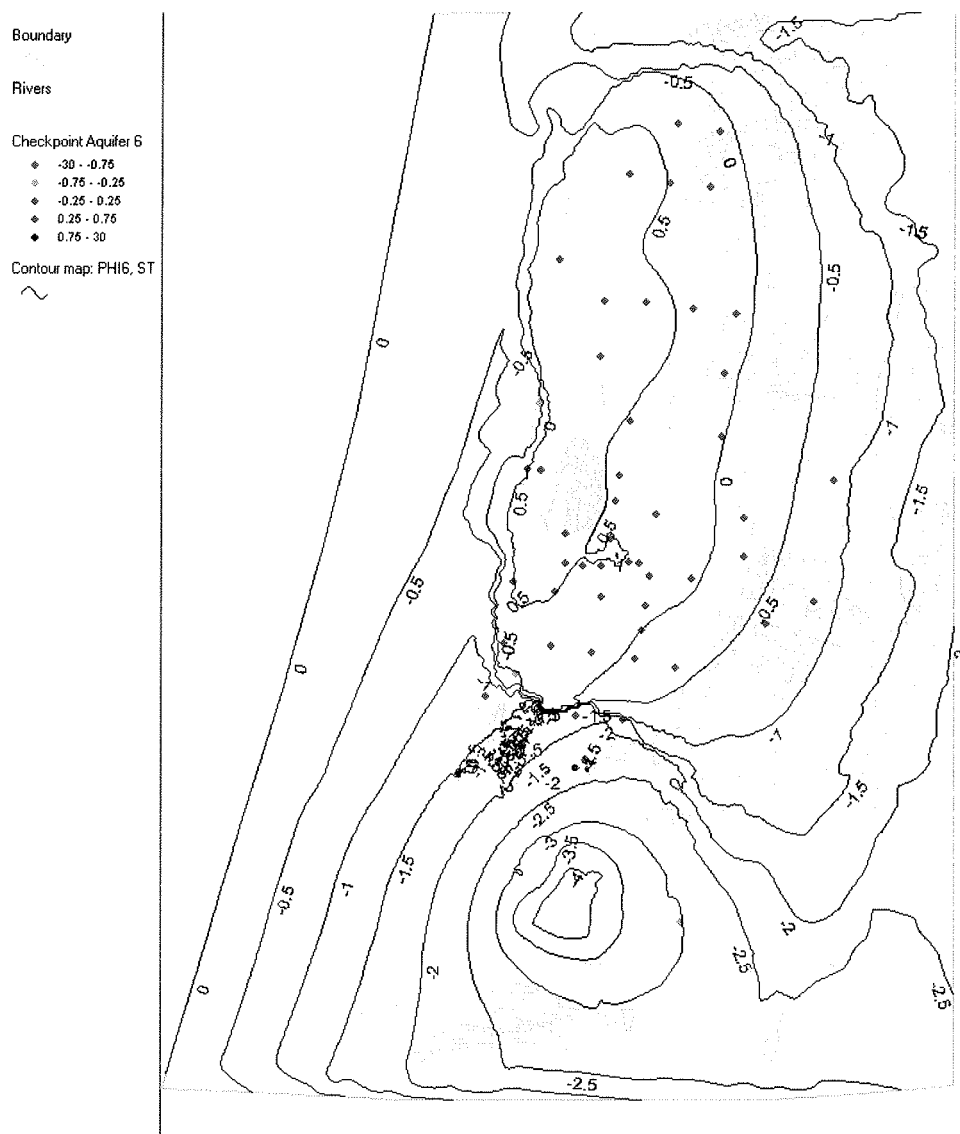
- Binnen het infiltratiegebied ICAS zijn enkele punten met een te lage stijghoogte berekend. Hiervoor zijn verschillende opties geprobeerd, echter zonder een bevredigend resultaat. De wijze waarop de winningen in W1.2 effect hebben op W2.1 heeft hier mogelijk mee te maken. Ook de onttrekking van R en S kan een rol spelen.
- Tussen ICAS en IKIEF liggen enkele punten met te lage stijghoogte. Deze zijn mogelijk te relateren aan de hoge stijghoogte zoals opgemerkt voor W1.2. Bij een weerstandwijziging gaat de een omlaag en de andere omhoog.
- Nabij Wijk aan Zee bevinden zich enkele punten met een te laag berekende stijghoogte. Deze punten liggen in een overgang van zoet naar zout grondwater. Dit speelt ook nabij het Corus terrein.



Figuur 3.8. Contouren van de berekende stijghoogte in watervoerende laag 4. De gekleurde punten tonen de afwijkingen (in m) tussen gemeten en berekende stijghoogte in watervoerende laag 4

Watervoerende laag 6, W3.1

Punten in het deel met zoet grondwater komen redelijk goed overeen. Punten die in het zoute deel voorkomen hebben over het algemeen een te laag berekende stijghoogte.



Figuur 3.9. Contouren van de berekende stijghoogte in watervoerende laag 6. De gekleurde punten tonen de afwijkingen (in m) tussen gemeten en berekende stijghoogte in watervoerende laag 6

Debiëten (IKIEF, ICAS en HP Mensink)

In onderstaande tabel staan voor de locaties IKIEF, ICAS en HP Mensink de geïnfiltreerde hoeveelheden vermeld. Het betreft de waarden die zijn gemeten in de periode 1996 – 2000 en berekend met het geijkte model. De onttrokken hoeveelheden zijn als vaste voorwaarde in het model gebracht en komen daarmee altijd overeen met de berekende waarde, en zijn daarom niet vermeld. De gemeten ten opzichte van berekende infiltratiehoeveelheden komen zeer goed met elkaar overeen.

Voor HP Mensink wordt opgemerkt dat hier geen sprake is van infiltratie maar drainage. Er wordt water aangevoerd naar het bassin en tevens water onttrokken aan het bassin naar de IKIEF panden. Er wordt meer water aan het bassin onttrokken. Het verschil is aanvulling van het bassin vanuit het grondwater (drainage).

Tabel 3.2. Geïnfiltreerde hoeveelheden (berekend en gemeten) voor de locaties IKIEF, ICAS en HP Mensink

Berekend met het model				Gemeten	Verskil	
ICAS	type	m3/d		m3/d	m3/d	%
IN panden	infiltratie	62181		62871	-690	1.1
IKIEF						
IN panden	infiltratie	44143		42879	1264	2.9
HP Mensink						
UIT bassin	drainage	-486		-652	166	34.2

3.6.2 Bergen

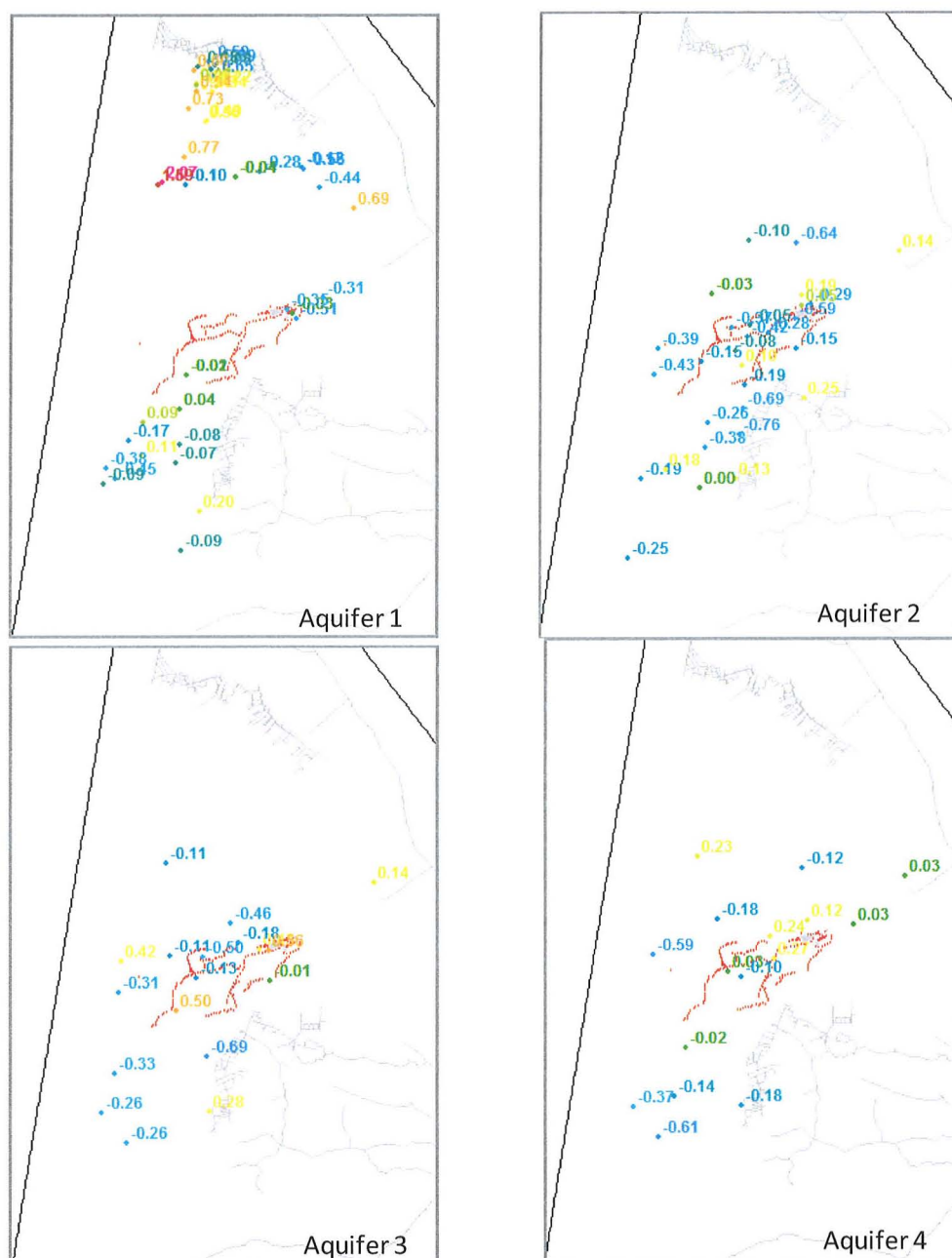
De belangrijkste resultaten van de calibratie zijn reeds in dit rapport verwerkt:

- De toegekende c-waarden per scheidende laag zijn terug te vinden in bijlage 2
- De k-waarden van de watervoerende pakketten zijn gegeven in paragraaf 2.5.2.

Kaarten van watervoerende pakketten 1 t/m 4 zijn gemaakt met hierin de nog voorkomende afwijkingen van gemeten stijghoogten (Figuur 3.10). De overeenkomst tussen de berekende en gemeten stijghoogten is minder goed dan bij het model NHDZ. Gemiddeld is de overeenkomst echter goed genoeg, met name in de buurt van de duinwaterwinningen (de rode lijnen). Het model wordt in deze studie gebruikt om de veranderingen van de grondwaterstanden in de buurt van deze winningen, in superpositie te berekenen.

De soms grote verschillen tussen gemeten en berekende stijghoogten in laag 6 worden veroorzaakt door de onzekere zoutverdeling op deze diepte. Vanwege dichtheidsverschillen kunnen in de grof geschematiseerde diepste laag grote verschillen in stijghoogte ontstaan. Het alternatief is om fijner te discretiseren, maar dit creëert schijnnaauwkeurigheid aangezien de dichtheidsverdeling niet goed bekend is. De stijghoogte verschillen werken niet door naar de minder diepe pakketten.

Ook omdat de validatie (zie paragraaf 3.7.2) een goed resultaat laat zien is het calibratieresultaat goed genoeg voor het beoogde doel. Met dit resultaat is de optimalisatie afgesloten.



Figuur 3.10. De verschillen tussen de berekende en gemeten stijghoogte per modellaag, modelgebied Bergen

3.7 Validatie

3.7.1 NHDZ

Debieten 2004-2006

Om het model te valideren zijn berekeningen uitgevoerd voor de situatie die geldt voor de periode 2004-2006. Dit is de referentiesituatie in dit m.e.r. onderzoek. Voor deze periode zijn de onttrekkingscijfers van de winningen IKIEF, ICAS en DWAT in het model ingevoerd. Vervolgens is een validatie uitgevoerd door de berekende infiltratiedebieten van de verschillende infiltratiepanden te vergelijken met de gemeten hoeveelheden.

Na de eerste modelrun bleek dat de berekende infiltratie te groot was, vermoedelijk omdat de bodemweerstand van de infiltratiepanden te laag was. Dit is goed te verklaren omdat de panden in de jaren '90 zijn schoongemaakt, en dus een lage bodemweerstand hadden ten tijde van de vorige calibratie. In de periode daarna heeft zich opnieuw een weerstand opgebouwd door aanwas van slib als gevolg van de infiltratie. De weerstanden zijn daarom verhoogd van 0,1 dag naar 2 dagen voor zowel ICAS als IKIEF. Na aanpassing van de bodemweerstand komen de berekende infiltratiedebieten zeer goed overeen met de gemeten infiltratiedebieten.

Tijdens de validatie bleken er ook afwijkingen te zijn tussen de berekende en gemeten infiltratiedebieten rondom HP Mensink. Een nadere beschouwing van de bodemopbouw en de toegepaste modelschematisatie bleek het mogelijk gaf aanleiding tot enkele kleine aanpassingen aan het model nabij HP Mensink:

- HP Mensink is anders geschematiseerd, niet als lijnelementen maar als daadwerkelijke drainage in het topsysteem.
- Aanpassing van de weerstand van S1.2 onder bassin en HP Mensink, op basis van kaartlagen en boorbeschrijvingen.
- Bodemdiepte van het bassin HP Mensink is verlaagd tot 2 meter onder het waterpeil.

De resultaten van de validatie zijn weergegeven in onderstaande tabel. Vergelijking met de eerdere berekeningen uit de optimalisatie levert een sterk verbeterde overeenkomst tussen gemeten en berekende waarden. De afwijking in de infiltratiehoeveelheid is nu verminderd tot 1%. Voor HP Mensink is de afwijking teruggebracht naar circa 3%.

Tabel 3.3. Resultaten van de validatie van het NHDZ model

Berekende met het model			Gemeten	Verschil	
ICAS	type	m3/d	m3/d	m3/d	%
IN	panden	infiltratie	62637	62560	77
					0.1
IKIEF	type	m3/d			
IN	panden	infiltratie	43255	43173	82
					0.2
HP Mensink	type	m3/d			
UIT	bassin	drainage	-490	-505	15
					3.2

Vergelijking berekende en gemeten verlaging van de grondwaterstand bij grote, historische winhoeveelheden

Het grondwatermodel wordt in deze m.e.r. studie gebruikt om veranderingen van de grondwaterstand te berekenen. Vervolgens worden deze veranderingen opgeteld bij (gesuperponeerd op) de grondwaterstandsdieptekaart van de bestaande (gemeten) situatie 2005. Het is dus belangrijk om na te gaan of het model in staat is om juist deze veranderingen goed te voorspellen. Dit kan door een validatie uit te voeren op de effecten van de historische winningshoeveelheden. Deze validatie is hieronder beschreven.

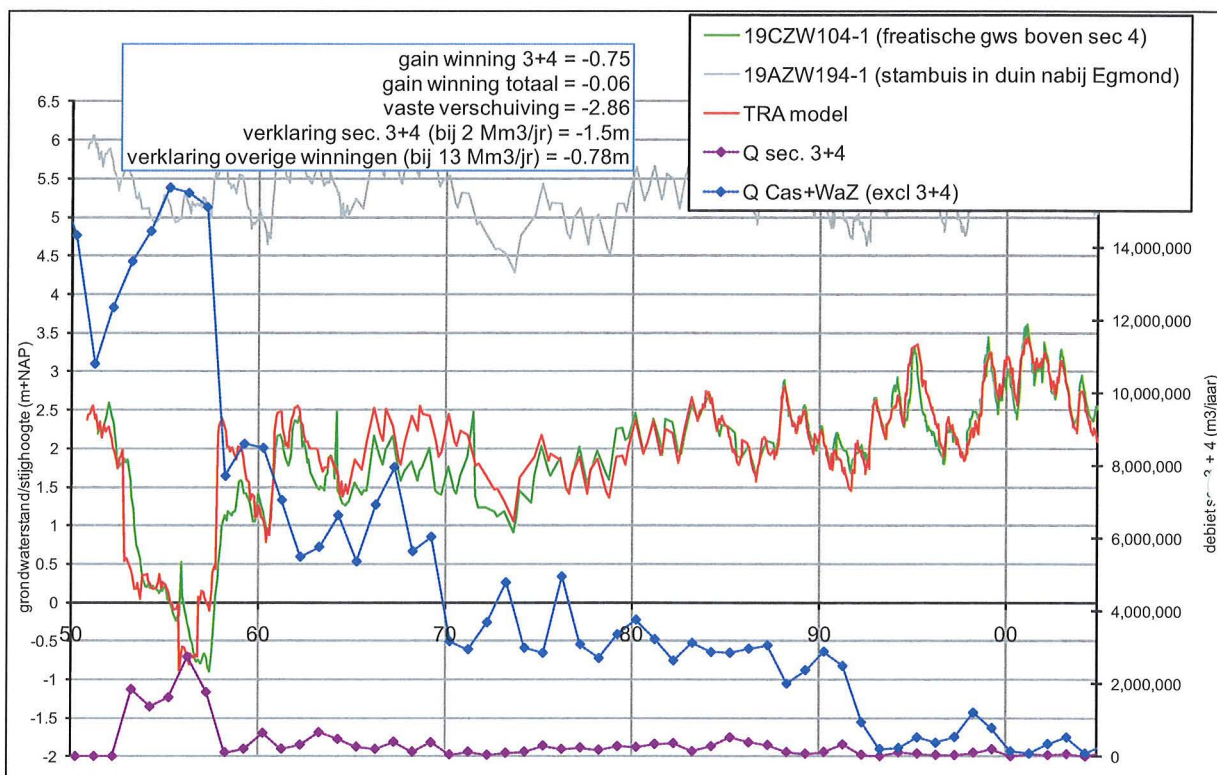
Voor aanleg van het eerste infiltratiegebied ICAS eind jaren '50 werd al het water opgepompt als natuurlijk duinwater. Na de ingebruikname van ICAS in 1957 is de hoeveelheid gewonnen natuurlijk duinwater sterk afgenomen omdat het grootste deel van het water via ICAS en later (sinds 1975) ook IKIEF werd geproduceerd.

In duinsecundair 3 en 4 werd in de jaren '50 zo'n 2 miljoen m³ duinwater per jaar gewonnen. Na de ingebruikname van ICAS daalde deze hoeveelheid vanaf 1958 plotsklaps tot zo'n 0,2 miljoen m³ per jaar. De afgelopen decennia is de gewonnen hoeveelheid natuurlijk duinwater nog verder afgenomen, maar absoluut gezien (in m³'s) is deze afname gering.

In de historische meetreeksen van de grondwaterstand in de omgeving van de duinsecundairs is deze sprong in de afname ook duidelijk te zien. De grondwaterstanden in de omgeving van de duinsecundairs 3 en 4 waren rond 1956 zo'n 3 meter lager dan begin jaren '60. Sindsdien varieert de grondwaterstand van jaar tot jaar (als gevolg van de hoeveelheid winning en natte en droge jaren), maar nooit meer zijn de grondwaterstanden zo laag geweest als in de jaren '50.

Deze periode is dus uitermate geschikt om het grondwatermodel te valideren. Daartoe is in eerste instantie gekeken of bepaald kon worden wat het effect van een duinsecundair was op de freatische grondwaterstand vlak boven de pompputten. Daartoe is in Excel een tijdreeksmodel gemaakt om te kijken of de gemeten freatische grondwaterstand vlak boven de winputten (reeks 19AZW104-1) benaderd kon worden met de volgende invoerreeksen:

- een freatische peilbuis in een gebied dat zo goed als niet beïnvloed is door de duinwaterwinningen (reeks 19CZW194-1 nabij Egmond aan Zee);
- het debiet van de duinsecundairs 3 en 4 (de secundairs 3 en 4 lagen vlak bij elkaar, secundair 3 bestaat niet meer, secundair 4 nog wel);
- het debiet van alle overige duinsecundairs in het gebied Castricum/Wijk aan Zee (als maat voor de 'algemene' verlaging van de grondwaterstand in het duingebied).



Figuur 3.11. Validatieresultaat NHDZ; tijdreeksmodel ter verklaring van de grondwaterstanden in de periode vanaf 1950.

Figuur 3.11 (in het groot in bijlage 5) toont het resultaat van dit lineaire regressie model. Te zien is dat de gemeten grondwaterstand heel goed benaderd kan worden met het tijdreeksmodel. De lage grondwaterstanden in de jaren '50 kunnen heel goed worden verklaard met de hoge debieten van de duinsecundairs, terwijl ook de hogere grondwaterstanden sinds de jaren '60 tot heden goed worden benaderd. Op detailniveau zitten er afwijkingen tussen de gemeten en gesimuleerde reeks, maar die zijn verklaarbaar omdat er geen rekening is gehouden met traagheid, de invloed van de infiltratiegebieden en omdat de onttrekkingshoeveelheden van de beginperiode alleen op jaarbasis bekend zijn. Op hoofdlijnen geeft het tijdreeksmodel echter een goede benadering van het gemeten grondwaterstandsverloop.

Voor ieder van de invoerreeksen is uit het tijdreeksmodel af te leiden wat het afzonderlijke effect op de gemeten freatische grondwaterstand is. Vervolgens is uitgerekend wat het effect op de grondwaterstand is van een winning van 2 miljoen m³ per jaar uit secundair 3 en 4. Dat effect is een verlaging van de freatische grondwaterstand van circa 1,5 m. Vervolgens is gekeken wat het grondwatermodel voor effect berekent bij een winning van 2 miljoen m³ per jaar uit secundair 4. Dit blijkt circa 1,2 m te zijn.

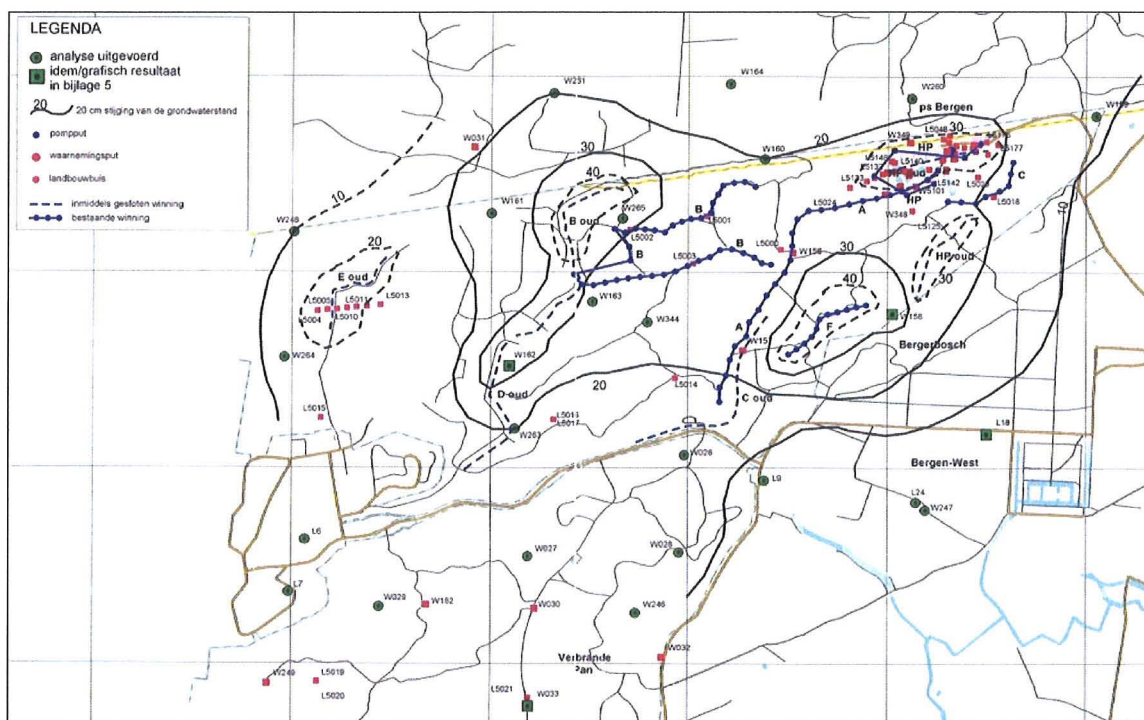
De werkelijke, opgetreden, verlaging van de grondwaterstand komt dus zeer goed overeen goed overeen met de door het grondwatermodel berekende verlaging voor dezelfde situatie. Deze resultaten tonen aan dat het model voorspelkracht heeft.

3.7.2 Bergen

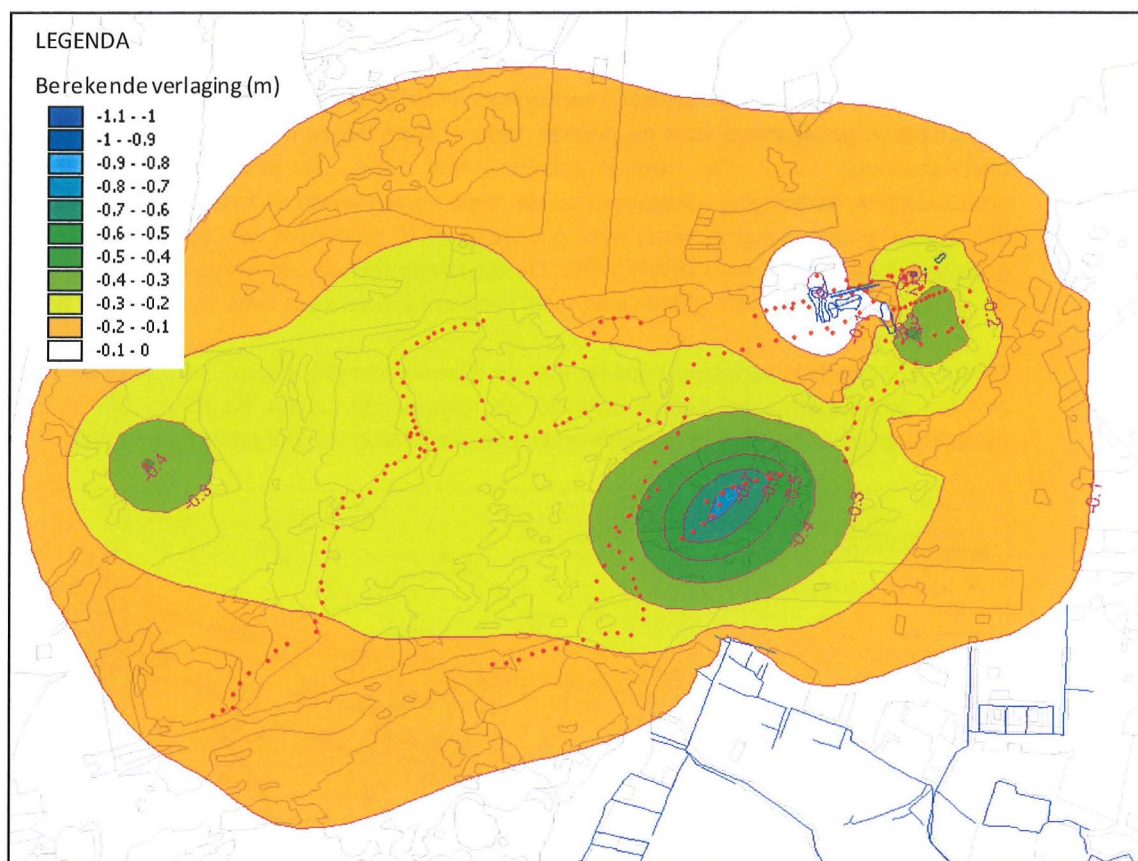
Vergelijking berekende en gemeten verlaging van de grondwaterstand bij grotere winhoeveelheid

Het model is gecalibreerd voor de periode 1983 – 1988. Sinds deze periode heeft een sterke reductie plaatsgevonden van de winhoeveelheid. Met een tijdreeksanalyse is het verschil in grondwaterstandsverlaging vastgesteld tussen twee verschillende perioden: 1) de situatie in de jaren '83-'88, waarin er nog veel grondwater werd gewonnen en 2) de situatie van '95-'96, waarin er nauwelijks nog grondwater gewonnen werd (PWN,1998). De resultaten hiervan zijn vergeleken met de verandering van de grondwaterstand die het grondwatermodel berekent tussen deze twee verschillende perioden.

Figuur 3.12 geeft de verlaging bepaald met de tijdreeksanalyse. Figuur 3.13 geeft de verlaging bepaald met het grondwatermodel. Hieruit blijkt dat de verandering tussen '83-'88 en '95-'96 op basis van de tijdreeksanalyse redelijk goed overeenkomt bij de berekening van het grondwatermodel.



Figuur 3.12. Stijging grondwaterstand (geïnterpoleerde isolijnen van gelijke stijging) op basis van tijdreeksanalyse. Verschil tussen de situatie '83-'88 en '95-'96.



Figuur 3.13. Met grondwatermodel berekende stijging van de grondwaterstand. Verschil tussen de situatie '83-'88 en '95-'96.

3.8 Conclusies

Het doel van het model voor deze m.e.r.-studie is een betrouwbare voorspelling van de veranderingen in de grondwaterstand te maken om de effecten op de grondwaterafhankelijke natuur en een eventuele toename van de grondwateroverlast te kunnen bepalen. In het rapport is beschreven hoe de modellen zijn opgebouwd en hoe de calibratie is uitgevoerd. Voor het NHDZ model is de calibratie uitgevoerd voor stijghoogten, stijghoogteverschillen en debieten. In het kader van de m.e.r.-studie is niet nader aandacht gegeven aan de gevoeligheid van de modeluitkomsten voor andere dan de beschreven wijzigingen in de aannames. De resultaten geven meer dan voldoende vertrouwen in het model. Het NHDZ model is gecalibreerd voor de jaren 1996 - 2000. Vervolgens is het model op twee punten gevalideerd. Ten eerste voor de infiltratiehoeveelheden vanuit infiltratiepanden over de periode 2000-2006. De berekende infiltratiehoeveelheden blijken na een plausibele bijstelling van de bodemweerstand zeer goed overeen te komen met de feitelijke (gemeten) hoeveelheden. Ten tweede is het model gevalideerd aan de hand van een gemeten historische verlaging in de jaren '50. Ook hier berekent het model vergelijkbare verlagingen.

Voor het Bergen model is de calibratie uitgevoerd voor structurele gemeten stijghoogten over de periode 1983 - 1988. De resultaten geven voldoende vertrouwen in het model. Daarnaast is het model gevalideerd aan de hand van een historisch opgetreden verhoging van de grondwaterstand als gevolg van de reductie van de duinwaterwinning in de jaren negentig. Ook hier berekent het model verhogingen van de grondwaterstand die goed met de metingen overeenkomen.

Het model wordt in het kader van de m.e.r.-studie uitsluitend gebruikt voor het voorspellen van veranderingen van grondwaterstanden (uitgaande van het superpositiebeginsel). De resultaten van de calibratieinspanning op basis van de genoemde soorten meetwaarden zijn voldoende voor het beoogde doel. Tevens geeft de achteraf uitgevoerde, onafhankelijke validatie meer dan voldoende vertrouwen voor de uit te voeren berekeningen in het kader van de m.e.r.-studie.

Een model bevat altijd een aantal aannames over het geohydrologische modelconcept. Het is altijd de vraag in welke mate de modeluitkomsten gevoelig zijn voor wijziging in die aannames. Het beschreven proces van ijking (minimalisatie van de objectfunctie), en waar nodig een aanpassing van het modelconcept, leidt tot de (bodem)parameters die het model de meeste voorspelkracht geven. De berekeningen met het model geven dan een voldoende nauwkeurige indicatie van de te verwachten effecten.

4 REFERENTIES

ICW, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (1982). Kwantiteit en kwaliteit van grond- en oppervlaktewater in Noord-Holland benoorden IJ. Werkgroep Noord-Holland, ICW Regionale Studies 16, Wageningen.

IWACO (1997). Grondwatermodellering Bergen-Egmond-Schoorl. In opdracht van ministerie van LNV en DLG. Rapportnr. 1072820.

Koster, M.A.M. (1997). De geologische opbouw van het Noord-Hollands Duinreservaat tussen het Noordzeekanaal en Egmond aan Zee. Intern rapport PWN. Reg. nr. 97/000530.

NHV (1997). Modelkalibratie het automatisch iijken van grondwatermodellen. NHV-special nummer 2, Nederlandse Hydrologische Vereniging

PWN (1998). Hydrologische effecten als gevolg van de reductie duinwaterwinning in het Noord-Hollands Duinreservaat, NV PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland, juni 1998, Kaartbijlage 7.

PWN (2001). Verkenning kalibratie NHD-zuid-model voor de diepere ondergrond, en winning, van Hoogovens. Intern document PWN.

PWN (2004). Beschrijving grondwatermodel Noordhollands Duinreservaat, kennisdocument hydrologie.

RGD, (1987). Geologische Kaart van Nederland, schaal 1:50:000. Kaartblad Alkmaar West (19W) en Lakmaar Oost (19O). Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

Rolf, H. & Lebbink, J. (1998) Hydrologische effecten als gevolg van reductie duinwaterwinning in het Noord-Hollands Duinreservaat. Intern rapport PWN.

Rolf, H. & Lebbink, J. (2002). Grondwaterstandsdieptekaart. Intern rapport PWN.

Royal Haskoning (2002). De Duinpolder Ontboezemt. Een ecohydrologisch onderzoek in de CALU duinpolders.

Royal Haskoning (2004). Triwaco User's Manual.

Royal Haskoning (2004). Grondwateronderzoek stortplaats Anna's Hoeve en Laarder wasmeren complex.

Stuyfzand, P.J. (1985). Hydrochemie en hydrologie van het duingebied Egmond a/z en Wijk aan Zee.

Stuyfzand, P.J. (1989a). Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Egmond aan Zee en Petten. Rapport KIWA N.V., Nieuwegein.

Witte, J.P.M., Meijden, R. van der, Groen, C.L.G. & Gieske, J.M.J. (1995). De Landelijke Hydrologische Systeemanalyse: deelrapport 4. Deelgebied Noord-Holland; beschrijving van grondwaterstromingsstelsels. Uitgave van TNO i.o.v. LNV, V&W en VROM.

Zagwijn, W.H. & Van Staalduinen (red.) (1975). Toelichting bij geologische overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.

5 COLOFON

Opdrachtgever	: PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland
Project	: Milieu Effect Rapport Optimalisatie Bedrijfsvoering Noord-Hollands Duinreservaat
Dossier	: AC1899
Omvang rapport	: 58 pagina's
Auteurs	: Jouke Velstra en Goswin van Staveren (Acacia)
Interne controle	: Sander de Haas (PWN)
Projectleider	: Jos Peters (DHV)
Datum	: 23 december 2010

DHV B.V.

Water

Laan 1914 nr. 35

3818 EX Amersfoort

Postbus 1132

3800 BC Amersfoort

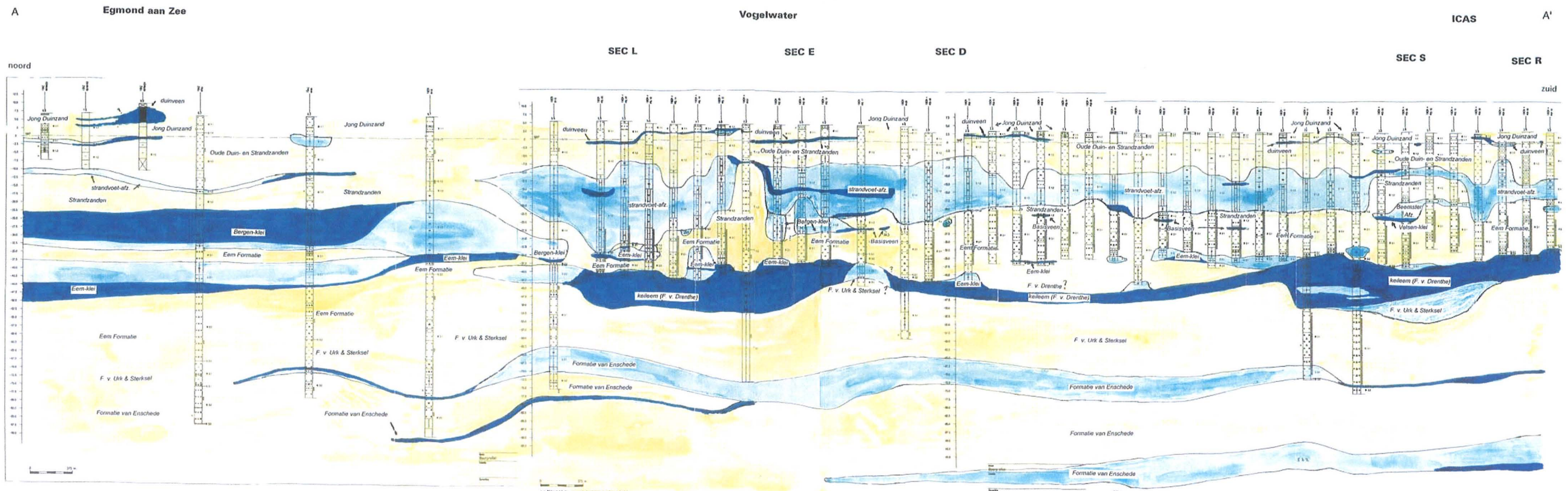
T (033) 468 20 00

F (033) 468 28 01

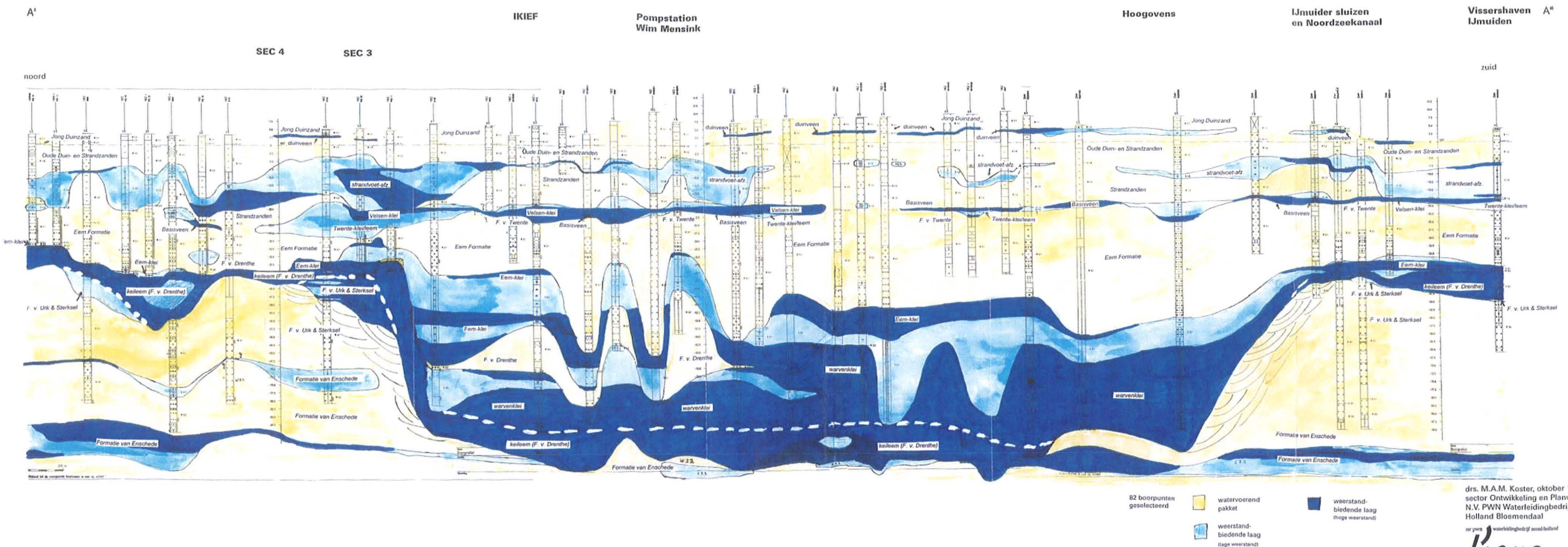
E info@dhv.com

www.dhv.nl

Bijlage 1. Hydrogeologisch lengteprofiel over het NHDZ



longteprofiel (A-A'-A')
PWN-model (zuid)
getuend op huidige gegevens
boorarchief PWN (DARACO)



Hydrogeologisch lengteprofiel vanaf Egmond aan Zee, via ICAS en IKIEF, tot aan IJmuiden

Bijlage 2. Hydraulische weerstanden van slecht doorlatende lagen

NHDZ

Scheidende laag S1.1

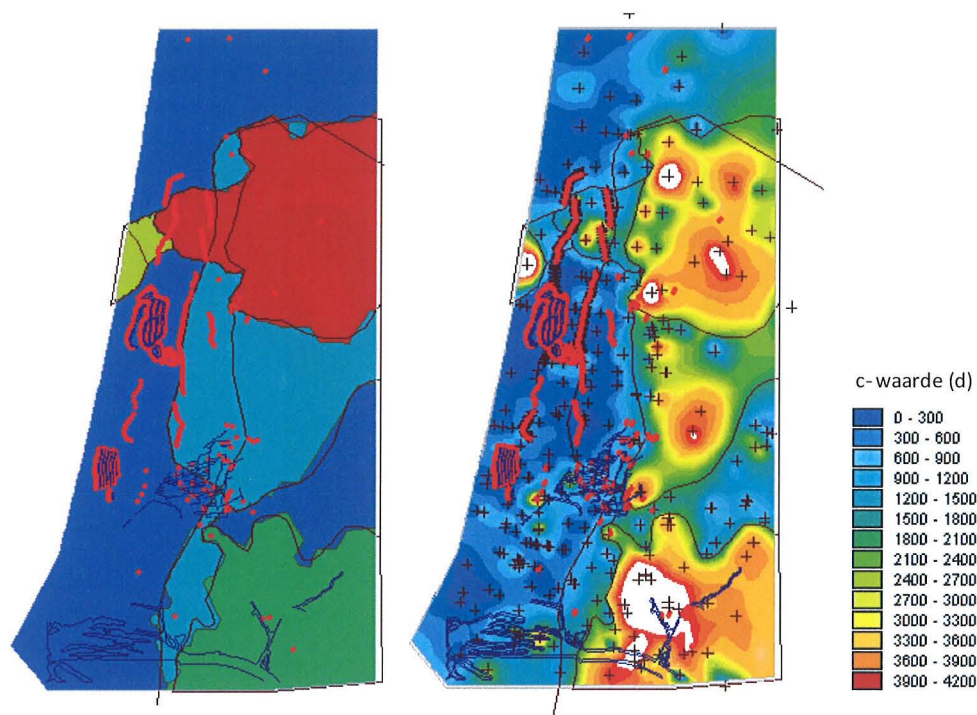
De scheidende laag S1.1 bestaat uit Hollandveen en kleiafzetting van Calais en Duinkerken (huidige Formatie van Naaldwijk). De verbreiding van deze laag is van groot belang voor het isohypsenbeeld van de freatische grondwater. De kaart is verdeeld in vlakken met de categorieën: veen, mogelijk veen, klei en mogelijk klei, zie figuur 1. Per categorie is een c-waarde toegekend, die vervolgens is geoptimaliseerd. Tijdens de optimalisatie bleek het vooral nodig om de vlakken bij ICAS los te koppelen en te verfijnen. Ook is het grote kleivlak ten oosten van ICAS in tweeën gesplitst (was eerst 1 vlak) en is de weerstand van het veen bij Corus apart geoptimaliseerd. De geoptimaliseerde c-waarden zijn in rood aangegeven.



Figuur 1. Weerstand S1.1 in dagen.

Scheidende laag 2, S1.2

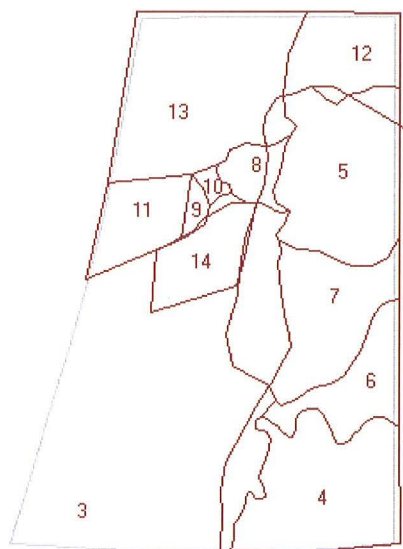
De weerstand van S1.2 (voornamelijk strandvoet-afzettingen) is in een aantal gebieden opgedeeld. Figuur 2 toont een duidelijk verschil tussen het westelijke en het oostelijke gebied.. In het oosten bevinden zich de Oerij afzettingen, die als kaartomschrijvingen de aanduidingen "zeker aanwezig" en "mogelijk aanwezig" hebben gekregen. Geulen binnen deze Oerij afzettingen kunnen ook zeker aanwezig zijn. In het gebied van Heemskerk en de hele westelijk strook ontbreken de Oerij afzettingen (geërodeerd). In die gebieden is de weerstand laag. Na een optimalisatieslag is hiervoor een waarde van 50 dagen aangehouden.



Figuur 2. Scheidende laag 2, S1.2, links: c-waarde (dagen) in model, rechts: geïnterpoleerde c-waarde uit kDc-optie DAWACO (kruisje is boring)

Tabel 1 Overzicht gebieden en c-waarden voor en na calibratie. De figuur onder de tabel toont de ligging van de gebieden.

Gebied	Omschrijving	c-waarde begin calibratie	c-waarde einde van calibratie
1	Overig	3	3
2	OerIJ	1500	430
3	Strandvoetafzetting	50	405
4	Zeker aanwezig	2000	2227
5	Zeker aanwezig	4000	4445
6	Waarschijnlijk niet aanwezig	60	55
7	Mogelijk wel aanwezig	1500	1052
8	Aanwezig maar hoeveelheid onbekend	4000	2600
9	Onduidelijk	2500	389
10	Mogelijk geul	2500	2436
11		-	2436
12	Strandvoet plus Oerij	-	778
13	Strandvoet	-	1163
14	Lage weerstand Strandvoetafzetting	-	47

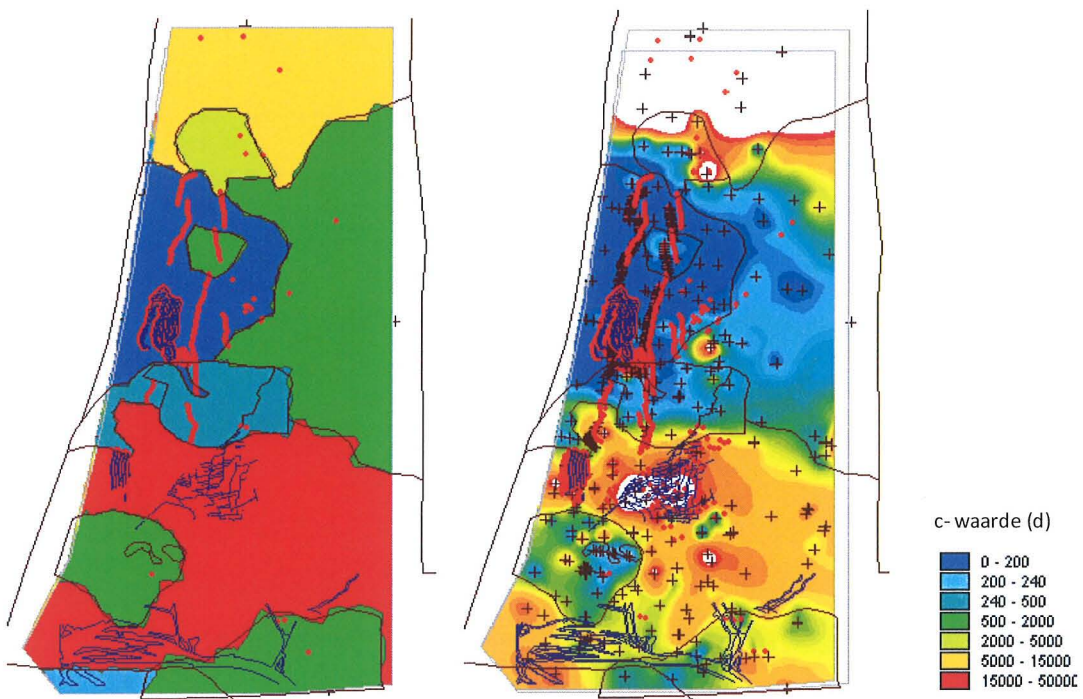


Scheidende laag 3, S1.3

Slecht doorlatende laag S1.3 bestaat uit de Bergenklei, Basisveen en Velsenklei op Basisveen (rood).

In het noorden bevindt zich de Bergenklei (donker geel). Een deelgebied bestaat uit zandige restfacies (licht geel) met een duidelijk minder grote weerstand. In het zuiden heeft de Velsenklei op Basisveen (rood) een grote weerstand. De noordelijke grens van het (Velsenklei op) Basisveen is niet geheel duidelijk. Daarom is hiervoor een gebied gedefinieerd als overgangsgebied (licht blauw). In dit gebied is nog een geul aangebracht waar geen weerstand aanwezig is. Ook ten zuiden van IKIEF (deels CORUS-terrein) is een deelgebied onderscheiden omdat hier de weerstand duidelijker minder aanwezig is.

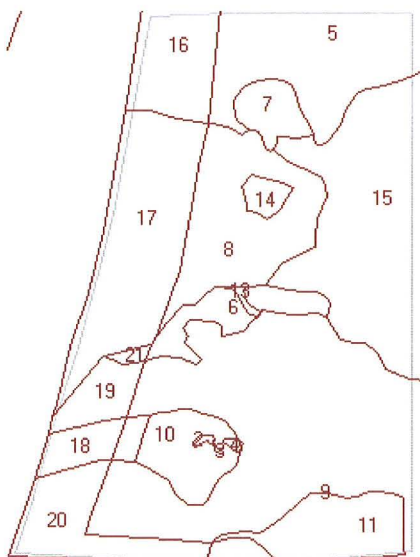
Het middengebied, ten zuiden van de Bergenklei en ten noorden van de Basisveen/Velzen klei, bestaat uit afzettingen die deels zijn overgebleven en deels geërodeerde uit Formatie van Twente/Beemster/Bergen/Basisveen. Dit middengebied is opgesplitst in een westelijk deel zonder noemenswaardige weerstand (blauw) en oostelijk deel met waarschijnlijk nog wel enige weerstand (fel groen). In onderstaande tabel staan de aangehouden c-waarden.



Figuur 3. Scheidende laag 3, S1.3, links: c-waarde (d), geschematiseerd in deelgebieden in het model, rechts: geïnterpoleerde c-waarde uit kDc-optie DAWACO (kruisje is boring)

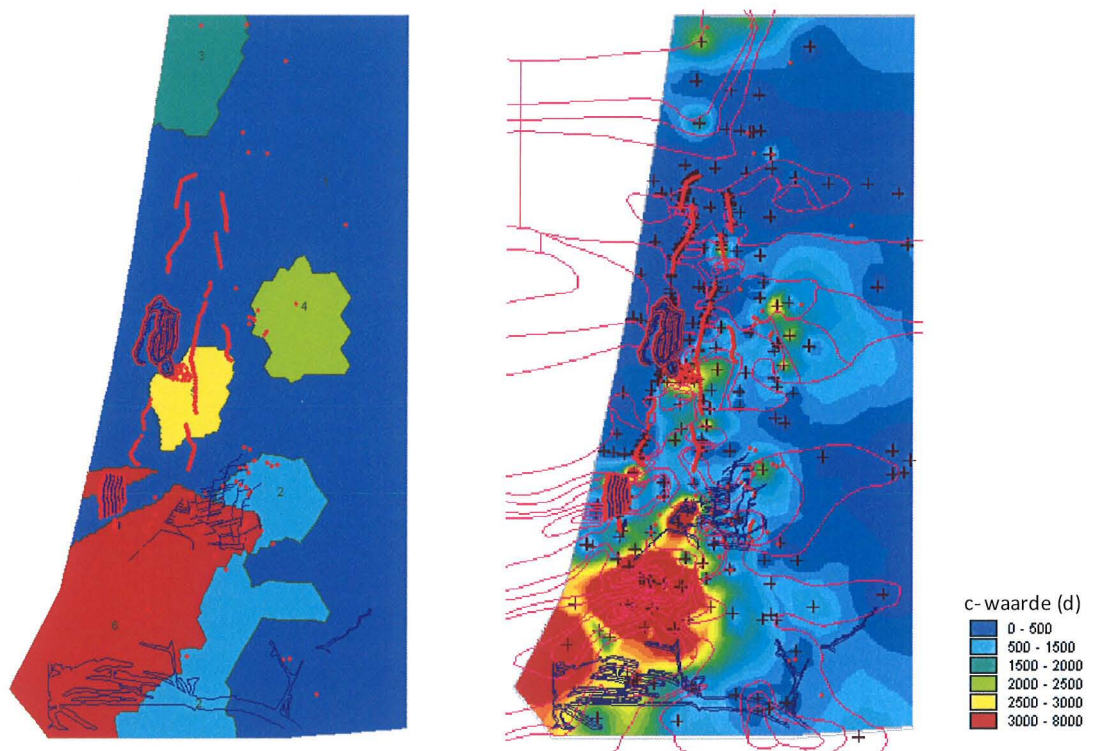
Tabel 2 Overzicht gebieden en c-waarden voor en na calibratie. De figuur onder de tabel toont de ligging van de gebieden.

Gebied	Omschrijving	c-waarde begin	c-waarde einde
1	overig	240	269
2	Bergenklei	15000	19040
3	Mogelijke grens basisveen	500	476
4	Mogelijk gat 1	2000	5600
5	Mogelijk gat 3	2000	12320
6	Mogelijk gat 2	2000	785
7	Zandige randfacies Bergenklei	5000	8467
8	Twente/beemster/bergen/basisveen	200	200
9	Velsenklei op basisveen	50000	22400
10	Aanwezigheid minder duidelijke	2000	8960
11	Mogelijk aanwezig	2000	2240
12	Mogelijk geul	200	18
13	Mogelijk klei	2000	112
14	Waarschijnlijk toch weerstand	2000	390
15	Bergenklei onder zee	-	240
16	vervolg	-	17940
17	Vlak 'minder duidelijk' onder zee	-	485
18	onder zee	-	10400
19	Mogelijk klei onder zee	-	10400
20		-	10400
21		-	560



Scheidende laag 4, S2.1

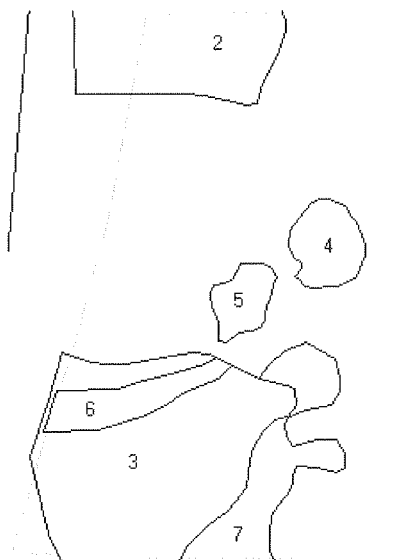
Scheidende laag 4, S2.1 bestaat uit kleihoudend materiaal behorend tot mariene Eemformatie. In het Noorden is het voormalige zeegat van Bergen afgezet (grijsgroen, gebied 3). In het Zuiden zien we het glaciale bekken nabij IJmuiden (donkerrood) met hoge weerstand. Ten Westen hiervan is een overgangsgebied (lichtblauw) van het glaciale bekken. Over IKIEF loopt een geul met een uitloper van glaciale bekken opvulling. Ten Oosten en Zuidoosten zijn twee deelgebieden (donker geel en groen) waar te nemen, waar de weerstand van de kleiafzettingen groter kan zijn. Tussen de hier beschreven, duidelijk aanwezige aaneengesloten kleilagen bevinden zich eveneens kleiige afzettingen, maar deze zijn niet aaneengesloten of hebben een lage weerstand. De weerstand hiervan is aanvankelijk op 500 dagen gezet. Na de optimalisatie blijkt 47 dagen de optimale waarde.



Figuur 4. Scheidende laag 4, S2.1, links: c-waarde (d) in de geschematiseerde deelgebieden in model; rechts: geïnterpoleerde c-waarde uit kDc-optie DAWACO (kruisje is boring)

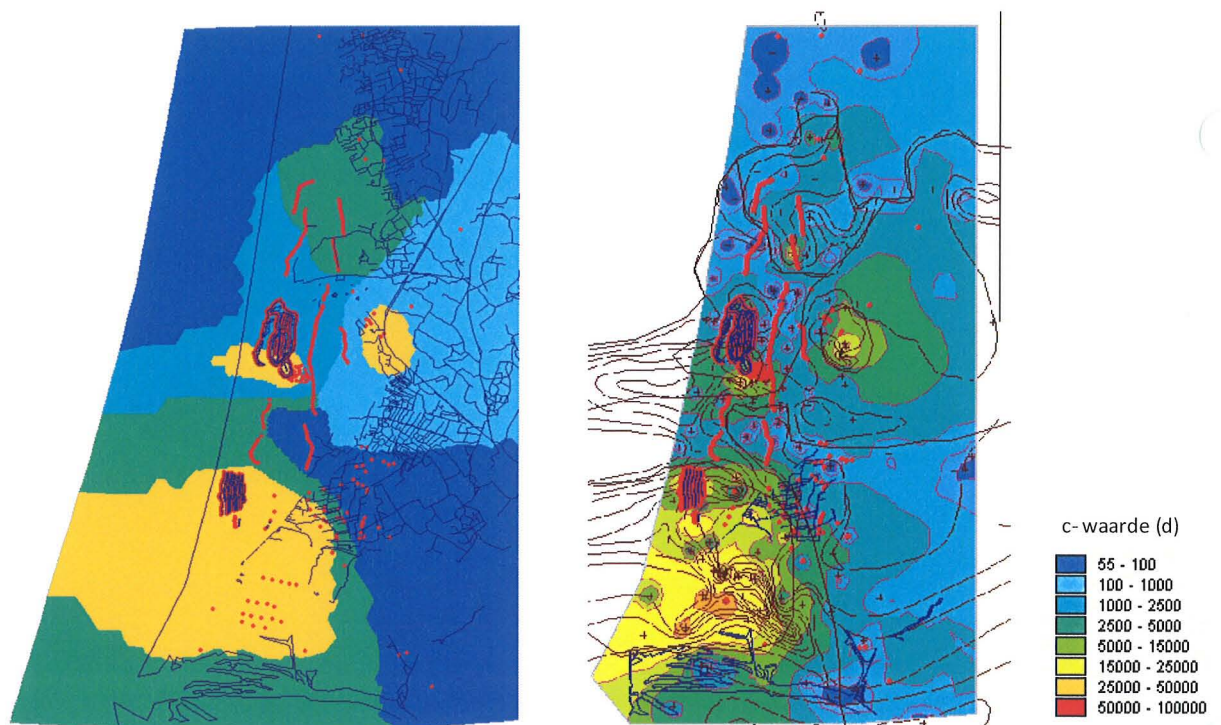
Tabel 3 Overzicht gebieden en c-waarden voor en na calibratie. De figuur onder de tabel toont de ligging van de gebieden.

Gebied	Omschrijving	c-waarde begin	c-waarde einde
1	Eemklei	500	47
2	Zeegat van Bergen	2000	1950
3	Glaciaal bekken van IJmuiden	8000	33760
4	Mogelijk weerstand	2500	2800
5	Mogelijk weerstand	3000	3350
6	Mogelijk geul	500	460
7	Mogelijk weerstand uitwig/geul	1500	520



Scheidende laag 5, S2.2

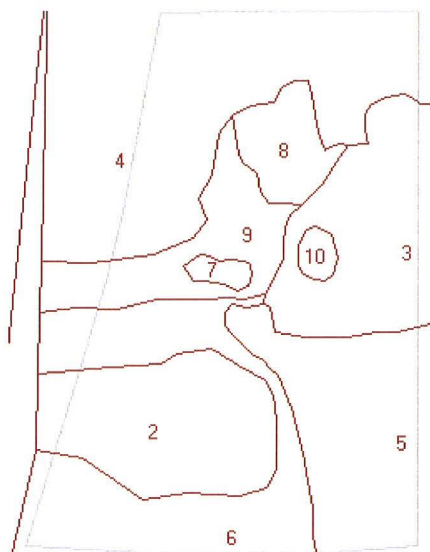
Scheidende laag 5, S2.2 bestaat uit keileem, warvenklei in glaciaal bekken (Formatie van Drenthe) en lokaal Urk-klei. De keileem bevindt zich vrijwel over het gehele gebied in wisselende samenstelling. In het Noorden is de keileem niet aanwezig (donker blauw, weerstand 100 dagen). Ook in het Zuidoosten, ten Oosten van het glaciaal bekken is de keileem niet aanwezig. De keileem is hier door de latere Eemzee geërodeerd. De warvenklei (glaciolacustriene klei) bevindt zich alleen in het glaciaal bekken (geel, zeer hoge weerstand tot 100000 dagen). In de tussengelegen gebieden zijn in de weerstand van de keileemlaag een aantal variaties op basis van de c-waarde bepaling aangebracht (licht groen tot fel groen), weerstand van 1000 tot 5000 dagen.



Figuur 5. Scheidende laag 5, S2.2, links: c-waarde(d) van de geschematiseerde deelgebieden in model, rechts: geïnterpoleerde c-waarde uit kDc-optie DAWACO (kruisje is boring)

Tabel 4 Overzicht gebieden en c-waarden voor en na calibratie. De figuur onder de tabel toont de ligging van de gebieden.

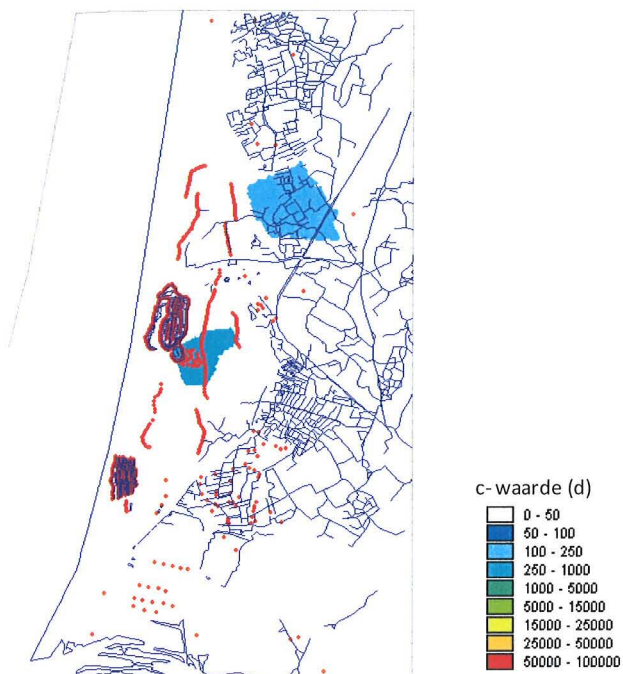
Gebied	Omschrijving	c-waarde begin	c-waarde eind
1	overig	55	55
2	Glaciolacustriene klei op keileem 10-30m	100000	50000
3	Keileem met minder duidelijke aanwezige weerstand	-	320
4	noordelijk niet aanwezig	100	80
5	keileem afwezig of slechts dun	1000	100
6	keileem met minder duidelijk aanw. Weerstand	15000	5000
7	keileem met grote weerstand	25000	25450
8	keileem variabel dik, weerstand niet duidelijk	5000	2900
9	keileem weerstand niet duidelijk	2500	1585
10	keileem dik	50000	49000



Scheidende laag 6, S3.1

Scheidende laag 6, S3.1 heeft slechts twee vlakken waar een hogere weerstand voorkomt, met een lage hydraulische weerstand: 100 en 500 dagen. Deze laag blijkt niet dominant in de parameteroptimalisatie. De weerstand van deze lagen is niet verder aangepast. Er is ook een te gering aantal zeer diepe boringen om een verdere differentiatie op een verantwoorde manier te doen.

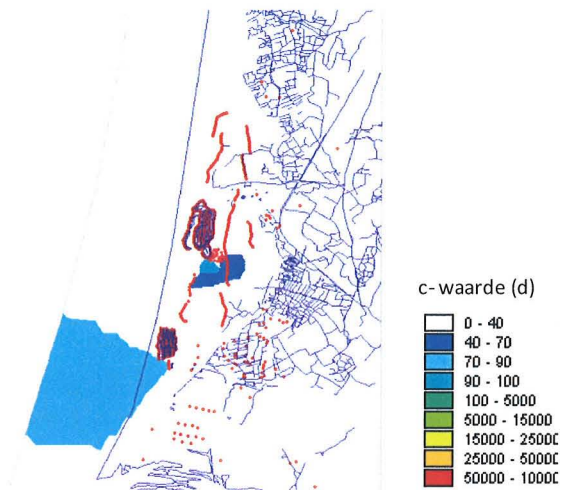
Het vlak met weerstand onder het diepinfiltratieproject DWAT is de kleilaag, in DWAT-rapportages vaak 'de slibaag' genoemd, die de opwaartse stroming van zout grondwater onder de diepe onttrekkingsputten van DWAT verhindert.



Figuur 6. Scheidende laag 6, S3.1, c-waarde (d) in het model.

Scheidende laag 7, S3.2

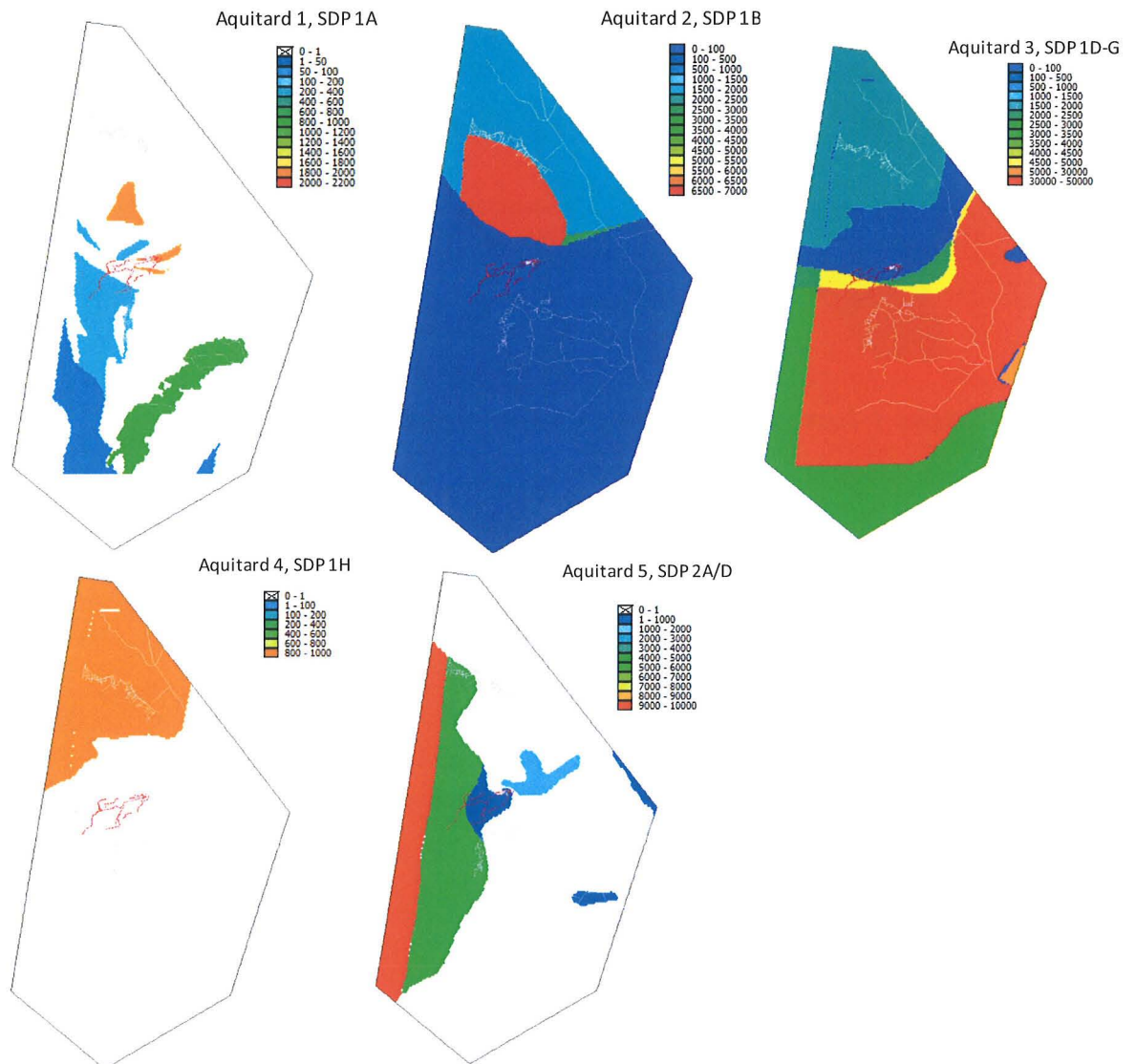
Scheidende laag 7, S3.2 heeft ook enkele vlakken met een weerstand van 50 tot 100 dagen. Ook deze laag is niet verder geoptimaliseerd.



Figuur 7. Scheidende laag 7, S3.2, c-waarde in model.

Bergen

De hydraulische weerstand van de scheidende lagen in het model Bergen zijn hieronder, zonder verdere toelichting, in kaartjes weergegeven. Van belang is met name Noordelijke grens van de Bergenklei ('aquitard 3'). Deze loopt over het centrum van de PWN-duinwaterwinningen. Ten zuiden van de winningen heeft deze laag een hoge weerstand en noordelijker is de weerstand afwezig.



Bijlage 3. Redenering gewichten ijkset stijghoogte verschillen (verschil-koppels) over de S1.1 laag

In het NHDZ grondwatermeetnet zijn een aantal zgn. 'verschil-koppels'; dit zijn twee landbouwbuizen vlakbij elkaar, één onder en één boven het niveau van het S1.1-duinveen. Het stijghoogteverschil tussen deze twee buizen geeft directe informatie over de lokale hydraulische weerstand. Bij de optimalisatie zijn deze verschil-koppels, naast absolute stijghoogtes en debieten, als een aparte meetsoort meegenomen in de 'objectfunctie' (of 'doelfunctie') meegenomen. De discussie is welk gewicht je aan zo'n andere meetsoort, in dit geval het stijghoogteverschil van het verschil-koppel, zou moeten geven. Hierover gaat de onderstaande verhandeling.

De meetkoppels zijn verschillend in waarde, zowel onderling als ten opzichte van de gemeten absolute stijghoogten.

Gewicht ten opzichte van de absolute stijghoogte

Er is geen duidelijke, wetenschappelijke onderbouwing waarom een gemeten verschil meer of minder zou moeten wegen dan de absolute stijghoogte. Gevoelsmatig zou het gewicht van de verschil-koppels hoog moeten zijn omdat ze rechtstreeks informatie geven over de weerstand van de S1.1 laag.

Gewichten tussen verschil-koppels onderling

Het gewicht tussen verschil-koppels onderling zou groter kunnen zijn bij een groot gemeten verschil dan voor een verschil-koppel met een klein gemeten verschil. Voorbeeld: stel dat het gemeten verschil 50 cm is en het model berekent in hetzelfde punt een verschil van 40 cm. De fout is dan 10 cm, wat als een redelijke afwijking kan worden beschouwd. Als het gemeten verschil echter maar 10 cm is en het model berekend 5 cm, dan is de fout 5 cm. In dat geval is de fout relatief veel groter en is de c-waarde in het model toch duidelijk slechter gecalibreerd. Dus een afwijking van 5 cm op een gemeten verschil van 10 cm moet in de objectfunctie slechter scoren dan een afwijking van 10 cm op een verschil van 50. Gekozen kan worden voor een benadering op basis van een relatieve afwijking. Een fout van 25 cm op een verschil van 50 telt dan net zo zwaar als een fout van 5 cm op een verschil van 10 cm. Echter de objectfunctie scoort op het kwadraat van de afwijking. Toepassing van het laatste zou betekenen dat het gewicht moet afnemen met het kwadraat van het verschil. Een verschil van 50 cm moet dus een gewicht krijgen dat 25x zo laag is dan een verschil van 10 cm. Dit leidt op het oog echter tot zeer grote verschillen in het gewicht, maar het gaat natuurlijk om de getalsmatige bijdrage aan de objectfunctie.

Uitvoering in model

Gekozen is om het gewicht van de verschil-koppels zo te kiezen dat een fout ter grootte van het halve gemeten verschil net zo zwaar bijdraagt in de objectfunctie als een fout van 30 cm in de absolute stijghoogte.

Dit betekent het volgende in de praktijk. Een fout in de absolute stijghoogte van 30 cm (bij een gewicht van 1) levert een bijdrage aan de objectfunctie van $1 \times 0,30 \times 0,30 = 0,09$

Het gewicht bij een verschilmeting van 50 cm moet dus zodanig zijn dat een fout van 25 cm een bijdrage van 0,09 aan de objectfunctie geeft. Het gewicht is dan: $0,09 / (0,25 \times 0,25) = 1,44$

Op dezelfde manier zouden de gewichten moeten zijn zoals in onderstaande tabel wordt gegeven.

gemeten verschil (cm)	gewicht
0.1	360000
1	3600
3	400
7	73.46939
15	16
30	4
50	1.44
120	0.25
240	0.0625

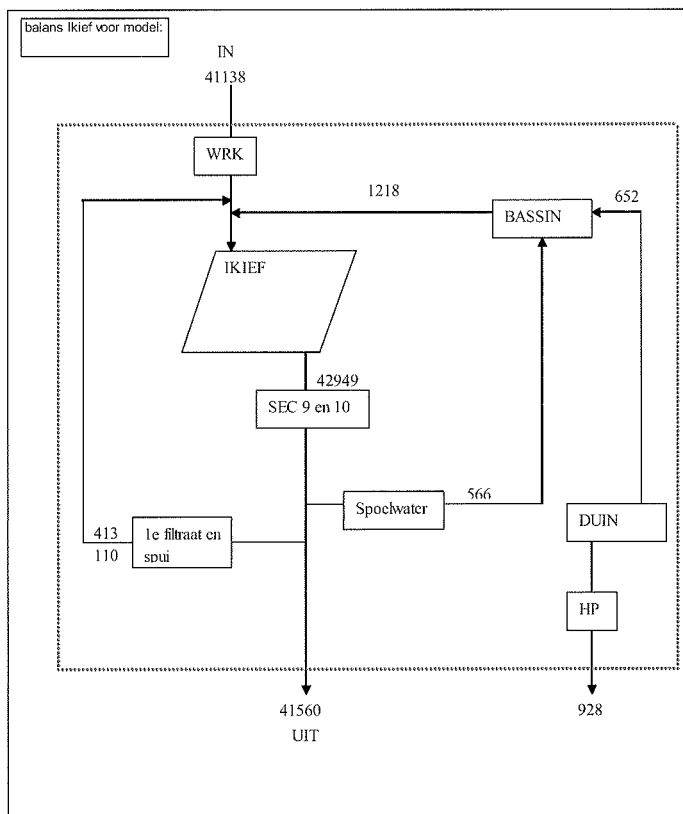
Dit leidt op het oog tot zeer extreme gewichten, vooral bij de gemeten verschillen van enkele centimeters. Deze kleine verschillen zijn echter ook onnauwkeurig qua meting, dus moeten we hier erg voorzichtig mee zijn. Daarom is ervoor gekozen om verschillen kleiner dan 5 cm niet mee te nemen (gewicht = 0). Op deze plaatsen is uiteraard wel getoetst dat er in het model ook feitelijk geen verschil wordt berekend.

Resumerend: voor het gewicht van de verschilmetingen is een waarde aangehouden gelijk aan 0,09 gedeeld door het kwadraat van het gemeten verschil (in meters). Verder is het gewicht gehalveerd in het geval van een cluster van twee verschil-koppels vlak bij elkaar en ook wordt het gewicht verlaagd als de verschilmeting kleiner is dan 5 cm of anderszins, door meetproblemen, erg onnauwkeurig is.

Bijlage 4. Infiltratiehoeveelheden IKIEF en ICAS gebruikt bij parameteroptimalisatie van model

Infiltratie ICAS		
voor model m3/dag:	m3/jaar	
WRK, gemiddelde jul 1996 t/m jun 2000		
	61354	22394344.49
DWAT spoelwater (96-2000)		
	727	265448.75
Spoelwatervijver psc (96-2000)		
	790	288293.915
totaal inf panden (WRK+spoelwater DWAT)		
	62871	22948087.16

infiltratie IKIEF		
voor model m3/dag:	m3/jaar	
WRK, gemiddelde jul 1996 t/m jun 2000	41138	15015385.53
1e filtraat (2000/2001)	413	150586
Spui (2000/2001)	110	40271.5
Spoelwater naar bassin (2000/2001)	566	206580
Bassin naar IKIEF (1996-1999)	1218	444493
totaal inf panden WRK+1e filtraat+spui+bassin)	42879	15650736.03
totaal inf bassin (spoelwater)	566	206580



Bijlage 5. Validatieresultaat NHDZ

