

## **DEEL 2**

### **MER VERVANGENDE PRODUCTIE CAPACITEIT, AFWEGING ELF ALTERNATIEVEN BASISRAPPORT GEOHYDROLOGIE**

# INHOUDSOPGAVE

|       |                                                                        |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------|----|
|       | Samenvatting.....                                                      | 5  |
| 1     | Inleiding .....                                                        | 6  |
| 2     | Werkwijze .....                                                        | 9  |
| 2.1   | Beschrijving alternatieven .....                                       | 9  |
| 2.2   | Grondwatermodellering .....                                            | 9  |
| 3     | Gebiedsbeschrijving.....                                               | 11 |
| 3.1   | Modelgebied.....                                                       | 11 |
| 3.2   | Bodemopbouw en geohydrologie .....                                     | 12 |
| 3.3   | Oppervlaktewater .....                                                 | 13 |
| 3.4   | Hydrologische systeembeschrijving .....                                | 14 |
| 3.4.1 | Deelgebied 1: het westelijk Weidegebied .....                          | 15 |
| 3.4.2 | Deelgebied 2: de Kromme Rijn en Vechtgebied .....                      | 16 |
| 3.4.3 | Deelgebied 3: de Utrechtse Heuvelrug.....                              | 17 |
| 3.4.4 | Deelgebied 4: de Gelderse Vallei .....                                 | 18 |
| 4     | Modellering huidige situatie .....                                     | 19 |
| 4.1   | Opbouw model.....                                                      | 19 |
| 4.1.1 | Algemeen .....                                                         | 19 |
| 4.1.2 | Netwerk .....                                                          | 20 |
| 4.1.3 | Scheidende lagen.....                                                  | 20 |
| 4.1.4 | Watervoerende pakketten .....                                          | 21 |
| 4.1.5 | Topsysteem.....                                                        | 21 |
| 4.1.6 | Anisotropie .....                                                      | 23 |
| 4.1.7 | Onttrekkingen.....                                                     | 23 |
| 4.1.8 | Randvoorwaarden .....                                                  | 23 |
| 4.2   | Calibratie .....                                                       | 24 |
| 4.2.1 | Algemeen .....                                                         | 24 |
| 4.2.2 | Gevoeligheidsanalyse .....                                             | 25 |
| 4.2.3 | Calibratieresultaat .....                                              | 25 |
| 4.3   | Conclusies .....                                                       | 28 |
| 5     | Autonome ontwikkeling en referentiesituatie .....                      | 29 |
| 5.1   | Inleiding .....                                                        | 29 |
| 5.2   | Grondwateronttrekkingen .....                                          | 29 |
| 5.3   | Topsysteem .....                                                       | 29 |
| 6     | Modellering alternatieven .....                                        | 32 |
| 6.1   | Inleiding.....                                                         | 32 |
| 6.2   | Verlaging freatische grondwaterstand .....                             | 32 |
| 6.3   | Veranderingen kwel/wegzijgingsflux .....                               | 33 |
| 6.4   | Verandering waterbalans.....                                           | 33 |
| 6.5   | Grondwaterbeschermingsgebieden.....                                    | 35 |
| 6.6   | Winningen van derden binnen het invloedsgebied van de onttrekking..... | 36 |
| 7     | Conclusies.....                                                        | 37 |
|       | Literatuur.....                                                        | 38 |
|       | Begrippenlijst.....                                                    | 39 |

|           |                                                                                                                                              |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bijlage 1 | Modelnetwerk voor modellering huidige situatie<br>Zie Deel 10 MER Vervangende Productie Capaciteit, Kaarten, Bijlage 2.1                     |
| Bijlage 2 | Ruimtelijke weergave calibratieresultaat en berekende isohypsen<br>Zie Deel 10 MER Vervangende Productie Capaciteit, Kaarten, Bijlage 2.2    |
| Bijlage 3 | Doorlaatvermogens en weerstanden watervoerende en scheidende lagen<br>Zie Deel 10 MER Vervangende Productie Capaciteit, Kaarten, Bijlage 2.3 |
| Bijlage 4 | Modelnetwerk model alternatieven<br>Zie Deel 10 MER Vervangende Productie Capaciteit, Kaarten, Bijlage 2.4                                   |
| Bijlage 5 | Modellering alternatieven: verlagingen freatische grondwaterstand<br>Zie Deel 10 MER Vervangende Productie Capaciteit, Kaarten, Bijlage 2.5  |
| Bijlage 6 | Modellering alternatieven: verandering kwel/wegzijging<br>Zie Deel 10 MER Vervangende Productie Capaciteit, Kaarten, Bijlage 2.6             |
| Bijlage 7 | Ligging natuurgebieden<br>Zie Deel 10 MER Vervangende Productie Capaciteit, Kaarten, Bijlage 2.7                                             |

## **SAMENVATTING**

In dit deelrapport worden de resultaten besproken van de hydrologische modellering die is uitgevoerd voor het MER VPC-2.

Voorafgaande aan de MER zijn reeds acht locaties naar voren gekomen waar mogelijkheden zijn voor diepe grondwaterwinning. Het gaat daarbij om locaties waar al grondwater wordt gewonnen en uitbreiding van het onttrekkingsdebiet mogelijk is, of om locaties waar een geheel nieuw pompstation aangelegd zal worden.

Voor deze acht locaties zijn elf alternatieven voor diepe grondwaterwinning opgesteld.

De elf alternatieven zijn met behulp van een grondwatermodel geanalyseerd voor een drietal primaire geohydrologische effecten. Het gaat om:

- de ligging van gebieden waar een verlaging van de freatische grondwaterstand van 5 cm of meer optreedt;
- de ligging van gebieden waar de verandering van de kwel/wegzijgingsflux vanuit het watervoerend pakket naar de deklaag 0,1 mm/d of meer bedraagt;
- de oppervlakte aan gebieden met als hoofd- of nevenfunctie natuur, waar een verandering in één van de waterbalansposten van 10% of meer optreedt.

Daarnaast zijn met behulp van het grondwatermodel secundaire, afgeleide hydrologische effecten geanalyseerd. Het gaat daarbij om de eventuele noodzaak van grondwaterbeschermingsgebieden, en of er winningen van derden binnen het invloedsgebied van een mogelijke nieuwe winning gelegen zijn.

De werkwijze die bij de modellering is gevolgd, is in het kort als volgt:

- opbouw van een gebiedsdekkend grondwatermodel;
- calibratie van het model voor een recente langjarige, gemiddelde stationaire situatie op basis van een vergelijking tussen gemeten en berekende stijghoogten. Dit wordt hierna het model voor de huidige situatie genoemd;
- definitie van de verwachte, autonome ontwikkeling met betrekking tot de geohydrologische situatie;
- ombouwen van het model huidige situatie naar het model voor de referentie situatie;
- uitwerking van de geohydrologische criteria voor de elf alternatieven op basis van modelberekeningen.

Uit de berekeningen komt naar voren dat een verlaging van de freatische grondwaterstand zich met name voordoet in gebieden waar de afsluitende deklaag relatief slecht ontwikkeld is, of waar stroomruggen in de ondergrond voorkomen. Het gaat daarbij om onder meer de uiterwaarden langs rivieren. Een verandering van de kwel/wegzijgingsflux treedt voor een aantal alternatieven zowel op in de uiterwaarden als in de poldergebieden. Wanneer wordt gekeken naar de voorgestelde alternatieven, dan hebben met name alternatief 7 en 8 een relatief groot gebied met grondwaterstandverlaging en kwel/wegzijgingsverandering tot gevolg. Ook wordt vooral bij alternatief 7 en 8 een verandering van 10% in de waterbalanspost kwel/wegzijging ter plaatse van natuurgebieden berekend.

Bij geen van de alternatieven is de instelling van een grondwaterbeschermingsgebied noodzakelijk, mits de winning voldoende diep in het geplande watervoerend pakket plaatsvindt. Wel zal bij de locaties een boringsvrije zone ingesteld moeten worden. Alleen bij alternatief 10 zullen winningen van derden beïnvloed worden.



## 1 INLEIDING

Hydron is verantwoordelijk voor de drinkwatervoorziening in de provincie Utrecht. Het drinkwater dat Hydron levert (circa 80 miljoen m<sup>3</sup> per jaar) is bereid uit grondwater. Het voorzieningsgebied omvat de provincie Utrecht, exclusief de gemeente Doorn en inclusief de gemeenten Hilversum (provincie Noord-Holland) en Scherpenzeel (provincie Gelderland).

Landelijke en provinciale overheden hebben grenzen gesteld aan grondwaterwinning met als doel het areaal verdroogd gebied terug te dringen.

Op 21 april 2001 zijn de provincie Utrecht en Hydron een overeenkomst aangegaan, gericht op een reductie van grondwaterwinning met 9 Mm<sup>3</sup> per jaar. Van deze reductie zal 4 Mm<sup>3</sup> per jaar worden gedekt door Hydron Flevoland in het kader van het project 'Ruwwater naar het Oude Land'. Voor de resterende 5 Mm<sup>3</sup> per jaar wordt vervangende productie capaciteit gezocht in gebieden waar naar verwachting minimale milieueffecten optreden.

Parallel aan deze zoektocht naar nieuwe winmogelijkheden voor diepe grondwaterwinning evalueert de provincie Utrecht de effecten van de voorgenomen reductie van een aantal winningen op de Utrechtse Heuvelrug. Uiterlijk 2005 zal duidelijk moeten worden of, hoe en waar de benodigde 5 Mm<sup>3</sup> per jaar gerealiseerd kan worden.

Naast deze vervangende productie capaciteit is er vanuit economisch- en grondwaterkwaliteitsoogpunt de wens om de winning Montfoort van 0,5 Mm<sup>3</sup>/jaar te verplaatsen. In totaal is dus 5,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar vergunningscapaciteit noodzakelijk. Voor de aanvraag van de vervangende productie capaciteit dient een m.e.r.-procedure te worden doorlopen. Onderdeel van deze m.e.r. is het milieueffect rapport. In het MER worden de relevante effecten op het milieu in beeld gebracht.

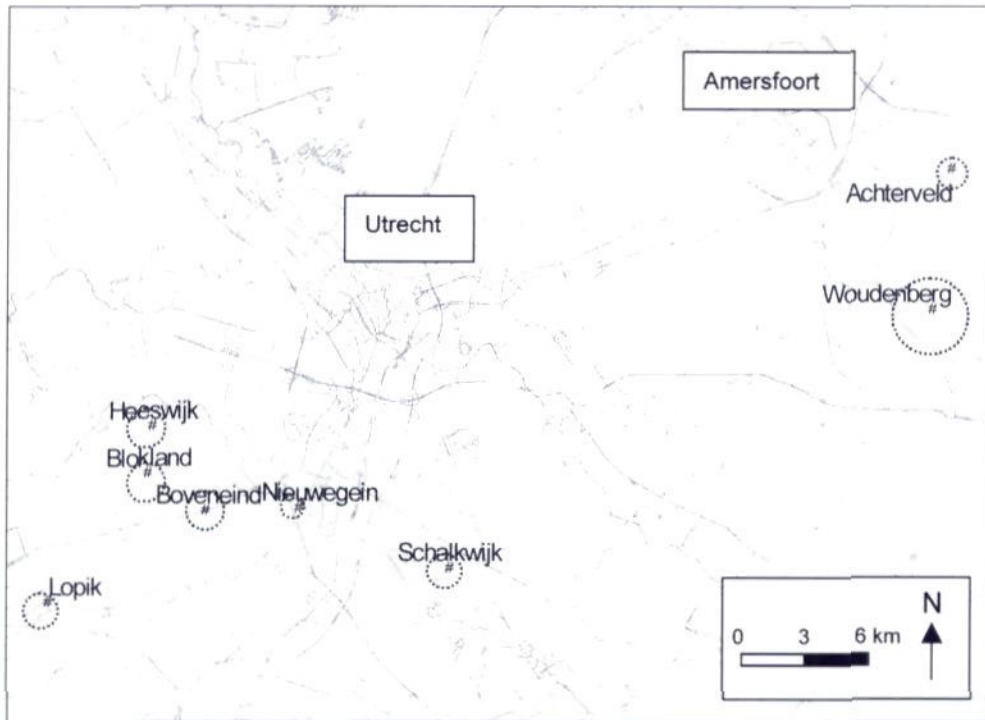
Hydron heeft, middels verkennende studies geschikte gebieden voor vervangende capaciteit vastgesteld. Op basis daarvan zijn acht locaties geselecteerd waarmee een elftal m.e.r. alternatieven zijn samengesteld (zie figuur 1). Vervolgens is een multicriteria-analyse (MCA) uitgevoerd voor de elf alternatieven, wat leidt tot een definitie van het MMA en VA (zie tabel 1.1 en 1.2).

Tabel 1.1 Overzicht elf alternatieven vervangende productie capaciteit

| Alternatief |                        | Mm <sup>3</sup> /jr | WVP   | Zuivering                                                  |
|-------------|------------------------|---------------------|-------|------------------------------------------------------------|
| 1           | uitbreiding Nieuwegein | 2,5                 | 3     |                                                            |
|             | nieuw Achterveld       | 3,0                 | 3     |                                                            |
| 2           | nieuw Achterveld       | 3,0                 | 3     | gecombineerd met de zuivering van De Meern op locatie      |
|             | nieuw Polder Blokland  | 2,5                 | 3     | De Meern (na renovatie)                                    |
| 3           | nieuw Polder Blokland  | 3,0                 | 3     | blokland gecombineerd met de zuivering van De Meern op     |
|             | nieuw Schalkwijk       | 2,5                 | 3     | locatie De Meern, zuivering Schalkwijk te Schalkwijk       |
| 4           | uitbreiding Nieuwegein | 2,5                 | 3     | zuivering op Nieuwegein (na renovatie) en te Schalkwijk    |
|             | nieuw Schalkwijk       | 3,0                 | 3     |                                                            |
| 5           | uitbreiding Lopik      | 2,5                 | 3     | zuivering op locatie Lopik (na renovatie) en te Achterveld |
|             | nieuw Achterveld       | 3,0                 | 3     |                                                            |
| 6           | uitbreiding Nieuwegein | 5,5                 | 3 + 4 | zuivering op locatie Nieuwegein (na renovatie)             |
| 7           | nieuw Polder Blokland  | 3,0                 | 3     | zuivering op respectievelijk de locaties De Meern en       |
|             | nieuw Polder Boveneind | 2,5                 | 3     | Nieuwegein (na renovaties)                                 |
| 8           | nieuw Polder Heeswijk  | 3,0                 | 4     | zuivering op respectievelijk de locaties De Meern en       |
|             | nieuw Polder Boveneind | 2,5                 | 3     | Nieuwegein (na renovaties)                                 |
| 9           | uitbreiding Lopik      | 2,5                 | 3     | zuivering op locatie Lopik (na renovatie) en te Nieuwegein |
|             | uitbreiding Nieuwegein | 3,0                 | 4     |                                                            |
| 10          | nieuw Polder Blokland  | 2,5                 | 3     | zuivering op locaties De Meern en Woudenberg               |
|             | nieuw Woudenberg       | 3,0                 | 3     |                                                            |
| 11          | nieuw Polder Blokland  | 3,0                 | 3     | zuivering op locaties De Meern en Woudenberg               |
|             | nieuw Woudenberg       | 2,5                 | 3     |                                                            |

Bij het beschrijven van de effecten worden voor alle aspecten eerst de huidige situatie en de autonome ontwikkeling behandeld. Deze worden beschreven als *referentie* voor de te verwachten milieueffecten van de onderscheiden alternatieven. De autonome ontwikkeling geeft aan wat er gebeurt in het studiegebied als het voorgenomen initiatief niet plaatsvindt. In de referentiesituatie zijn alle reducties doorgevoerd en is rekening gehouden met vastgestelde peilbesluiten en beleidslijnen voor wat natuurontwikkeling betreft.

De uitwerking van (geo)hydrologische en ecologische effecten alsmede enkele afgeleide effecten zijn in verschillende deelrapporten opgenomen. Ook zijn de vergelijking van effecten, de keuze voor het MMA en VA en de uitwerking van deze alternatieven in aparte deelrapporten opgenomen.



Figuur 1.1 Locaties en zoekgebieden alternatieven MER VPC-2

De volgende rapporten zijn verschenen in het kader van het MER:

Deel 1, MER Vervangende Productie Capaciteit, Hoofdrapport;

**Deel 2, MER Vervangende Productie Capaciteit, afweging elf alternatieven, Basisrapport geohydrologie;**

Deel 3, MER Vervangende Productie Capaciteit, afweging elf alternatieven, Basisrapport ecologie;

Deel 4, MER Vervangende Productie Capaciteit, afweging elf alternatieven, Deelrapport effecten en duurzaamheid;

Deel 5, MER Vervangende Productie Capaciteit, afweging elf alternatieven, Deelrapport vergelijking van alternatieven;

Deel 6, MER Vervangende Productie Capaciteit, uitwerking MMA en VA, Basisrapport geohydrologie;

Deel 7, MER Vervangende Productie Capaciteit, uitwerking MMA en VA, Basisrapport ecologie;

Deel 8, MER Vervangende Productie Capaciteit, uitwerking MMA en VA, Deelrapport effecten en duurzaamheid;

Deel 9, MER Vervangende Productie Capaciteit, uitwerking MMA en VA, Deelrapport vergelijking van alternatieven;

Deel 10, MER Vervangende Productie Capaciteit, Kaarten.

In de bovenstaande lijst is het onderhavige rapport vetgedrukt aangegeven.



## 2 WERKWIJZE

### 2.1 BESCHRIJVING ALTERNATIEVEN

Voorafgaand aan dit MER zijn reeds acht locaties naar voren gekomen, waar mogelijkheden zijn voor diepe grondwaterwinning. Het gaat daarbij om locaties waar al grondwater wordt gewonnen en uitbreiding van het onttrekkingsdebiet mogelijk is, of om locaties waar een geheel nieuw pompstation aangelegd zal worden. Voor deze acht locaties zijn elf alternatieven voor diepe grondwaterwinning opgesteld. In tabel 2.1 zijn de elf alternatieven weergegeven.

Tabel 2.1 Omschrijving elf alternatieven voor diepe grondwaterwinning

| Alternatief |                        | Mm³/jr | WVP   | Zuivering                                                                                                   |
|-------------|------------------------|--------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | uitbreiding Nieuwegein | 2,5    | 3     |                                                                                                             |
|             | nieuw Achterveld       | 3,0    | 3     |                                                                                                             |
| 2           | nieuw Achterveld       | 3,0    | 3     | gecombineerd met de zuivering van De Meern op locatie De Meern (na renovatie)                               |
|             | nieuw Polder Blokland  | 2,5    | 3     |                                                                                                             |
| 3           | nieuw Polder Blokland  | 3,0    | 3     | Blokland gecombineerd met de zuivering van De Meern op locatie De Meern, zuivering Schalkwijk te Schalkwijk |
|             | nieuw Schalkwijk       | 2,5    | 3     |                                                                                                             |
| 4           | uitbreiding Nieuwegein | 2,5    | 3     | zuivering op Nieuwegein (na renovatie) en te Schalkwijk                                                     |
|             | nieuw Schalkwijk       | 3,0    | 3     |                                                                                                             |
| 5           | uitbreiding Lopik      | 2,5    | 3     | zuivering op locatie Lopik (na renovatie) en te Achterveld                                                  |
|             | nieuw Achterveld       | 3,0    | 3     |                                                                                                             |
| 6           | uitbreiding Nieuwegein | 5,5    | 3 + 4 | zuivering op locatie Nieuwegein (na renovatie)                                                              |
| 7           | nieuw Polder Blokland  | 3,0    | 3     | zuivering op respectievelijk de locaties De Meern en Nieuwegein (na renovaties)                             |
|             | nieuw Polder Boveneind | 2,5    | 3     |                                                                                                             |
| 8           | nieuw Polder Heeswijk  | 3,0    | 4     | zuivering op respectievelijk de locaties De Meern en Nieuwegein (na renovaties)                             |
|             | nieuw Polder Boveneind | 2,5    | 3     |                                                                                                             |
| 9           | uitbreiding Lopik      | 2,5    | 3     | zuivering op locatie Lopik (na renovatie) en te Nieuwegein                                                  |
|             | uitbreiding Nieuwegein | 3,0    | 4     |                                                                                                             |
| 10          | nieuw Polder Blokland  | 2,5    | 3     | zuivering op locaties De Meern en Woudenberg                                                                |
|             | nieuw Woudenberg       | 3,0    | 3     |                                                                                                             |
| 11          | nieuw Polder Blokland  | 3,0    | 3     | zuivering op locaties De Meern en Woudenberg                                                                |
|             | nieuw Woudenberg       | 2,5    | 3     |                                                                                                             |

### 2.2 GRONDWATERMODELLERING

De elf alternatieven die zijn genoemd in tabel 2.1 worden met behulp van een grondwatermodel geanalyseerd voor een drietal primaire geohydrologische effecten. Het gaat om:

- de ligging van gebieden waar een verlaging van de freatische grondwaterstand van 5 cm of meer optreedt;
- de ligging van gebieden waar de verandering van de kwel/wegzijgingsflux vanuit het watervoerend pakket naar de deklaag 0,1 mm/d of meer bedraagt;
- de oppervlakte aan gebieden met als hoofd- of nevenfunctie natuur, waar een verandering in een van de waterbalansposten van 10% of meer optreedt.

Daarnaast worden met behulp van het grondwatermodel secundaire, afgeleide hydrologische effecten geanalyseerd. Het gaat daarbij om de eventuele noodzaak van grondwaterbeschermingsgebieden, en of er winningen van derden binnen het invloedsgebied van een mogelijke nieuwe winning gelegen zijn.



De geohydrologische effecten worden bij de keuze voor een VA of MMA niet direct als onderscheidende factor gebruikt. De criteria zijn ondersteunend bij analyses omtrent bijvoorbeeld ecologie, archeologie en verontreinigingen.

Voor analyse van de geohydrologische criteria is een grondwatermodel als hulpmiddel gebruikt. De werkwijze die bij de modellering is gevolgd, is in het kort als volgt:

1. opbouw van een gebiedsdekkend grondwatermodel;
2. calibratie van het model voor een recente langjarige, gemiddelde stationaire situatie. Dit wordt hierna het model voor de huidige situatie genoemd;
3. definiëring van de verwachte, autonome ontwikkeling met betrekking tot de geohydrologische situatie;
4. ombouwen van het model huidige situatie naar het model voor de referentie situatie;
5. uitwerking van de geohydrologische criteria voor de elf alternatieven op basis van modelberekeningen.

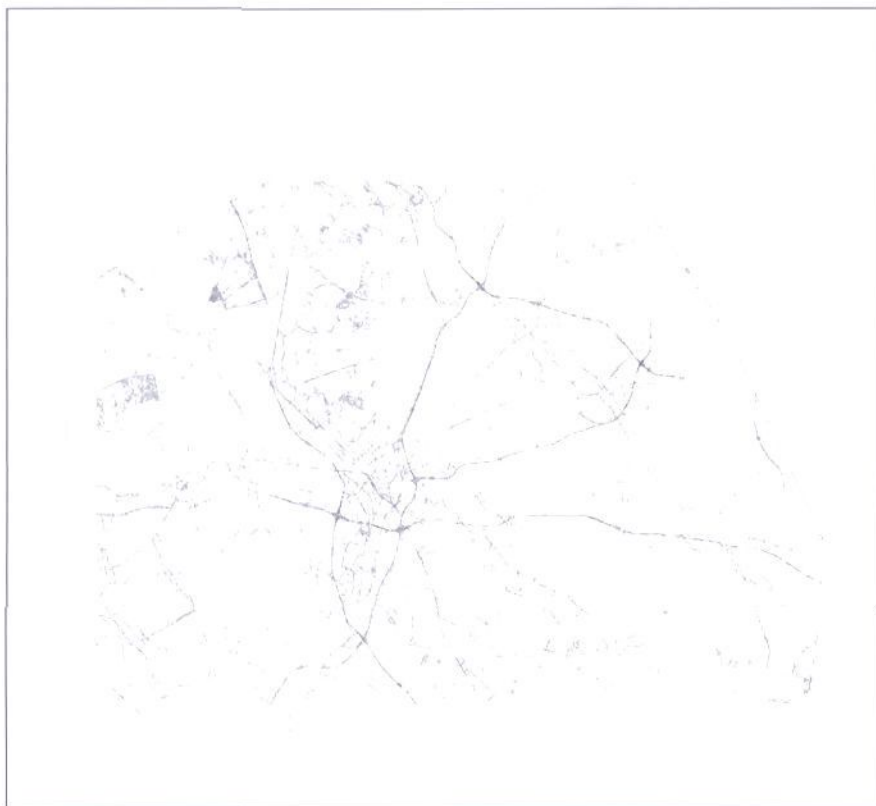
## 3 GEBIEDSBESCHRIJVING

### 3.1 MODELGEBIED

Voor uitvoering van de berekeningen is een gebiedsdekkend model opgesteld, waarbinnen de acht locaties (zie tabel 2.1) zijn gelegen. De begrenzing is zodanig gekozen dat bij de berekeningen randeffecten verwaarloosbaar zijn. Omdat de modellen Utrecht-Oost en Utrecht-West (Iwaco, 1996) mede als basis dienen bij de modellering, komt de begrenzing overeen met die modellen. Het gebied omvat de provincie Utrecht en delen van de provincies Flevoland, Zuid-Holland, Noord-Holland en Gelderland.

In noordelijke richting strekt het gebied zich uit tot aan Flevoland. Aan de oostzijde vormt de Gelderse Vallei de begrenzing van het modelgebied. De zuidgrens van het modelgebied wordt gevormd door de aan de zuidoever van de Lek gelegen polders in de Vijfheerenlanden en de Culemborger waarden. Het modelgebied ligt globaal tussen de coördinaten  $X=110.000$  tot  $174.000$  en  $Y=434.000$  tot  $491.000$ , en heeft een oppervlakte van  $2514 \text{ km}^2$ . Het modelgebied is weergegeven in figuur 3.1.

Het modelgebied heeft een relatief sterk variërend maaiveldverloop, van circa NAP -6,0 m in de diepste polders bij Mijdrecht tot maximaal circa NAP +47,0 m op de Heuvelrug.



**Figuur 3.1 Modelgebied**

In dit hoofdstuk wordt van het modelgebied allereerst de geohydrologische opbouw en de belangrijkste waterlopen beschreven. Vervolgens wordt een hydrologische systeembeschrijving gegeven, waarbij aansluiting is gezocht bij de startnotitie (Hydron Midden-Nederland, 2001).

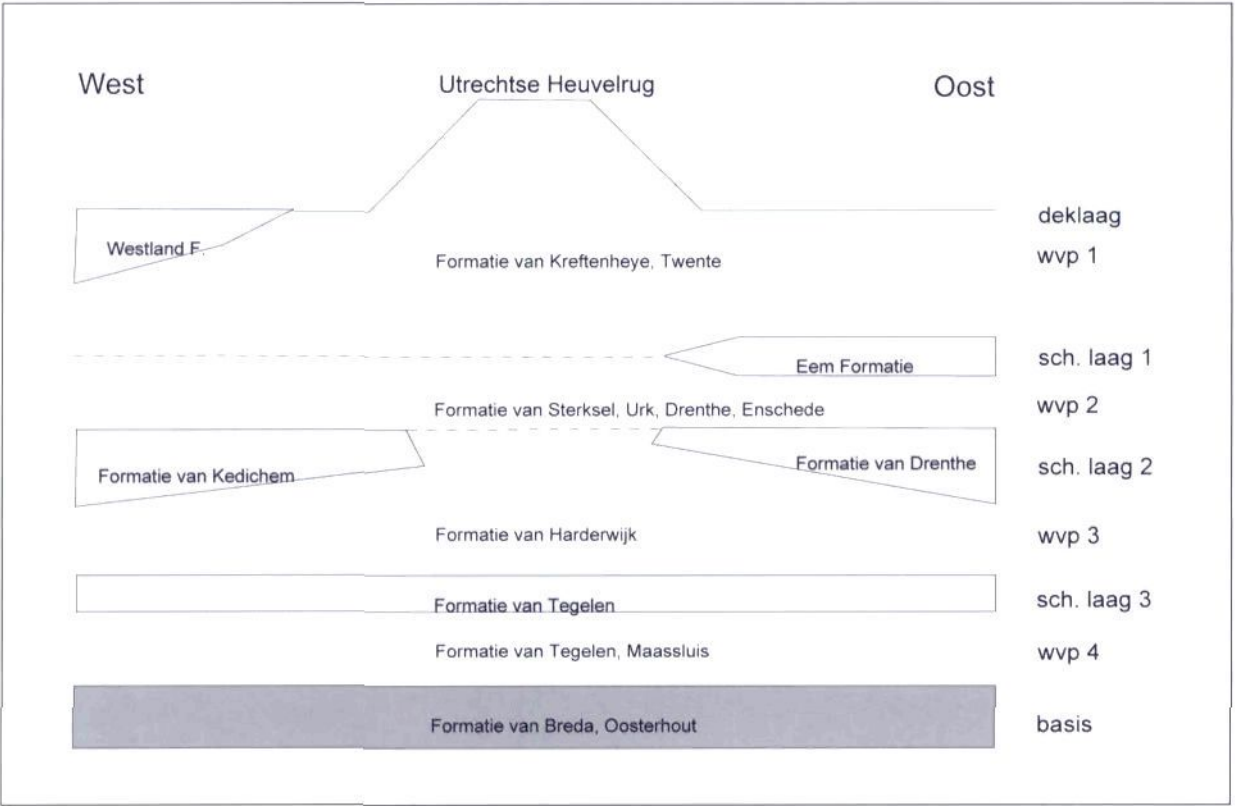
### 3.2 BODEMOPBOUW EN GEOHYDROLOGIE

In vrijwel het gehele gebied, met uitzondering van de Heuvelrug, komt een deklaag voor. De deklaag is opgebouwd uit kleiige en venige afzettingen die behoren tot de Betuwe Formatie of Westland Formatie, en zijn afgezet tijdens Holoceen (zie figuur 3.2).

Het eerste watervoerend pakket wordt gevormd door afzettingen van de Formaties van Twente en Kreftenheye. Dit zijn afzettingen van fluviatiele en eolische oorsprong.

In het gebied van de Gelderse Vallei worden het eerste en tweede watervoerend pakket gescheiden door een slecht-doorlatende laag die behoort tot de Eem Formatie. De laag is opgebouwd uit kleiige en soms venige afzettingen. In het centrale en westelijke deel van het modelgebied komt deze (eerste) scheidende laag niet voor.

Het tweede watervoerend pakket wordt gevormd door de zandige afzettingen van de Formatie van Drenthe, Enschede en Urk. Deze afzettingen zijn van fluvioglaciale en fluviatiele oorsprong. Ook de Formatie van Sterksel kan tot het tweede watervoerend pakket worden gerekend, hoewel in deze formatie lokaal venige, lemige en kleiige afzettingen kunnen voorkomen.



Figuur 3.2 Geohydrologische schematisatie modelgebied

Onder het tweede watervoerend pakket bevindt zich een scheidende laag die behoort tot de Formatie van Kedichem (westelijk deel van het modelgebied) of de Formatie van de Drenthe (Gelderse Vallei). Deze bestaat uit kleiige of lemige afzettingen. Onder de Utrechtse Heuvelrug ontbreekt deze (tweede) scheidende laag.



Het derde watervoerend pakket is opgebouwd uit zandige en grindige, fluviatiele afzettingen die behoren tot de Formatie van Harderwijk.

Onder de Formatie van Harderwijk bevinden zich slecht doorlatende afzettingen die behoren tot de Formatie van Tegelen (derde scheidende laag). Het gaat om klei-afzettingen van fluviatiele oorsprong met inschakelingen van fijn zand. De laag komt voor in het hele modelgebied.

Onder deze kleilagen vormen de goed doorlatende afzettingen van de mariene Formatie van Maassluis het vierde watervoerend pakket. In dit pakket bevinden zich op diverse diepten kleilagen, fijnzandige lagen en schelpenrijke afzettingen. Ook zandig ontwikkelde delen van de Formatie van Oosterhout en de Formatie van Tegelen kunnen tot het vierde watervoerend pakket worden gerekend.

Onder dit watervoerend pakket bevindt zich de mariene Formatie van Oosterhout bestaande uit fijn zand, klei- en schelpenlagen. De kleiige afzettingen kunnen worden gezien als hydrologische basis.

In de ondergrond van het modelgebied bevindt zich een uitloper van het in zuidoostelijk Nederland aanwezige breuken-systeem. Daardoor komt bij de Heuvelrug driedeling voor in een van zuidoost naar noordwest verlopend tektonisch hoog gebied (voortzetting van de Peelhorst) en tektonisch lage gebieden ten westen (Grote Slenk) en ten oosten daarvan (Venlo Slenk) (zie voor een overzicht: TNO Dienst Grondwaterverkenning, 1978). Uit Weerts (2000) komt naar voren dat rekening moet worden gehouden met nog meer breukvlakken en afschuivingen, met name op de begrenzing van de horst en de Venlo Slenk.

De verbreiding en diepteligging van enkele geologische en geohydrologische eenheden houdt verband met het breukenpatroon. Met name in de diepteligging van de Formatie van Kedichem kunnen regionaal relatief grote verschillen optreden. Dit houdt verband met de tektonische werking. Spronghoogten van enkele tientallen meters op relatief korte afstanden zijn daarbij mogelijk.

Kenmerkend voor de geologie van het centrale en oostelijke deel van het modelgebied zijn de gestuwde afzettingen van de Utrechtse Heuvelrug (TNO Dienst Grondwaterverkenning, 1978). De stuwing is veroorzaakt door het binnendringen van landijs in het Saalien. Naast gestuwde gebieden komen ook glaciële bekkens voor (zoals de Gelderse Vallei). De bekkens zijn na het afsmelten van het landijs opgevuld met klei en leem en langs de randzones met vaak grofzandig fluvioglaciaal materiaal.

---

### **3.3 OPPERVLAKTEWATER**

De belangrijkste waterlopen in het gebied zijn de Lek, de Kromme Rijn, Langbroekerwetering, Leidsche Rijn, Hollandsche IJssel, Amsterdam-Rijnkanaal, Kromme Rijn, Vecht, Eem en het Vallekanaal. Deze waterlopen hebben een belangrijke afwaterende functie.

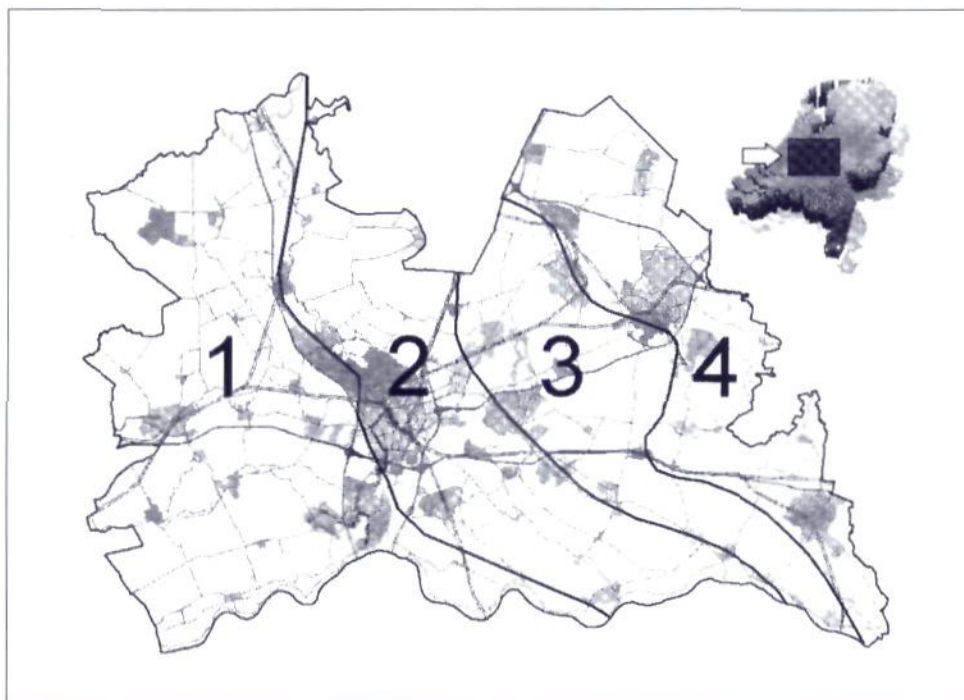
De meeste waterlopen hebben een drainerend effect op het grondwater. Van de Lek is echter bekend dat deze deels ook infiltreert.

In het noordelijke en noordwestelijke deel van het modelgebied ligt een aantal belangrijke meren: het Eemmeer, Naardermeer, de Loosdrechtse plassen en Ankeveense plassen.

Op de Heuvelrug komt vrijwel geen oppervlaktewater voor. In het gebied zijn enkel greppels aanwezig die alleen een rol spelen bij veel neerslag.

## 3.4 HYDROLOGISCHE SYSTEEMBESCHRIJVING

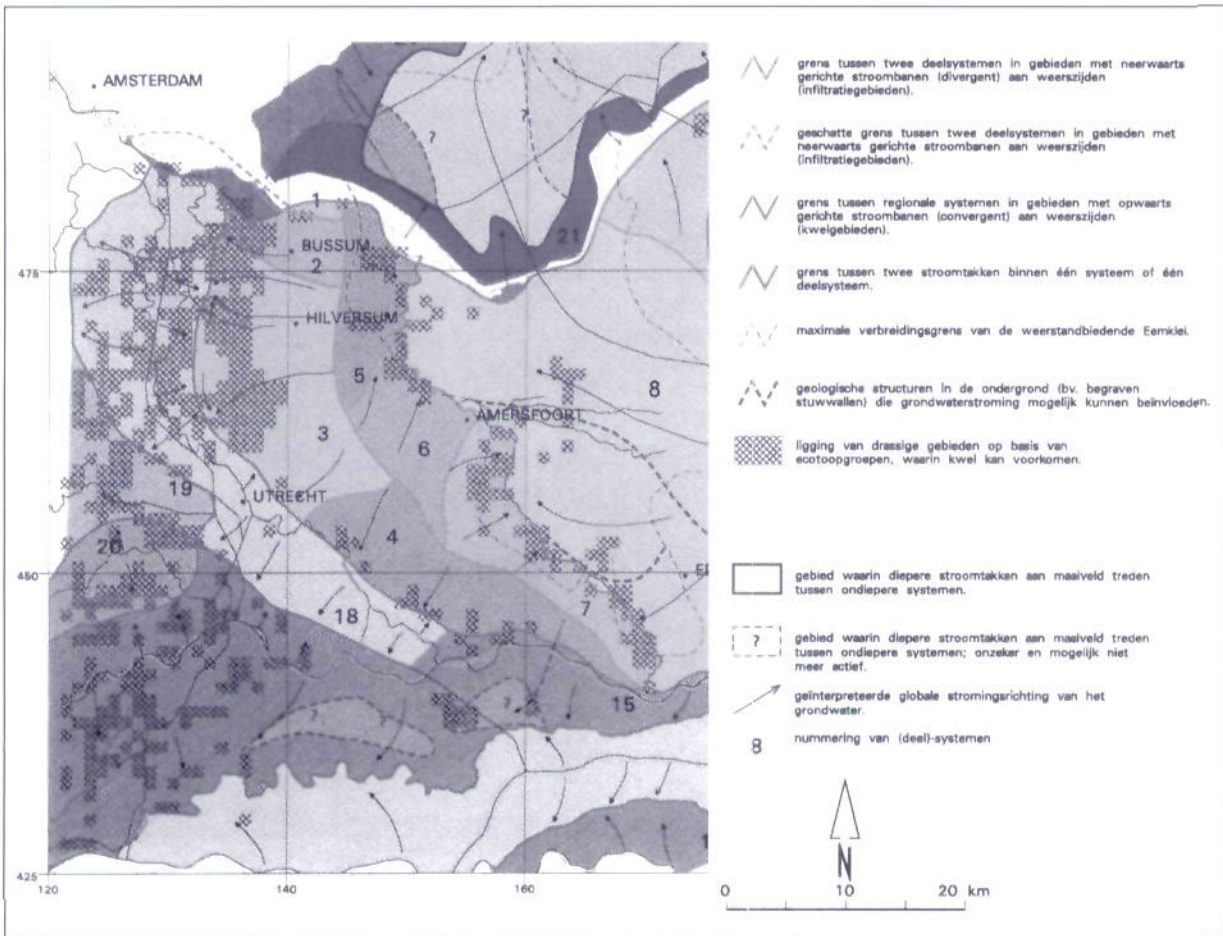
Bij de hydrologische systeembeschrijving is voor het modelgebied een onderverdeling in vier hydrologische regio's aangehouden (zie figuur 3.3). Van elke hydrologisch regio worden de belangrijkste karakteristieken beschreven.



**Figuur 3.3** Hydrologische systemen in de provincie Utrecht (Hydron Midden-Nederland, 2001)

De vier hydrologische regio's worden binnen de Landelijke Hydrologische Systeemanalyse (1993) onderverdeeld in deelsystemen. De ligging van de deelsystemen in bovenaanzicht is opgenomen in figuur 3.4. Voor een meer uitgebreide beschrijving en dwarsprofielen wordt verwezen naar het betreffende rapport.





**Figuur 3.4 Hydrologische deelsystemen volgens Landelijke Hydrologische Systeemanalyse (TNO, 1993)**

### 3.4.1 Deelgebied 1: het westelijk Weidegebied

#### Huidige situatie

Deelgebied 1 (zie figuur 3.3) ligt grotendeels onder NAP, wordt afgedekt door Holocene klei- en veenlagen en is grotendeels in gebruik als grasland. Het ondiepste watervoerend pakket wordt onder meer gevoed door op de Utrechtse Heuvelrug infiltrerende neerslag. Verder vindt infiltratie plaats in grote gebieden rond de diepe polders (Bethunepolder en Groot Mijdrecht), in een wat hoger gelegen gebied rond Vleuten en in brede stroken langs de Leidsche Rijn en de Hollandsche IJssel. Ook vindt infiltratie plaats vanuit de Lek. In de rest van dit gebied treedt kwel op.

De diepere watervoerende pakketten worden gevoed vanuit de Utrechtse Heuvelrug, en ten dele ook door de Lek. Tevens vindt infiltratie plaats vanuit het ondiepe watervoerende pakket. Alleen in het westelijke gedeelte van de Lopikerwaard en de Bethunepolder en polder Groot-Mijdrecht en omgeving vindt kwel plaats vanuit het diepe naar het ondiepe watervoerende pakket.

In het gebied overheersen het Oude Rijn Systeem (nr 19, zie figuur 3.4) en het Hollandsche IJssel Systeem (nr 20) in het westen, het Amsterdam-Rijnkanaal/Vecht (c.q. Kromme Rijn) Systeem (nr 18) in het oosten en het Lek Systeem (nr 15) in het zuiden.

Via een fijnmazig slootstelsel, de boezems en de grote waterlopen, wordt het overvloedige water het gebied uitgeslagen. De belangrijkste uitgangen van deze systemen zijn het Amsterdam-Rijnkanaal (bovenstrooms van Utrecht), diepe polders (zoals bij Mijdrecht) en poldergebieden die zijn gelegen tussen stroomruggen (met name in het gebied van de Leidsche Rijn en Hollandsche IJssel). In de diepste polders kwelt ook water op, afkomstig van de ondiepere polders en het boezemstelsel. Behalve dat er grote hoeveelheden water uitgemaalend worden, is er aanvoer van oppervlaktewater (Lekwater) mogelijk direct vanuit de Lek of via het Amsterdam-Rijnkanaal.

### Autonome ontwikkeling

Bodemvormende processen zijn in het gebied veelal voltooid. Dit geldt overigens ook voor de overige deelgebieden. Ter voorkoming van wateroverlast worden in en nabij nieuwbouwlocaties (stadsuitbreidingen nabij IJsselstein en Utrecht, de zogenaamde Vinex-locaties), waterpeilen overwegend naar beneden aangepast. Daar waar veen in de bovengrond voorkomt kan als gevolg van dergelijke ontwatering ook nu nog enige inklinking optreden. Het beleid in dergelijke stedelijke uitbreidingen is er op gericht zoveel mogelijk 'af te koppelen', hetgeen betekent dat gestreefd wordt naar het infiltreren van zoveel mogelijk neerslagwater in de bodem. De grondwateraanvulling kan zo op een zo natuurlijk mogelijke wijze verlopen en processen als verdroging voorkomen.

In zijn algemeenheid wordt er naar gestreefd de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren. Hiertoe wordt gestreefd naar het zo lang mogelijk vasthouden van gebiedseigen water. Vaste peilniveaus worden meer en meer vervuld voor een flexibel peilbeheer. Anti-verdrogingsprojecten hebben tot gevolg dat oppervlaktewaterpeilen - en daarmee het grondwaterpeil - plaatselijk worden verhoogd.

De locaties Polder Blokland Nieuw, Polder Heeswijk Nieuw, Uitbreiding Nieuwegein, Uitbreiding Lopik, Schalkwijk Nieuw en Polder Boveneind Nieuw zijn gelegen in deelgebied 1.

### 3.4.2 Deelgebied 2: de Kromme Rijn en Vechtgebied

#### Huidige situatie

Dit overgangsgebied tussen deelgebied 1 en 3 kenmerkt zich door een deels beheerste, deels vrije grondwaterstand. In het Kromme Rijngebied bestaat de ondergrond voornamelijk uit klei op zand. In het gebied is sprake van een 'uiterwaarden-situatie': aan de rand zit veel kwel, verder van de Heuvelrug af wordt de kwel steeds minder (vlak gebied). Er is veel rivierkwel langs de dijken. De op de Utrechtse Heuvelrug infiltrerende neerslag kwelt deels op in dit gebied. Met name de Langbroeker Wetering en het in dit gebied liggende gedeelte van het Amsterdam-Rijnkanaal hebben een sterk drainerende werking. In het Kromme Rijngebied wordt water aangevoerd vanuit de Lek (via de Kromme Rijn).

In de Bethunepolder ten noorden van de stad Utrecht (onderdeel Noorder-park) kwelt tevens water op, dat deels afkomstig is van de Utrechtse Heuvelrug en deels van de omringende, minder diepe polders. In de westelijke helft van het Noorderpark en het Vechtplassengebied worden de peilen van het oppervlaktewater beheerst; in het oostelijke gedeelte van het Noorderpark vindt vrije afwatering plaats.

Ten noorden van de stad Utrecht is aanvoer van oppervlaktewater mogelijk vanuit het Amsterdam-Rijnkanaal (via de Vecht). In oostelijke richting wigt het afdekkende Holocene uit tegen de Heuvelrug, en ook de weerstandbiedende werking van de Formatie van Sterksel/Kedichem neemt af in die richting. De spreidende en reducerende werking voor wat betreft de invloed van hydrologische ingrepen neemt dus in oostelijke richting af. Het gevoeligste deel is het gedeelte waar geen deklaag aanwezig is. Juist daar komen veel natuurgebieden voor, die gevoelig zijn voor veranderingen in de grondwaterstand. In het gebied is veel landbouw aanwezig en zijn er veel diepe sloten.



In deelgebied 2 overheersen het Amsterdam-Rijnkanaal/Vecht Systeem (nr 18) in het westen, het Utrechtse Heuvelrug Systeem in het oosten en het Lek-Nederrijn Systeem (nr 15) in het zuiden. De belangrijkste uitgangen in het gebied zijn de Langbroeker Wetering, het Amsterdam-Rijnkanaal (bovenstrooms van Utrecht) en de poldergebieden ten noorden van Utrecht, waaronder de Bethunepolder.

**Autonome ontwikkeling**

Ook in dit deelgebied is sprake van enkele belangrijke stadsuitbreidingen waaronder de VINEX-locatie Houten. Groot-schalige peilaanpassingen in neerwaartse richting worden hier echter slechts in geringe mate gepleegd. Ook hier is het beleid gericht op zoveel mogelijk afkoppelen. Tevens wordt gestreefd naar een verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Op diverse plaatsen worden anti-verdrogingsmaatregelen getroffen. Zo zijn in het gebied van Groenraven-Oost diverse studies verricht welke hebben geresulteerd in inrichtingsplannen. Dit gebied bevindt zich aan de westzijde van de uitlopers van de Utrechtse Heuvelrug. De plannen voorzien in het vernatten van natuurgebieden die mogelijk als gevolg van diepe waterwinning en de ontwatering ten behoeve van de landbouw verdroogd zijn, of waarvan de kwaliteit van het beschikbare water ontoereikend is. Hiertoe wordt gestreefd naar het zo lang mogelijk vasthouden van gebiedseigen water. Nabij Nieuwegein worden verder de Beatrixsluizen verbreed en wordt natte infrastructuur gerealiseerd bij Tull en 't Waal. Deze ingrepen hebben ook een zekere invloed op het diepere grondwater.

De winning Schalkwijk Nieuw bevindt zich in deelgebied 1, vlakbij de grens met deelgebied 2. Gezien het regionale stromingspatroon wordt verwacht dat inrichting van deze winning invloed heeft op de grondwaterstroming in deelgebied 2.

**3.4.3 Deelgebied 3: de Utrechtse Heuvelrug**

**Huidige situatie**

De Utrechtse Heuvelrug is voornamelijk opgebouwd uit zand met verspreid voorkomende leemlagen. De Heuvelrug verheft zich boven het omringende landschap en er vindt infiltratie plaats van het neerslagoverschot. De neerslag stroomt ondergronds af in richtingen, globaal loodrecht op de as van het opgestuwde zandlichaam. De grondwater-spiegel bevindt zich vaak zo diep onder het maaiveld, dat het gewas er voor de vochtvoorziening grotendeels onafhankelijk van is.

Deelgebied 3 is opgebouwd uit de ingangen van het Utrechtse Heuvelrug Systeem. Het Heuvelrug Systeem geeft voeding aan de deelsystemen van Huizen (nr 1), Bussum (nr 2), Hilversum (nr 3), Zeist-Amerongen (nr 4), Laren (nr 5), Amersfoort (nr 6) en Woudenberg-Veenendaal (nr 7).

**Autonome ontwikkeling**

Bodemvormende processen zijn ook in dit gebied veelal voltooid. Ook hier zal het afkoppelen van neerslagvoorzieningen een positieve bijdrage leveren aan de grondwateraanvulling. Aan de randen van de Heuvelrug worden diverse anti-verdrogingsprojecten uitgevoerd. Aan de oostzijde is het anti-verdrogingsproject in Leusden hier een goed voorbeeld van. Maatregelen zijn er op gericht gebiedseigen water vast te houden en de kwaliteit van het oppervlaktewater te verbeteren.

In het gebied wordt een aantal diepe grondwaterwinningen gereduceerd. Het gaat bijvoorbeeld om de pompstations Soest, Baarn, Amersfoort Berg en Amersfoort Hogeweg (zie ook hoofdstuk 5). Dit is in het kader van het anti-verdrogingsbeleid met de provincie Utrecht overeengekomen.

Het reduceren van diepe grondwaterwinning zal tot gevolg hebben dat de stijghoogte ter plaatse van de Heuvelrug en de freatische grondwaterstand in de omliggende gebieden toeneemt. Ook de grondwaterstromingsrichting in de directe omgeving van de winningen zal wijzigen. Regionaal worden er geen grote wijzigingen van de grondwaterstromingsrichting verwacht.

#### **3.4.4 Deelgebied 4: de Gelderse Vallei**

##### **Huidige situatie**

De Gelderse Vallei is een gevarieerd gebied: er is sprake van sterke kwel aan de rand van het gebied. In het centrale deel van het gebied is sprake van zwakke kwel. Lokaal zijn er gebieden waar geen kwel aanwezig is, zoals in ontwaterde beeksystemen. De holle waterscheiding wordt gevormd door de Eem (ten noorden van Amersfoort) en het Valleikanaal (ten zuiden van Amersfoort). Deze waterlopen voeren veel kwelwater af, maar kunnen in droge perioden ook water aanvoeren vanuit het Eemmeer en de Nederrijn (naar de Eemvallei, de Gelderse Vallei ten noorden van Amersfoort, en naar een klein deel van de Gelderse Vallei ten zuiden van Amersfoort; een zone tussen Leusden en Woudenberg).

De Gelderse Vallei bestaat voornamelijk uit beekerdgronden (zandgronden). De Vallei wordt afgedekt door een minder goed doorlatende dalopvulling, die te samen met de stuwheuvels is ontstaan. De Vallei bestaat grotendeels uit grasland; alleen op de hogere ruggen komt bouwland voor. Natuurterreinen komen verspreid voor, vaak zijn dit gebieden die vroeger minder geschikt waren voor landbouw.

In deelgebied 4 overheersen het Utrechtse Heuvelrug Systeem en het Veluwe Systeem. De deelsystemen die hier worden aangetroffen zijn het Hoge Veluwe Deelsysteem (nr 8), het Amersfoort deelsysteem (nr 6) en het Woudenberg-Veenendaal deelsysteem (nr 7). Het in de stuwwallen geïnfiltreerde grondwater kwelt hier op en wordt als oppervlaktewater afgevoerd.

##### **Autonome ontwikkeling**

In deelgebied 4 is sprake van een aantal stedelijke uitbreidingen waaronder in Veenendaal en in Amersfoort (Vathorst, Nieuwland). De uitbreidingen hebben geringe consequenties voor het waterpeil. Ook zal de mate van afkoppelen in het nieuwe stedelijk gebied bepalend zijn voor de hoeveelheid neerslag die in de bodem infiltreert.

De locaties Achterveld Nieuw en Woudenberg Nieuw zijn gelegen in deelgebied 4. De mogelijke inrichting van deze winningen zal regionaal gezien leiden tot effecten op de stroming in het met name het Hoge Veluwe deelsysteem.



## 4 MODELLERING HUIDIGE SITUATIE

### 4.1 OPBOUW MODEL

#### 4.1.1 Algemeen

De hydrologische modellering is uitgevoerd met het pakket Triwaco 2.0. Dit is een eindige elementen pakket waarmee de grondwaterstroming in de verzadigde zone wordt gemodelleerd. Het model voor MER VPC-2 is een stationair model en is gecalibreerd voor een langjarig gemiddelde situatie voor de periode 1990 tot en met 1998.

Bij de geohydrologische schematisatie binnen Triwaco worden watervoerende pakketten en slecht doorlatende (scheidende) lagen onderscheiden. In een watervoerend pakket treedt een overwegend horizontale grondwaterstroming op en in een scheidende laag een hoofdzakelijk verticale grondwaterbeweging. Watervoerende pakketten worden beschreven door het doorlaatvermogen ( $kD$ ). Dit is het product van de horizontale doorlatendheid ( $k_H$ ) en de dikte van het pakket ( $D$ ). Waterscheidende of slecht doorlatende lagen worden beschreven door de hydraulische weerstand of  $c$ -waarde, dit is het quotiënt van de dikte van de scheidende laag ( $D$ ) en de verticale doorlatendheid ( $k_V$ ).

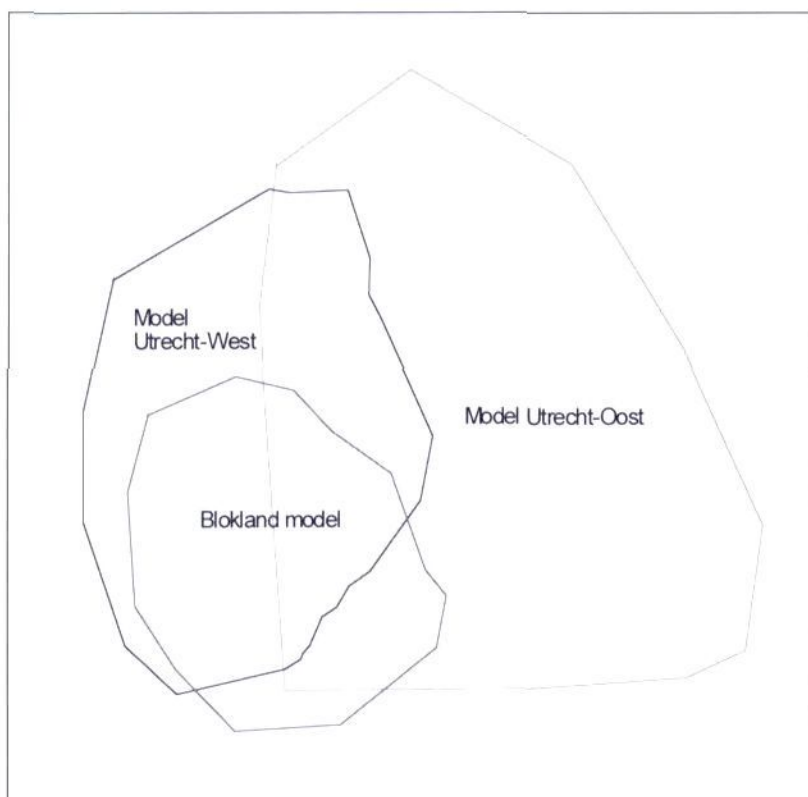
Van het gebied waren reeds modellen binnen Triwaco beschikbaar. Het betreft de regionale modellen Utrecht-Oost en Utrecht-West (Iwaco), en het model Blokland (WMN 1996, thans Hydron). Deze modellen overlappen elkaar deels (zie figuur 4.1) en zijn gecalibreerd voor een gemiddeld hydrologisch jaar (1985). De modellen zijn uitgebreid gecalibreerd en ingezet bij regionale en lokale studies, zoals bij het MER-OEDI en bij de bepaling van de ligging van grondwaterbeschermingsgebieden in de Provincie.

Voor het opstellen van het model voor MER VPC-2 zijn deze drie modellen samengevoegd. De niet-tijdsafhankelijke gegevens zijn daarbij in eerste instantie ongewijzigd gelaten. Het gaat daarbij om geohydrologische parameters zoals weerstanden en doorlaatvermogens. De tijdsafhankelijke data, zoals grondwateraanvulling en stijghoogten op de modelranden, zijn bepaald voor de periode 1990-1998 en ingevoerd in het model.

Voordat de drie afzonderlijke modellen zijn samengevoegd, is een uitgebreide analyse uitgevoerd van de opbouw en invoer van de modellen. Zoals al werd aangenomen bleken er geen aansluitproblemen te zijn bij de modellen Utrecht-West en Utrecht-Oost. Deze modellen zijn met dezelfde doelstelling opgesteld in dezelfde tijdsperiode. Het model Blokland is een latere, door WMN gemaakte uitsnede uit het model Utrecht-West. Het is een op zichzelf staand model en heeft daarom een andere schematisatie dan de modellen Utrecht-West en Utrecht-Oost. Het model Blokland wijkt ten opzichte van het de modellen Utrecht-West en Utrecht-Oost voor een aantal gebieden af voor wat betreft doorlaatvermogens en weerstanden.

In overleg met de opstellers van de modellen Blokland, Utrecht-West en Utrecht-Oost is achterhaald hoe de twee modellen voor wat betreft schematisatie op elkaar aangesloten konden worden. Hierna is een goede aansluiting verkregen.





Figuur 4.1 Modelgebieden Utrecht-Oost, Utrecht-West en Blokland

## 4.1.2 Netwerk

Voor het model is een elementennetwerk gemaakt. Buiten de aandachtsgebieden is een knooppuntafstand van 500 m aangehouden. Ter plaatse van de waterlopen en huidige en toekomstige onttrekkingen zijn verdichtingen aangebracht. De knooppuntafstand verdicht zich bij dergelijke gebieden van 250 m naar 100 m, en dichtbij de winningen naar 25 m. In totaal heeft het model circa 24.000 knopen. Het modelnetwerk is weergegeven in bijlage 1.

## 4.1.3 Scheidende lagen

Het model voor MER VPC-2 is geschematiseerd met vier watervoerende pakketten en drie scheidende lagen. Het bovenste watervoerende pakket wordt in een groot deel van het modelgebied afgedekt door een slecht doorlatende deklaag. In de overige gebieden, met name op de Heuvelrug, is het eerste watervoerend pakket freatisch. De eerste scheidende laag wordt gevormd door de Eem Formatie en komt alleen voor in de Gelderse Vallei. De tweede scheidende laag wordt in het westelijk deel van het modelgebied gevormd door de Formatie van Kedichem. Deze is ter hoogte van de Utrechtse Heuvelrug afwezig. Ter plaatse van de Gelderse Vallei wordt de tweede scheidende laag gevormd door de klei- en leemafzettingen van de Formatie van Drente. De derde scheidende laag wordt gevormd door afzettingen die behoren tot de Formatie van Tegelen. In tabel 4.1 zijn de scheidende lagen weergegeven inclusief de hydraulische weerstand van de lagen na calibratie van het model.

4.1.4 Watervoerende pakketten

In tabel 4.2 is per watervoerende laag het doorlaatvermogen weergegeven. Voor het eerste, tweede en derde watervoerend pakket is bij de modellering onderscheid gemaakt in de doorlatendheid in de x- en y-richting. Dit verschil in doorlatendheid in verschillende richtingen, veroorzaakt door de scheefstelling van lagen, wordt nader toegelicht in § 4.1.6.

Tabel 4.1 Scheidende lagen

| Laag               | Formatie         | Weerstand (d) |
|--------------------|------------------|---------------|
| deklaag            | betuwe/Westland  | 0 – 5.000     |
| 1e scheidende laag | Eem              | 0 – 100.000   |
| 2e scheidende laag | Kedichem/Drenthe | 0 – 125.000   |
| 3e scheidende laag | Tegelen          | 100 – 3.000   |

Tabel 4.2 Watervoerende pakketten

| Laag  | Formatie               | kD (m²/d)   |
|-------|------------------------|-------------|
| WVP 1 | Twente, Kreftenheye    | 150 – 1.750 |
| WVP 2 | Drenthe, Urk, Sterksel | 300 – 4.000 |
| WVP 3 | Harderwijk             | 400 – 9.500 |
| WVP 4 | Maassluis              | 300 – 1.800 |

4.1.5 Topsysteem

Binnen het modelgebied vallen voor wat betreft het topsysteem twee gebieden te onderscheiden. Ten eerste het hoge Heuvelruggebied, zonder oppervlaktewater en zonder deklaag. Ten tweede het lager gelegen rivierengebied, waarin meer of mindere mate een intensief ontwateringstelsel van sloten voorkomt. Ook bevinden zich in dat gebied rivieren die insnijden in het watervoerend pakket, en is in een groot deel van het gebied een deklaag aanwezig.

Het topsysteem is gemodelleerd met vijf parameters, namelijk:

- weerstand van de deklaag (dagen);
- drainageweerstand (dagen);
- infiltratieweerstand (dagen);
- drainagebasis (m ten opzichte van NAP);
- grondwateraanvulling (m/d).

Met deze parameters wordt de invloed van het oppervlaktewater op het grondwater gemodelleerd. De weerstand van de deklaag, drainageweerstand en infiltratieweerstand zijn overgenomen uit de modellen Utrecht-West, Utrecht-Oost en Blokland. Deze parameters zijn niet-tijdafhankelijk en zijn daarom ongewijzigd gelaten.

De waarden die voor de drainagebasis zijn opgenomen in de modellen Utrecht-West, Utrecht-Oost en Blokland zijn geactualiseerd aan de hand van gegevens die zijn verkregen van Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, Waterschap Amstel, Gooi en Vecht en Waterschap Vallei en Eem. Bij deze instanties zijn de meest recente polderpeilenkaarten opgevraagd en ingevoerd in het model.

Grondwateraanvulling is gedefinieerd als de netto hoeveelheid neerslag die het grondwater bereikt. Bij de bepaling van de grondwateraanvulling wordt normaal gesproken de hoeveelheid evapotranspiratie afgetrokken van de hoeveelheid neerslag.

Voor bepaling van de grondwateraanvulling is gebruik gemaakt van de neerslag- en verdampingsgegevens van de

periode januari 1990 tot en met december 1998. De gemiddelde neerslag over deze periode bedroeg 878 mm/jaar. De gemiddelde referentiegewasverdamping volgens Makkink bedroeg over deze periode 547 mm/jaar (zie tabel 4.3). De potentiële grondwateraanvulling (neerslag minus verdamping, onafhankelijk van het type gewas) bedraagt daarvoor 331 mm/jaar.

Bij dit onderzoek zijn voor het modelgebied zes karakteristieke typen landgebruik onderscheiden: grasland, akkerland, naaldbos, loofbos, stedelijk gebied en open water. Het landgebruik is bepaald uit de LGN3 (Landgebruikskaat van Nederland, 1998). Het landgebruik is aan het model toegekend door aan elke modelknoop het type landgebruik toe te wijzen dat het meest voorkomt binnen het invloedsoppervlak van de knoop.

Tabel 4.3 Jaargemiddelde voor neerslag en verdamping in de periode 1990 t/m1998 (Bron: KNMI, Neerslagstation De Bilt)

| Jaar      | Neerslag (mm/jaar) | Referentiegewasverdamping volgens<br>Makkink (mm/jaar) |
|-----------|--------------------|--------------------------------------------------------|
| 1990      | 764                | 583                                                    |
| 1991      | 716                | 538                                                    |
| 1992      | 957                | 579                                                    |
| 1993      | 929                | 517                                                    |
| 1994      | 1036               | 540                                                    |
| 1995      | 798                | 590                                                    |
| 1996      | 614                | 523                                                    |
| 1997      | 786                | 561                                                    |
| 1998      | 1307               | 492                                                    |
| gemiddeld | 878                | 547                                                    |

Voor elk type landgebruik is de initiële grondwateraanvulling bepaald op basis van gewasfactoren (Meinardi, 1994). Voor stedelijk gebied is deze bepaling relatief moeilijk, omdat het meeste oppervlak verhard is en een gedeelte van het neerslagwater direct wordt afgevoerd naar riolering. Voor bepaling van de grondwateraanvulling in het stedelijk gebied is daarom uitgegaan van de methode die is beschreven in Gehrels (1999). Tabel 4.4 geeft de grondwateraanvulling per landgebruikstype en het percentage oppervlak van elk landgebruikstype in het modelgebied.

De gemiddelde voor de grondwateraanvulling voor het modelgebied, gewogen naar het oppervlak per landgebruikstype, bedraagt circa 307 mm/jaar (0,84 mm/d).

Tabel 4.4 Grondwateraanvulling stationaire model, periode 1990-1998

| Landgebruik      | Oppervlak in modelgebied (%) | Grondwateraanvulling (mm/j) |
|------------------|------------------------------|-----------------------------|
| gras             | 58                           | 331                         |
| akker            | 7                            | 413                         |
| stedelijk gebied | 18                           | 222                         |
| open water       | 7                            | 302                         |
| loofbos          | 6                            | 305                         |
| naaldbos         | 3                            | 215                         |



#### **4.1.6 Anisotropie**

Doordat ter plaatse van de Heuvelrug gestuwde afzettingen voorkomen is het doorlaatvermogen niet in alle richtingen gelijk. Deze anisotropie is ingevoerd in het model. De anisotropie is gedefinieerd met een verschillende k-waarde in de stuwings- en de strekkingsrichting en de hoek van de stuwingsrichting.

Hierbij is de k-waarde in de stuwingsrichting een factor 2 tot 5 kleiner dan in de strekkingsrichting (Iwaco, 1996).

De verbreiding van het voorkomen van anisotropie is bij het opstellen van het gebiedsdekkende model overgenomen uit de modellen Utrecht-West en Utrecht-Oost.

#### **4.1.7 Onttrekkingen**

Voor de onttrekkingen in het modelgebied zijn de gemiddelde debieten bepaald voor de periode 1990 t/m 1998. Hiervoor zijn bij de provincies Utrecht, Noord-Holland, Zuid-Holland, Gelderland en Flevoland de gegevens omtrent de onttrekkingen opgevraagd (debieten, ligging en diepteniveaus winningen). In totaal gaat het om 865 locaties. De winningen van Hydron Midden-Nederland zijn nog eens apart weergegeven in tabel 4.5.

#### **4.1.8 Randvoorwaarden**

De waarde van vaste stijghoogten op de modelranden zijn deels gebaseerd op meetgegevens ter plaatse van de modelranden en deels gebaseerd op de berekende gemiddelde standen van de oorspronkelijke modellen Utrecht Oost en Utrecht West. De waarden voor de randstijghoogtes in de bestaande modellen Utrecht Oost en Utrecht West zijn gemiddeld 0,10 m lager dan wat is berekend op basis van gemiddelde gemeten standen voor de periode 1990 t/m 1998. De randstijghoogtes uit de bestaande modellen zijn overgenomen en gecompenseerd voor deze hogere gemiddelde stand tijdens de calibratieperiode. Afwijkende stijghoogtepatronen ter plaatse van de randen ten opzichte van eerder berekende stijghoogtepatronen, als gevolg van een nieuwe interpolatie vanuit gemeten standen, worden hierdoor voorkomen.

Tabel 4.5 Onttrekkingsdebieten winningen Hydron Midden-Nederland

| Locatie                      | Gemiddeld onttrekkingsdebiet (m³/j) voor de periode 1990 t/m 1998 |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Amersfoort Berg              | 3,03                                                              |
| Amersfoort Hogeweg           | 4,09                                                              |
| Baarn                        | 0,75                                                              |
| Beerschoten                  | 7,52                                                              |
| Bilthoven                    | 1,81                                                              |
| Bunnik                       | 1,27                                                              |
| Cothen                       | 1,66                                                              |
| De Meern                     | 1,81                                                              |
| Driebergen                   | 1,09                                                              |
| Groenekan                    | 7,38                                                              |
| Nieuwegein (vh. IJsselstein) | 2,13                                                              |
| Lage Vuursche                | 0,00                                                              |
| Laren                        | 5,63                                                              |
| Leersum                      | 0,75                                                              |
| Linschoten                   | 9,29                                                              |
| Loosdrecht                   | 3,38                                                              |
| Lopik                        | 0,64                                                              |
| Montfoort                    | 0,32                                                              |
| Rhenen                       | 1,41                                                              |
| Soest                        | 0,88                                                              |
| Soestduinen                  | 9,68                                                              |
| Tull & 't Waal               | 5,18                                                              |
| Veenendaal                   | 3,19                                                              |
| Woudenberg                   | 1,79                                                              |
| Zeist                        | 4,44                                                              |

## 4.2 CALIBRATIE

### 4.2.1 Algemeen

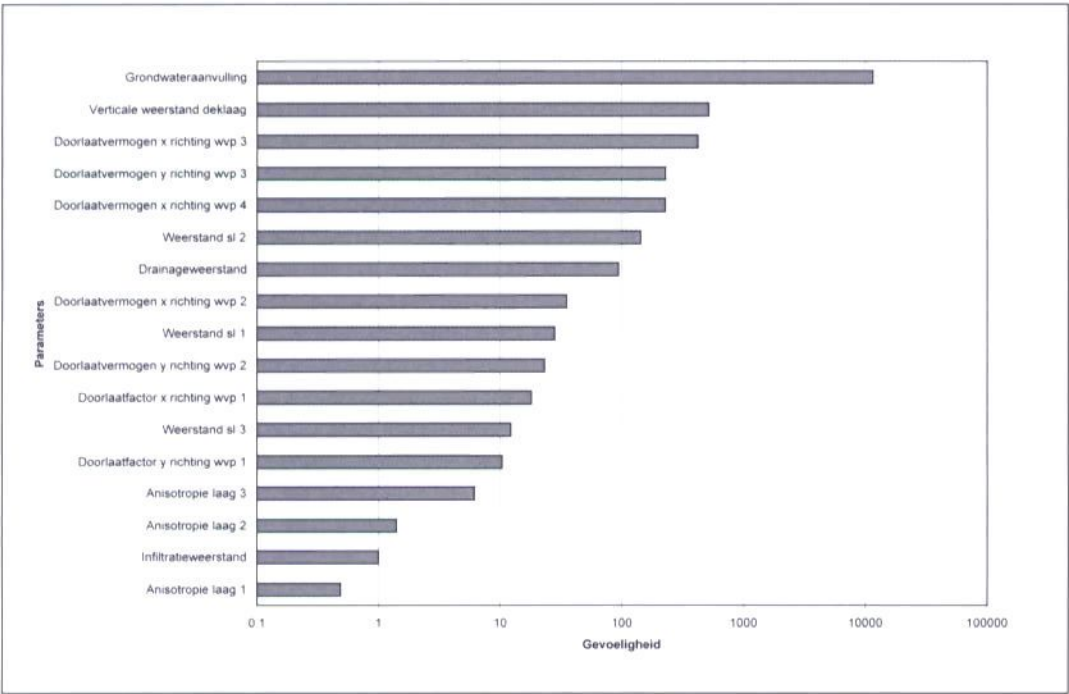
Om te komen tot een betrouwbaar model is de calibratie mede uitgevoerd met behulp van het programma voor automatische parameteroptimalisatie TriCal. De ervaring leert dat voor een succesvolle optimalisatie de keuze van calibratieparameters van groot belang is. Derhalve is eerst een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Vervolgens is het model regionaal gecalibreerd. Het uitgangspunt bij de calibratie was dat het resultaat minimaal even goed moest zijn als het calibratieresultaat van de oorspronkelijke modellen.

Het model is gecalibreerd aan de hand van gemeten stijghoogten van de periode 1990 tot 1998. Van het gebied zijn geen gemeten fluxen over modelranden beschikbaar. Dit betekent dat niet voldoende nauwkeurig op een waterbalans kan worden gecalibreerd. Bij de calibratie is gebruik gemaakt van peilbuizen binnen het modelgebied op een afstand van minimaal 1 km van de modelrand.

Alle waarnemingsfilters met minder twaalf waarnemingen per jaar, alle filters waarvan de diepte niet bekend is en alle filters waarmee respectievelijk begonnen of gestopt is met meten na 1990 of voor 1999 zijn buiten beschouwing gelaten. In totaal levert dit 581 waarnemingsfilters op.

4.2.2 Gevoeligheidsanalyse

Met het programma TrCalCon is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de meeste modelparameters. De randvoorwaarden zoals randstijghoogte, onttrekkingen, peilen in waterlopen en de drainagebasis zijn niet meegenomen, omdat deze of niet reëel relevant, of voldoende nauwkeurig bekend zijn. In figuur 4.2 zijn de parameters op volgorde van gevoeligheid (logaritmische schaal) weergegeven.



Figuur 4.2 Gevoeligheid modelparameters

Uit figuur 4.2 kan worden opgemaakt dat de grondwateraanvulling de meest gevoelige parameter is (meer dan tienmaal gevoeliger dan de verticale weerstand van de deklaag). Vervolgens zijn ook de weerstand van de deklaag en het doorlaatvermogen van het derde en vierde watervoerend pakket gevoelige parameters. Anisotropie en infiltratieweerstand zijn de minst gevoelige parameters.

4.2.3 Calibratieresultaat

Het calibratieresultaat is, in navolging van eerdere modelleringen, gebaseerd op een vergelijking tussen gemeten en berekende grondwaterstanden en stijghoogten. Bij de vergelijking wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde fout en de gemiddeld absolute fout.



De gemiddelde fout is gedefinieerd als het gemiddelde verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten.

$$\overline{\Delta H} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n (H_{\text{gemeten}(n)} - H_{\text{berekend}(n)})$$

met:  $\overline{\Delta H}$  = gemiddelde afwijking tussen berekende en  
gemeten stijghoogte (m)  
 $H_{\text{gemeten}(n)}$  = gemeten stijghoogte ter plaatse van meting  $n$  (m)  
 $H_{\text{berekend}(n)}$  = berekende stijghoogte ter plaatse van meting  $n$  (m)

Bij het gemiddelde verschil worden te laag berekende stijghoogten 'weggemiddeld' met te hoog berekende stijghoogten. Dit is niet het geval bij de gemiddelde absolute afwijking, welke is gedefinieerd als het gemiddelde absolute verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten.

$$\overline{\Delta H}_{\text{abs}} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n |H_{\text{gemeten}(n)} - H_{\text{berekend}(n)}|$$

met:  $\overline{\Delta H}_{\text{abs}}$  = gemiddelde absolute afwijking tussen  
berekende en gemeten stijghoogte (m)  
 $|H_{\text{gemeten}(n)} - H_{\text{berekend}(n)}|$  = absolute verschil tussen berekende  
en gemeten stijghoogte (m)

Na de eerste calibratiestap werd een gemiddelde fout bereikt van 0,03 m en een gemiddeld absolute fout van 0,32 m. Omdat een beter resultaat als uitgangspunt is gesteld, is vervolgens een serie van circa vijftien calibratiestappen uitgevoerd. Bij calibratie zijn onder meer de volgende zaken verbeterd:

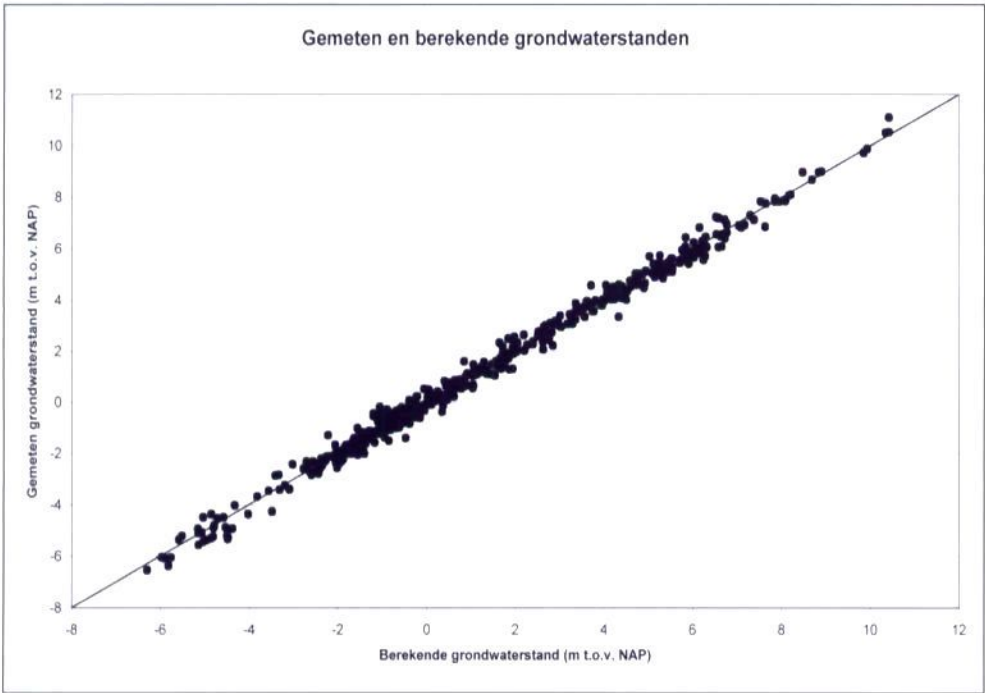
- de infiltratie- en drainageweerstand zoals die oorspronkelijk was opgenomen op de Heuvelrug. Deze zorgde in eerste instantie voor (veel) te hoge grondwaterstanden op de Heuvelrug;
- het gebied tussen de Heuvelrug en de Langbroekerwetering. Hier werden in eerste instantie te lage grondwaterstanden berekend in de ondiepe lagen;
- voor het gebied op de Heuvelrug globaal tussen Zeist, Den Dolder en Soestduinen werden eerst te lage stijghoogten berekend. Dit had te maken met het doorlaatvermogen van het derde en vierde watervoerend pakket;
- in het gebied globaal tussen Tull en 't Waal, Nieuwegein en De Meern zijn initiële te hoog berekende grondwaterstanden in het derde watervoerend pakket aangepast door de weerstand van de tweede scheidende laag te verhogen. Dit is gebeurd naar aanleiding van de inbreng van gebiedskennis vanuit Hydron.

Na calibratie bedraagt de gemiddelde fout 0,00 m en de gemiddeld absolute fout 0,21 m. In de oorspronkelijke modellen Utrecht-West en Utrecht-Oost bedroegen deze fouten respectievelijk 0,03 en 0,30 m. In tabel 4.6 zijn de calibratieresultaten per modellaag weergegeven.

Tabel 4.6 Calibratieresultaten per modellaag

| Modellaag    | Aantal waarnemingen | Gemiddelde fout (m) | Gemiddeld absolute fout (m) |
|--------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| topsysteem   | 46                  | 0,05                | 0,23                        |
| WVP 1        | 165                 | 0,00                | 0,23                        |
| WVP 2        | 222                 | 0,01                | 0,19                        |
| WVP 3        | 138                 | -0,02               | 0,22                        |
| WVP 4        | 10                  | 0,14                | 0,17                        |
| totaal model | 581                 | 0,00                | 0,21                        |

In figuur 4.3 is voor alle peilbuizen de gemeten tegen de berekende waarde uitgezet.



Figuur 4.3 Gemeten en berekende grondwaterstanden

Na calibratie van het model is geverifieerd in hoeverre de berekende kwel/infiltratiesituatie naar het topsysteem overeenkomt met bestaande interpretaties van de kwel/infiltratiesituatie. Hiervoor is onder meer vergeleken met de kwel/infiltratiesituaties zoals die worden weergegeven in het Grondwaterplan (provincie Utrecht, 1987 en 1994) en de Grondwaterkaart (TNO, 1978). Het met het model berekende kwel/infiltratiepatroon komt goed overeen met de patronen zoals weergegeven in deze publicaties.

Ter verificatie zijn ook gegevens opgevraagd bij de provincie Utrecht omtrent het voorkomen van kwelafhankelijke vegetatie in het modelgebied. Het voorkomen van kwelindicatoren is, op kilometerhok niveau, bekend bij de Provincie. De kwelindicatoren zijn ruimtelijk uitgezet en vergeleken met de door het model berekende voorkomen van kwel. Hieruit blijkt een goede overeenkomst tussen berekende kwelgebieden en kwelafhankelijke vegetatie: vrijwel alle kwelindicatoren zijn gelegen in de berekende kwelgebieden.

In bijlage 2 zijn de afwijkingen tussen gemeten en berekende standen ruimtelijk uitgezet. Ook zijn hierin de berekende isohypsen opgenomen. De isohypsenpatronen die hieruit naar voren komen, zijn in overeenstemming met

andere onderzoeken (Provincie Utrecht, 1987, TNO, 1978 en Iwaco, 1996 en 1998). Duidelijk zichtbaar zijn de hogere grondwaterstanden op de Heuvelrug en de stroming van grondwater naar de lager gelegen gebieden ten westen van de Heuvelrug en in de Gelderse Vallei. In bijlage 3 zijn kaarten weergegeven met doorlaatvermogens en weerstanden, zoals die na calibratie in het model zijn opgenomen.

---

### 4.3 CONCLUSIES

Het model voor de huidige situatie is zodanig gecalibreerd, dat geconcludeerd wordt dat het model de grondwaterstroming op een correcte manier beschrijft. De resultaten zijn enigszins verbeterd ten opzichte van de eerdere modellen. Bij de calibratie is een gemiddelde fout bereikt van 0,00 m en een gemiddeld absolute fout van 0,21 m. Verder komt de berekende kwel/infiltratiesituatie goed overeen met bestaande gegevens.

Voor de gebieden waarin de locaties van alternatieven gelegen zijn, is de gemiddeld absolute modelfout nog lager, respectievelijk 0,18 m voor het gebied van Achterveld/Woudenberg en 0,19 m voor het gebied van Lopik, Boveneind, Blokland, Heeswijk, Schalkwijk en Nieuwegein. In vergelijking met andere onderzoeken is dit een goed resultaat.

Het model is daarmee geschikt voor het uitvoeren van berekeningen omtrent de autonome ontwikkeling en alternatieven voor MER VPC-2.

De niet-tijdafhankelijke parameters die in het gecalibreerde model zijn opgenomen, kunnen worden overgenomen in het model voor de autonome situatie en alternatieven.



## 5 AUTONOME ONTWIKKELING EN REFERENTIESITUATIE

### 5.1 INLEIDING

In hoofdstuk 3 is reeds voor de grondwatersystemen in grote lijnen aangegeven welke aspecten met betrekking tot de autonome ontwikkeling verwacht worden. De autonome ontwikkeling wordt bij de modellering samengevat in een referentiesituatie. De elf alternatieven worden vervolgens gewogen ten opzichte van de referentiesituatie. In dit hoofdstuk worden enkele uitgangspunten voor de referentiesituatie nader gespecificeerd.

### 5.2 GRONDWATERONTTREKKINGEN

Van de pompstations van Hydron is een overzicht verkregen van de toekomstige onttrekkingsdebieten. Naast het feit dat op de Heuvelrug een reductie plaatsvindt, behoren ook een aantal andere ontwikkelingen tot de referentiesituatie. In tabel 5.1 is per pompstation een overzicht gegeven van de toekomstige onttrekkingsdebieten.

Uit tabel 5.1 kunnen de volgende zaken worden opgemaakt:

- er is een tweetal nieuwe pompstations gepland. Amersfoort Koedijkerweg wordt aangelegd en pompstation Leidsche Rijn was al reeds langer gepland in verband met stedelijke uitbreiding in het gebied;
- de pompstations Baarn, Lage Vuursche, Soest en Amersfoort Hogeweg worden gesloten in verband met het afgesproken reductiescenario voor de Utrechtse Heuvelrug;
- pompstation Groenekan is gereduceerd van 10,0 naar 7,5 Mm<sup>3</sup>/jr;
- pompstation Amersfoort Berg is gereduceerd van 3,0 Mm<sup>3</sup>/jr naar 1,5 Mm<sup>3</sup>/jr;
- pompstation Montfoort wordt gesloten, om bedrijfstechnische redenen;
- voor de overige pompstations kan voor de referentiesituatie worden uitgegaan van een onttrekkingsdebiet volgens vergunningsniveau.

Voor de referentiesituatie is er verder van uitgegaan dat tijdelijke onttrekkingen (bouwputbemalingen en grondwater-saneringen) niet relevant zijn. Omdat permanente industriële onttrekkingen een relatief hoog debiet kunnen hebben en van invloed zijn op de grondwaterstroming, zijn deze in het model voor de referentiesituatie gehandhaafd.

### 5.3 TOPSYSTEEM

Voor het topsysteem zijn drie parameters voor de referentiesituatie van belang. Het gaat om de drainagebasis (polderpeil), de grondwateraanvulling en de peilen in rivieren en kanalen. Met name mogelijke veranderingen in polderpeil zijn van belang, omdat deze een relatief sterk lokale beïnvloeding kunnen hebben op de freatische grondwaterstand en kwel-fluxverandering. Het is echter zo dat de polderpeilen voor de referentiesituatie gelijk zijn gehouden aan de polderpeilen in de huidige situatie, omdat uit navraag bij de waterschappen is gebleken dat er vooralsnog geen belangrijke wijzigingen in polderpeilen voorgenomen zijn.

Tabel 5.1 Onttrekkingsdebieten pompstations Hydron toekomstige situatie

| Pompstation                                         | Vergunningscapaciteit conform autonome ontwikkeling (Mm³/jr) | Verdeling over watervoerende pakketten (%) |       |       |       |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                                     |                                                              | WVP 1                                      | WVP 2 | WVP 3 | WVP 4 |
| Amersfoort Berg                                     | 1,5                                                          | 100                                        |       |       |       |
| Amersfoort Hogeweg                                  | 0,0                                                          |                                            | 50    | 50    |       |
| Amersfoort Koedijkerweg (nieuw, i.v.m. ROL project) | 1,5                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Baarn                                               | 0,0                                                          |                                            | 100   |       |       |
| Beerschoten                                         | 8,0                                                          |                                            |       | 70    | 30    |
| Bilthoven                                           | 2,0                                                          |                                            | 50    | 50    |       |
| Bunnik                                              | 3,5                                                          |                                            |       | 80    | 20    |
| Cothen                                              | 3,0                                                          |                                            |       | 100   |       |
| De Meern                                            | 1,9                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Driebergen                                          | 0,9                                                          |                                            | 70    | 30    |       |
| Eemdijk                                             | 5,0                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Groenekan                                           | 7,5                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Lage Vuursche                                       | 0,0                                                          |                                            |       |       |       |
| Laren                                               | 2,0                                                          | 100                                        |       |       |       |
| Leersum                                             | 0,8                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Leidsche Rijn (nieuw)                               | 5,0                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Linschoten                                          | 10,0                                                         |                                            |       | 75    | 25    |
| Loosdrecht (provincie Noord-Holland)                | 3,7                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Lopik                                               | 0,7                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Montfoort                                           | 0,0                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Nieuwegein (voorheen IJsselstein genoemd)           | 2,5                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Rhenen ("Lijstereng")                               | 2,0                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Soest                                               | 0,0                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Soestduinen                                         | 9,0                                                          |                                            | 100   |       |       |
| Tull en 't Waal                                     | 6,0                                                          |                                            |       | 65    | 35    |
| Veenendaal                                          | 3,0                                                          |                                            |       | 5     | 95    |
| Woudenberg                                          | 1,4                                                          |                                            |       | 100   |       |
| Zeist                                               | 5,0                                                          |                                            |       | 100   |       |
| De Laak                                             | 12,0                                                         |                                            |       | 90    | 10    |
| Kamerik (" De Hoge Boom")                           | 3,0                                                          | 50                                         | 50    |       |       |
| Vianen ("Hofplein")                                 | 0,8                                                          |                                            |       | 100   |       |
| De Steeg diep                                       | 6,0                                                          |                                            |       | 100   |       |
| De Steeg ondiep                                     | 5,0                                                          | 100                                        |       |       |       |

Voor de referentiesituatie is geen rekening gehouden met een eventuele wijziging in de grondwateraanvulling, als gevolg van mogelijke veranderingen in neerslag en verdamping door klimaatsveranderingen.

Hiervoor is gekozen omdat er nog geen eenduidige kwantificering van neerslag en verdamping door klimaatsverandering is vastgesteld. Het KNMI zegt hierover:

"Er is een redelijke verwachting dat de winterneerslag in Noord-Europa met 5 tot 20% zal toenemen. Deze toename zal zich vooral in Scandinavië manifesteren, maar ook voor lagere breedtegraden laten de meeste klimaatprojecties een toename van de neerslag in de wintermaanden zien. In de zomer zal de neerslag in Noord-Europa enigszins toe of afnemen, afhankelijk van onder meer het gekozen emissiescenario."

Door verdergaande verstedelijking van het gebied kan grondwateraanvulling in absolute zin afnemen, indien er vanuit gegaan wordt dat meer verhard oppervlak leidt tot een grotere directe afvoer van water naar een rioleringsstelsel. Aan de andere kant is het beleid er op gericht om in stedelijke gebieden meer water te infiltreren in plaats van af te voeren. Hoe de mate van grondwateraanvulling in stedelijk gebied zich in de toekomst zal ontwikkelen, is dus lastig te voorspellen. Net als voor een wijziging van grondwateraanvulling als gevolg van klimaatsverandering, is er voor gekozen om niet te gaan speculeren over de mate waarin grondwateraanvulling verandert. Gezien het feit dat er voor het MER verschilberekeningen worden gedaan ten opzichte van de referentiesituatie, is de absolute mate van aanvulling ook niet relevant.

Voor de modellering van de autonome ontwikkeling wordt ervan uitgegaan dat ook de rivieren en kanalen in het gebied hetzelfde peil houden als in de huidige situatie. Het mag echter verwacht worden dat de peilen stijgen in de toekomst als gevolg van een klimaatverandering. Vooralsnog zijn geen besluiten bekend omtrent de mate van stijging van peilen.



## 6 MODELLERING ALTERNATIEVEN

### 6.1 INLEIDING

Het model voor de huidige situatie (hoofdstuk 4) is omgezet naar een model voor de referentiesituatie, door de autonome ontwikkeling voor tijdsafhankelijke parameters in te bouwen (zie hoofdstuk 5). In het kort betekent dit dat:

- de pompstations van Hydron voor wat betreft onttrekkingsdebiet en verdeling over watervoerende pakketten, zijn ingevoerd volgens tabel 5.1;
- tijdelijke onttrekkingen (bouwputbemalingen en grondwatersaneringen) zijn verwijderd. Het totaal van 865 locaties waar grondwater onttrokken wordt (zie paragraaf 4.1.7) is daardoor afgenomen naar 272 locaties;
- grondwateraanvulling, polderpeilen en waterpeilen in rivieren en kanalen gelijk zijn verondersteld aan de huidige situatie.

Voor de nieuwe locaties is de voorlopige ligging aangegeven in tabel 6.1. De wijziging in het aantal grondwateronttrekkingen en de ligging van enkele nieuwe onttrekkingen, hebben geleid tot de opbouw van een nieuw modelnetwerk. Dit netwerk is weergegeven in bijlage 4. De knooppuntafstand bedraagt ook bij het model voor de alternatieven buiten de aandachtsgebieden 500 m. In de aandachtsgebieden, dus tussen Nieuwegein, Montfoort en Lopik, bij Achterveld, Woudenberg en Schalkwijk, is de knooppuntafstand verlaagd naar 100 m. Bij onttrekkingen neemt de knooppuntafstand af naar 25 m.

Vervolgens is het model doorerekend voor de referentiesituatie. De resultaten van deze modelberekening vormt de basis voor vergelijking van de elf alternatieven.

### 6.2 VERLAGING FREATISCHE GRONDWATERSTAND

Voor de elf alternatieven zijn de verlagingen van de freatische grondwaterstand berekend, die als gevolg van eventuele winning zal optreden. Voor de analyses omtrent bijvoorbeeld ecologie, is de verlagingsslijn van 5 cm ten opzichte van de referentiesituatie als maatgevend genomen.

In bijlage 5 zijn voor elk alternatief de berekeningsresultaten weergegeven. Wat het meest opvalt is het feit dat met name in de uiterwaarden van de Lek en Hollandsche IJssel verlagingen van 5 cm of meer worden berekend. Dit kan worden verklaard uit het feit dat in de uiterwaarden over het algemeen een lagere weerstand voor de deklaag wordt aangetroffen, door het voorkomen van zandige rivierbeddingen en (deels begraven) stroomruggen. Doordat de deklaag op dergelijke plaatsen meer is opgebouwd uit zandige dan uit kleiige en venige afzettingen, is de hydraulische weerstand lager. Verlagingen van de grondwaterstand als gevolg van een onttrekking zullen in die gebieden groter zijn dan in gebieden waar wel een goed ontwikkelde deklaag van klei en veen voorkomt.

De maximale verlaging van de freatische grondwaterstand bedraagt 12 cm bij alternatief 8. In tabel 6.1 zijn de maximale berekende verlagingen weergegeven.

Tabel 6.1 Maximale verlagingen freatische grondwaterstand

| Alternatief | Maximale verlaging freatische grondwaterstand (m) |
|-------------|---------------------------------------------------|
| 1           | 0,06                                              |
| 2           | 0,06                                              |
| 3           | 0,06                                              |
| 4           | 0,06                                              |
| 5           | 0,10                                              |
| 6           | 0,10                                              |
| 7           | 0,10                                              |
| 8           | 0,12                                              |
| 9           | 0,10                                              |
| 10          | 0,06                                              |
| 11          | 0,06                                              |

6.3 VERANDERINGEN KWEL/WEGZIJGINGSFLUX

Met het model is de ligging van gebieden bepaald, waar een verandering van de kwel/wegzijgingsflux vanuit het water-voerend pakket naar de deklaag met 0,1 mm/d optreedt. In bijlage 6 zijn de berekeningsresultaten weergegeven. Er is een onderscheid gemaakt in gebieden waar de kwelflux afneemt met meer dan 0,1 mm/d, en gebieden waar de infil-tratieflux toeneemt met meer dan 0,1 mm/d. Gebieden waar voor een gemiddelde, stationaire situatie omslag van kwel naar infiltratie plaatsvindt, zijn opgenomen binnen de contouren van kwelfluxverandering. Uit een grove beschouwing van de modelresultaten komt naar voren dat dit slechts op enkele plaatsen voorkomt.

Uit de resultaten komt naar voren dat in de poldergebieden een aantal polders voorkomt waar in de referentiesituatie infiltratie plaatsvindt (in geringe mate), omdat de freatische grondwaterstand hoger is dan de stijghoogte in de diepere pakketten. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de polder ten noorden van Blokland. Met name bij de alternatieven 3, 7 en 8 kan worden waargenomen dat deze infiltratiesituatie door diepe winning versterkt zal worden. Bij de alterna-tieven 7 en 8 is zichtbaar dat in een relatief groot gebied rondom de winning Boveneind een kwelfluxafname optreedt.

6.4 VERANDERING WATERBALANS

Voor de gebieden waar als hoofd- of nevenfunctie natuur is toegekend, is met het model bepaald of er een verandering in een van de waterbalansposten van 10% optreedt. Specifiek gaat het om de gebieden die door de provincie Utrecht zijn gedefinieerd als:

- natuur;
- landbouw met waternatuur;
- verweving natuur en landbouw.

In de directe omgeving van de (potentiële) pompstations gaat het om circa 8.000 ha natuurgebied. In bijlage 7 is de ligging van deze gebieden weergegeven.

In tabel 6.2 is per alternatief aangegeven bij welke oppervlakte aan natuurgebied een waterbalanspostverandering van 10% wordt berekend. Het moet bedacht worden dat bij deze analyse de kwel/wegzijgingsflux de bepalende waterba-lanspost is, omdat het ingestelde oppervlaktewaterpeil en de grondwateraanvulling voor een gemiddelde stationaire situatie als constant worden aangenomen. Alleen de kwel/wegzijgingsflux zal dus als gevolg van een mogelijke onttrekking veranderen. Dit heeft tot gevolg dat er relatief grote oppervlakken kunnen ontstaan waar het criterium



van 10% verandering wordt overschreden. Dit is het geval bij gebieden waar de kwel / wegzijgingsflux in absolute zin klein is in verhouding tot de totale waterbalans van een natuurgebied (zie kader).

Als voorbeeld kan worden genoemd dat er een relatief klein natuurgebied is, waar voor de referentiesituatie een kwelflux van 40 m<sup>3</sup>/d en een neerslag van 1000 m<sup>3</sup>/d wordt berekend. Een afname van de kwelflux met 4 m<sup>3</sup>/d, betekent dat er een verandering van deze waterbalanspost van 10% optreedt. Dit is een kleine absolute verandering in verhouding met bijvoorbeeld de neerslagpost. In de praktijk kunnen dergelijke veranderingen door natuurlijke of antropogene beïnvloeding (hogere neerslag in voorjaarsituatie of peilopzet in de zomerperiode) worden gereduceerd zonder dat het natuurschade veroorzaakt.

**Tabel 6.2 Oppervlak natuurgebied (totaal en gespecificeerd) met berekende verandering > 10%**

| Alternatief | Natuur (ha) | Landbouw met<br>waternatuur (ha) | Verweving natuur<br>en landbouw (ha) | Totaal natuurgebied<br>met verandering > 10% (ha) |
|-------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1           | 423         | 799                              | 312                                  | 1.534                                             |
| 2           | 583         | 611                              | 312                                  | 1.506                                             |
| 3           | 695         | 635                              | 0                                    | 1.330                                             |
| 4           | 559         | 799                              | 0                                    | 1.358                                             |
| 5           | 303         | 587                              | 312                                  | 1.202                                             |
| 6           | 285         | 1.016                            | 0                                    | 1.291                                             |
| 7           | 270         | 2.222                            | 0                                    | 2.492                                             |
| 8           | 270         | 2.222                            | 0                                    | 2.492                                             |
| 9           | 239         | 1.040                            | 0                                    | 1.279                                             |
| 10          | 549         | 350                              | 756                                  | 1.655                                             |
| 11          | 549         | 350                              | 756                                  | 1.655                                             |

Uit tabel 6.2 kan worden opgemaakt dat bij een aantal alternatieven voor een relatief groot oppervlak aan natuurgebied het criterium wordt overschreden, in verhouding tot oppervlakken aan beïnvloede UNAT's (zie rapport ecologische effectbeschrijving). Hiervoor zijn twee verklaringen.

Ten eerste moet bedacht worden dat een relatief groot oppervlak (enkele honderden hectares) aan gebied bij deze analyse is betrokken, dat is gekarakteriseerd als zijnde landbouw of waterrecreatie met natuur als nevenfunctie. Dit zijn over het algemeen noodzakelijkerwijs gebieden waaraan geen UNAT is toegekend. Een vergelijking van de hier uitgevoerde analyse (tabel 6.2) met de resultaten van de analyse van effecten op UNAT's (zie rapport ecologische effectbeschrijving), kan daardoor niet één-op-één plaatsvinden. Uit tabel 6.2 kan worden opgemaakt dat vooral bij het type landbouw met waternatuur het criterium wordt overschreden.

Ten tweede moet vermeld worden dat de oppervlakte aan beïnvloed UNAT's (zie rapport ecologische effectbeschrijving) niet bepaald is op basis van het criterium van de waterbalanspostverandering van 10%, maar op basis van het verlagingscriterium van 5 cm en de kwel/infiltratiefluxverandering van 0,1 mm/d.

In fase 2 van het MER wordt nader aandacht geschonken aan niet-stationaire effecten (seizoensfluctuaties in de waterbalans, schommelingen in de neerslaghoeveelheid), de ligging en natuurwaarde van de gebieden en de ecologische effecten van een waterbalansverandering.



### 6.5 GRONDWATERBESCHERMINGSGEBIEDEN

voor alle alternatieven is bepaald of al dan niet een grondwaterbeschermingsgebied ingericht dient te worden. Hiertoe zijn stroombaanberekeningen uitgevoerd, waarbij vanuit de toekomstige onttrekking grondwaterdeeltjes stroomopwaarts zijn berekend ("backward tracking"). Bij een freatische winning wordt een grondwaterbeschermingsgebied ingesteld wanneer stroombanen binnen 25 jaar tot de grondwaterspiegel reiken. Bij een winning die plaatsvindt onder een of meer scheidende lagen, wordt een grondwaterbeschermingsgebied ingesteld wanneer stroombanen binnen 25 jaar door de bovenste scheidende laag reiken. Bij de locaties van de elf alternatieven is deze laatste situatie van belang.

Wanneer stroombanen niet door de bovenste scheidende laag reiken binnen een periode van 25 jaar kan worden volstaan met een boringsvrije zone. In onderstaande tabel is per alternatief weergegeven of een grondwaterbeschermingsgebied noodzakelijk is en wat de verwachte minimale straal van de boringsvrije zone zal zijn.

Tabel 6.3 Overzicht noodzaak grondwaterbeschermingsgebieden en boringsvrije zones

| Alternatief | Pompstation | Grondwaterbeschermingsgebied | Boringsvrije zone | Straal boringsvrije zone (m) |
|-------------|-------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
| 1           | Nieuwegein  | Nee*                         | Ja                | 850                          |
|             | Achterveld  | Nee                          | Ja                | 1570                         |
| 2           | Blokland    | Nee                          | Ja                | 1100                         |
|             | Achterveld  | Nee                          | Ja                | 1570                         |
| 3           | Blokland    | Nee                          | Ja                | 1150                         |
|             | Schalkwijk  | Nee                          | Ja                | 1300                         |
| 4           | Nieuwegein  | Nee*                         | Ja                | 850                          |
|             | Schalkwijk  | Nee                          | Ja                | 1500                         |
| 5           | Lopik       | Nee                          | Ja                | 1500                         |
|             | Achterveld  | Nee                          | Ja                | 1570                         |
| 6           | Nieuwegein  | Nee*                         | Ja                | 1250                         |
| 7           | Blokland    | Nee                          | Ja                | 1100                         |
|             | Boveneind   | Nee*                         | Ja                | 700                          |
| 8           | Heeswijk    | Nee                          | Ja                | 700                          |
|             | Boveneind   | Nee*                         | Ja                | 700                          |
| 9           | Lopik       | Nee                          | Ja                | 1500                         |
|             | Nieuwegein  | Nee*                         | Ja                | 1250                         |
| 10          | Woudenberg  | Nee*                         | Ja                | 1650                         |
|             | Blokland    | Nee                          | Ja                | 1100                         |
| 11          | Woudenberg  | Nee*                         | Ja                | 1500                         |
|             | Blokland    | Nee                          | Ja                | 1150                         |

\* mits putten voldoende diep in het betreffende pakket

Uit tabel 6.3 kan worden opgemaakt dat bij een aantal alternatieven een grondwaterbeschermingsgebied noodzakelijk is, als de onttrekkingsputten ondiep in het watervoerend pakket geplaatst zouden worden. Door het zwaartepunt van de winning dieper te leggen, kan in deze gevallen worden voorkomen dat een grondwaterbeschermingsgebied noodzakelijk wordt.

6.6 WINNINGEN VAN DERDEN BINNEN HET INVLOEDSGEBIED VAN DE ONTTREKKING

Voor alle alternatieven is bepaald hoeveel en welke winningen binnen het 0,5 m invloedsgebied van de onttrekking gelegen zijn. De invloedsgebieden zijn per alternatief én per watervoerend pakket bepaald. Tabel 6.4 toont het aantal winningen per alternatief en watervoerend pakket. Uit de tabel kan worden opgemaakt dat alleen bij alternatief 10 en 11 enkele winningen van derden gelegen zijn binnen het 0,5 m invloedsgebied van een mogelijke onttrekking.

Tabel 6.4 Aantal winningen van derden

| Alternatief | Aantal WVP 1 | Aantal WVP 2 | Aantal WVP 3 | Totaal |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------|
| 1           | 0            | 0            | 0            | 0      |
| 2           | 0            | 0            | 0            | 0      |
| 3           | 0            | 0            | 0            | 0      |
| 4           | 0            | 0            | 0            | 0      |
| 5           | 0            | 0            | 0            | 0      |
| 6           | 0            | 0            | 0            | 0      |
| 7           | 0            | 0            | 0            | 0      |
| 8           | 0            | 0            | 0            | 0      |
| 9           | 0            | 0            | 0            | 0      |
| 10          | 0            | 1            | 2            | 3      |
| 11          | 0            | 1            | 3            | 4      |

## 7 CONCLUSIES

Voor MER VPC-2, afweging 11 alternatieven is een grondwatermodel opgesteld, waarmee hydrologische berekeningen voor elf alternatieven zijn uitgevoerd. Het gaat daarbij om:

- de ligging van gebieden waar een verlaging van de freatische grondwaterstand van 5 cm optreedt;
- de ligging van gebieden waar de verandering van de kwel/wegzijgingsflux vanuit het watervoerend pakket naar de deklaag 0,1 mm/d bedraagt;
- de oppervlakte aan gebieden met als hoofd- of nevenfunctie natuur, waar een verandering in een van de waterbalansposten van 10% optreedt.

De berekeningsresultaten zijn op zichzelf geen onderscheidende factor bij de keuze voor een MMA of VA. Wel worden de resultaten als ondersteuning gebruikt bij analyses omtrent bijvoorbeeld ecologie en archeologie.

Uit de berekeningen komt naar voren dat een verlaging van de freatische grondwaterstand zich met name voordoet in gebieden waar de afsluitende deklaag relatief slecht ontwikkeld is. Dit zijn overwegend de uitwaarden langs rivieren. Een verandering van de kwel/wegzijgingsflux treedt voor een aantal alternatieven zowel op in de uiterwaarden als in de poldergebieden. Wanneer wordt gekeken naar de voorgestelde alternatieven, dan hebben met name alternatief 7 en 8 een relatief groot gebied met grondwaterstandverlaging en kwel/wegzijgingsverandering tot gevolg. Ook wordt vooral bij alternatief 7 en 8 een verandering van 10% in de waterbalanspost kwel/wegzijging ter plaatse van natuurgebieden berekend.

Bij geen van de alternatieven is de instelling van een grondwaterbeschermingsgebied noodzakelijk, mits de winning voldoende diep in het geplande watervoerend pakket plaatsvindt. Wel zal bij de locaties een boringsvrije zone ingesteld moeten worden. Alleen bij alternatief 10 en 11 zullen winningen van derden beïnvloed worden.



## LITERATUUR

Gehrels, J. C. (1999). *Groundwater level fluctuations, separation of natural from anthropogenic influences and determination of groundwater recharge in the Veluwe area, The Netherlands*. Amsterdam, juni 1999.

Hydron Midden-Nederland (2001). *Startnotitie MER: diepe grondwaterwinning voor Vervangende Productie Capaciteit (VPC-2)*. Nieuwegein, 18 juli 2001.

Instituut Grondwater en Geo-Energie TNO (1993). *De Landelijke Hydrologische Systeemanalyse, Deelrapport 2 Deelgebied Midden-Nederland*. TNO-rapport OS 93-41, Delft, juni 1993.

Iwaco (1996). *MER OEDI Fase 3, Inrichtingsniveau, Hydrologische modelberekeningen*. Iwaco Vestiging West, Rotterdam, augustus 1996.

Iwaco (1998). *Responskarakteristieken en volumestromen van drinkwaterwinningen in de provincie Utrecht*. Iwaco Rotterdam, 4 augustus 1998.

Meinardi (1994). *Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands*. Ph.D. thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam, 211 pp.

Provincie Utrecht (1987). *Grondwaterplan Provincie Utrecht*.

TNO Dienst Grondwaterverkenning (1978). *Grondwaterkaart van Nederland, kaartblad 31O, 32W, 38O en 39W*. Delft, september 1978.

Weerts, H. J. T. (2000). *De geologische opbouw van de ondergrond in de omgeving van grondwaterbeschermingsgebied Zeist*. NITG-TNO, publicatie 00-211-B, september 2000.

WMN (1996). *Winningsmogelijkheden voor diep grondwater in zuidwest Utrecht*.

# BEGRIPPENLIJST

## Calibratie

Proces waarbij de hydroloog het model aanpast zodat het de werkelijkheid zo goed mogelijk beschrijft, zodat vertrouwen kan worden gesteld in de uitkomsten ervan. Bij calibratie wordt onder andere gekeken naar de grootte en structuur van de afwijkingen tussen de gemeten en berekende waarden van relevante grootheden als stijghoogten, volumestromen, debieten en concentraties.

## Drainage

De afvoer van water over en door de grond en via het waterlopenstelsel.

## Drainageweerstand

De weerstand tegen de grondwaterstroming naar open of gesloten leidingen, te berekenen als quotiënt van de opbolling en de specifieke (grondwater)afvoer bij stationaire stroming.

## Doorlaatvermogen

Maat voor het vermogen van een watervoerend pakket om water door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom die per breedte-eenheid van het watervoerend pakket en per eenheid van stijghoogtegradiënt door een watervoerende laag stroomt.

## Doorlatendheid

Een maat voor het vermogen van de grond om vloeistof of gas door te laten, gelijk te stellen aan de volumestroom per eenheid van oppervlakte als de stijghoogtegradiënt in een isotroop medium loodrecht op het oppervlak gelijk is aan één.

## Evapotranspiratie

De totale verdamping van een begroeid oppervlak (ook wel totale verdamping genoemd)

## Fluviatiele sedimenten

Sedimenten die samenhangen met afzetting door rivieren. Afzettingvormen zoals stroomruggen en komafzettingen zijn van fluviatiele oorsprong.

## Fluvioglaciale sedimenten

Sedimenten die samenhangen met afzetting aan de rand van een gletsjer, met name in de vorm van puinwaaiers en smeltwaterdalen. Het sediment bestaat uit verspoeld materiaal uit de stuwwal.

## Infiltratie

Het intreden van water aan het grondoppervlak, of de aanvulling van water onder het grondoppervlak door middel van een slotenstelsel of buizenstelsel.

## Inklinken

Daling van het grondoppervlak veroorzaakt door een daling van de grondwaterstand en/of de stijghoogte.

## Kwel

In het algemeen: het diffuus uittreden van grondwater. In het bijzonder: het uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogten elders in het hydrologische systeem. Het uittreden kan onder meer geschieden direct aan het grondoppervlak, in sloten of drains.

**Mariene sedimenten**

Sedimenten die samenhangen met afzetting door de zee. Onder meer wadafzettingen zijn opgebouwd uit marien sediment.

**Ontwatering**

De afvoer van water uit percelen over en door de grond en eventueel door drainbuizen en greppels naar een stelsel van grotere waterlopen.

**Topsysteem**

Systeem dat de interactie beschrijft tussen het grondwatersysteem en een drainagesysteem dat bestaat uit kleinere waterlopen (zoals sloten) en eventueel drains. De interactie wordt beschreven door ruimtelijke parameters, zoals weerstanden en polderpeilen. In het onderhavige onderzoek worden deze parameters met name afgeleid uit de karakteristieken van de Holocene deklaag die in een groot deel van het onderzoeksgebied voorkomt.





