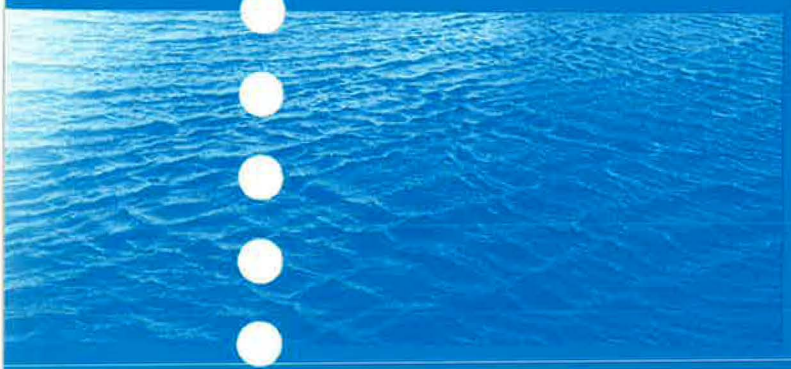
Waterbedrijf Gelderland

bog-38
2e

• Basisdocument Methoden

Milieu-effectrapport grondwaterwinning Over-Betuwe



Waterbedrijf Gelderland

BASISDOCUMENT

Basisdocument Methoden

Milieu-effectrapport grondwaterwinning Over-Betuwe

Velp, september 1998

INHOUDSOPGAVE

1 Over de inhoud van dit document 5

2 Effectvoorspelling op hoofdlijnen 7
2.1 Uitgangspunten voor de effectvoorspelling 7
2.2 Om welke effecten gaat het? 8
2.2.1 Introductie 8
2.2.2 Primaire hydrologische effecten 8
2.2.3 Afgeleide hydrologische effecten 9
2.2.4 Milieu-effecten 9
2.2.5 Effecten op landschap en landgebruik 9

3 Primaire hydrologische effecten 10
3.1 Berekeningen met een numeriek grondwatermodel 10
3.2 Toegepaste rekenmethoden en programmatuur 11
3.3 Opzet van het regionaal model Over-Betuwe 13
3.3.1 Modelgrenzen, netwerk en randstijghoogten 13
3.3.2 Uitgangspunten voor de modellering van de ondergrond 13
3.3.3 Modellering van de geohydrologische opbouw 15
3.3.4 Relatie grondwater - oppervlaktewater 17
3.3.5 Grondwateraanvulling en -onttrekking 19
3.4 IJking, gevoeligheid, verificatie en betrouwbaarheid 19
3.4.1 Algemeen 19
3.4.2 IJking 20
3.4.3 Gevoeligheid bij de ijking 21
3.4.4 Verificatie 23
3.4.5 Betrouwbaarheid van de scenarioberekeningen 24

4 Afgeleide hydrologische effecten 25
4.1 Kwaliteitsontwikkeling van het opgepompte water 26
4.2 Veranderingen in de waterkwaliteit 26
4.3 Beïnvloeding van bodemverontreinigingen 27
4.4 Invloed op bestaande grondwaterwinningen 28
4.5 Vermindering van de beekafvoer 29
4.6 Effecten op de waterhuishouding in de Over-Betuwe 29
4.7 Toename van de aanvoer van slib 30

5 Milieu-effecten 32
5.1 Effecten op grondwaterafhankelijke vegetatie 32
5.1.1 Uitgangspunten 32
5.1.2 Opzet van de effectbepaling 33
5.1.3 Uitvoering van de effectbepaling 35
5.2 Invloed op waterplanten 35
5.3 Beïnvloeding van overige aquatische natuurwaarden 37
5.4 Effecten op vogels 37
5.5 Oxidatie van archeologische waarden 38

6 Effecten op landschap en landgebruik 39
6.1 Effecten op het landschapsbeeld 39
6.2 Effecten op de maaiveldhoogte (zetting) 40
6.3 Veranderingen van de landbouwopbrengst 41
6.4 Beperkingen aan het bodemgebruik 42

Literatuur 43

Bijlagen 47

1 Over de inhoud van dit document

Kader

In april 1994 heeft Waterbedrijf Gelderland met een Startnotitie te kennen gegeven het voornemen te hebben om in het gebied Opheusden-Driel-Valburg grondwater te gaan onttrekken ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening. Het project wordt aangeduid als *Grondwaterwinning Over-Betuwe*. De onttrekking waarvoor vergunning wordt aangevraagd, zal 12 miljoen m^3/jaar bedragen.
Bij de besluitvorming krachtens de Grondwaterwet is het noodzakelijk een milieu-effectrapport (MER) te overleggen.
Op 15 maart 1995 is aan Kiwa N.V. Onderzoek en Advies te Nieuwegein opdracht verleend voor (ondersteuning bij) het vervaardigen van het MER voor genoemd project; een deel van de werkzaamheden (geohydrologische modellering) is uitbesteed aan Iwaco B.V. te Den Bosch.

Plaats van het Basisdocument Methoden

Het MER 'Grondwaterwinning Over-Betuwe' kent naast het Hoofdrapport de volgende documenten:

- ***Basisdocument Methoden***
- Deelrapport 1: Doel en motivering voorgenomen activiteit
- Deelrapport 2: Beleid en te nemen besluiten
- Deelrapport 3: Voorgenomen activiteit en alternatieven
- Deelrapport 4: Bestaande toestand van het milieu
- Deelrapport 5: Voorspelling van effecten

Het Hoofdrapport is afzonderlijk leesbaar, bevat alle voor de besluitvorming relevante informatie en is ook toegankelijk voor de geïnteresseerde leek. De Deelrapporten en het Basisdocument gaan dieper in op de materie in en zijn bedoeld voor wie er het fijne van wil weten. Vaktermen zijn in het Hoofdrapport zoveel mogelijk vermeden; in andere documenten achten we vaktermen minder bezwaarlijk.

Leeswijzer van het Basisdocument Methoden

Het Basisdocument heeft zes hoofdstukken. Na de Inleiding wordt in Hoofdstuk 2 de effectvoorspelling op hoofdlijnen behandeld. In Hoofdstuk 3 komt aan de orde hoe de primaire hydrologische effecten zoals grondwaterstandverlagingen en verandering in kwel en infiltratie zijn bepaald. Hoofdstuk 4 behandelt de methoden die zijn gebruikt om de afgeleide hydrologische effecten te bepalen. Het gaat om effecten op de afvoer van beken, op de grondwaterkwaliteit, op bodemverontreinigingen, op andere onttrekkingen en op de waterhuishouding. In Hoofdstuk 5 wordt uitgelegd hoe de milieu-effecten zijn bepaald; het betreft effecten op vegetatie, weidevogels en archeologische objecten. Als laatste wordt in Hoofdstuk 6 behandeld hoe de effecten op landschap en landgebruik zijn bepaald. Hoe de onderscheiden alternatieven worden vergeleken en wat de resultaten van deze vergelijking zijn wordt in het Hoofdrapport beschreven.

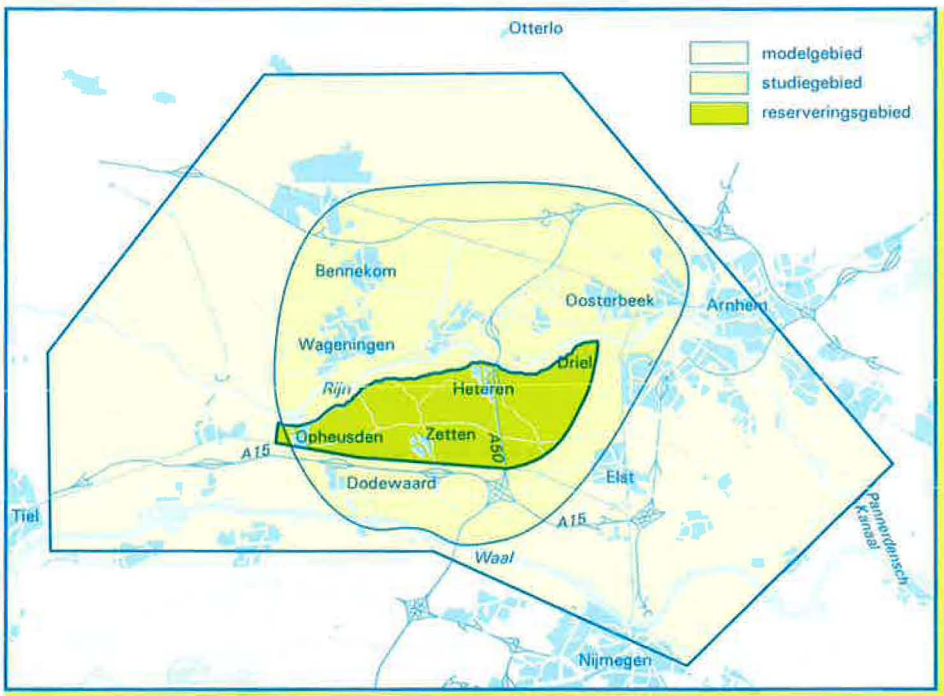
Dit basisdocument bevat ten slotte een literatuurlijst en vijf bijlagen, waarvan de laatste een negental tekeningen bevat. Om de toegankelijkheid van de tekst te vergroten is de informatie per hoofdstuk hiërarchisch geordend, dat wil zeggen: de hoofdzaken (vaak conclusies) staan voorop, daarna komt de onderbouwing. Deze hoofdzaken staan aan het begin van elk hoofdstuk en zijn omwille van de herkenbaarheid **vetgedrukt** weergegeven. Bij de beschrijving van de hoofdzaken zijn geen bronvermeldingen opgenomen, die bevinden zich in de onderbouwende tekst.

Begrippen

Enkele gebiedsaanduidingen hebben in dit hele MER een vaste betekenis:

- het ***reserveringsgebied (Over-Betuwe)*** is het in de provinciale plannen aangewezen gebied waarbinnen de voorgenomen grondwaterwinning is gepland; globaal wordt dit begrensd door de plaats Driel, kruising A15/A50, spoorlijn Tiel-Elst, Opheusden en de Rijndijk;
- het ***studiegebied*** bestaat uit het reserveringsgebied met daaraan grenzende gebieden waarin minstens één van de uitgewerkte alternatieven voor de voorgenomen activiteit invloed heeft. Globaal de regio Wageningen - Bennekom - Oosterbeek - kruising A50/Waal - Dodewaard - Opheusden;
- het ***modelgebied*** is het gebied dat is opgenomen in het geohydrologisch model. Dit gebied strekt zich uit van Tiel tot aan het Pannerdensch Kanaal en van 1 km ten zuiden van de Waal tot aan Otterlo. Het is groter dan het studiegebied, omdat bij de start van het onderzoek niet duidelijk was tot hoever effecten zouden kunnen reiken en vanwege modeltechnische randvoorwaarden.

De relatie tussen verschillende gebiedstypen is weergegeven in figuur 1.



Figuur 1 Ligging van model-, studie- en reserveringsgebied

2 Effectvoorspelling op hoofdlijnen

Bij de voorspelling van de effecten is de aandacht zoveel mogelijk gericht op de uiteindelijke effecten die de grondwaterwinning Over-Betuwe heeft. Primaire effecten die leiden tot effecten in andere (milieu)compartimenten zijn wel beschreven maar niet in de vergelijking meegenomen.
Een onderverdeling vindt plaats naar primaire hydrologische effecten, afgeleide hydrologische effecten, milieu-effecten en effecten op landschap en landgebruik. Effecten op landgebruik zijn formeel geen milieu-effect, maar zijn bij het MER betrokken in verband met de vergunningprocedure in het kader van de Grondwaterwet.
De methoden voor effectvoorspelling zijn zoveel mogelijk kwantitatief.

2.1 Uitgangspunten voor de effectvoorspelling

Bij het opstellen van de methode voor effectvoorspelling is een aantal uitgangspunten gehanteerd. Hoewel deze impliciet in het vervolg van dit rapport wel aan de orde komen, zijn ze onderstaand kort samengevat teneinde de inzichtelijkheid van de effectvoorspelling te vergroten.

1. Voor de referentiesituatie ten behoeve van de effectvoorspelling wordt uitgegaan van de huidige situatie, met daarop gesuperponeerd de zogenoemde 'autonome ontwikkeling' tot 2005 (zie Deelrapport 4).

2. Effecten worden bij voorkeur (semi)kwantitatief in tabellen weergegeven. De wijze waarop effectvoorspellingen worden uitgevoerd, wordt in dit Basisdocument uitgebreid toegelicht.
   Ter ondersteuning van de tabellen zal voor het voorkeursalternatief een meer kwalitatieve beschrijving plaatsvinden van de effecten. Hierin komen onder meer aan de orde de plaats waar het effect zal optreden, een korte omschrijving van het effect en mogelijke mitigerende/compenserende maatregelen.

3. We brengen de effecten in beeld die optreden als gevolg van het oppompen van grondwater. Voor een goede inschatting van de effecten die optreden als gevolg van de aanleg, aanwezigheid en het beheer van de winplaats zijn onvoldoende concrete gegevens voorhanden. Gezien de intenties die Waterbedrijf Gelderland heeft ten aanzien van vormgeving, aanleg, inrichting en het beheer van de installatie zullen de milieu-effecten die samenhangen met deze aspecten van de voorgenomen activiteit minder verstrekkend zijn dan de effecten door de onttrekking.
   De randvoorwaarden voor vormgeving, aanleg, inrichting en beheer van de installatie zijn beschreven in Deelrapport 3.

4. Er is uitsluitend gebruikgemaakt van bestaande gegevens. De methode die volgt is dan ook toegesneden op het voorhanden zijnde materiaal.

2.2 Om welke effecten gaat het?

2.2.1 Introductie

In deze paragraaf worden de mogelijke effecten van de grondwaterwinning Over-Betuwe in vogelvlucht beschreven. De voorgenomen grondwaterwinning kan effect hebben op verschillende onderdelen in het studiegebied, zoals hydrologie, bodem, vegetatie, fauna en landschap. Deze onderdelen staan niet op zichzelf, maar vertonen een belangrijke mate van samenhang. Deze samenhang kan van invloed zijn op de effectvergelijking die wordt uitgevoerd. In dit basisdocument wordt het Rangordemodel (zie bijlage 1) gebruikt als raamwerk om de uitgangspunten voor de verschillende effecten te beschrijven. Daarnaast dient het als hulpmiddel bij de onderlinge weging van de verschillende effecten. De effecten, waarop de beoordeling van de voorgenomen activiteit plaatsvindt zijn samengevat in onderstaand overzicht en worden in de volgende subparagrafen kort beschreven.

Effecten van de grondwaterwinning Over-Betuwe

1. Primaire hydrologische effecten
a. Verandering van grondwaterstanden en stijghoogten
b. Verandering van kwel en infiltratie

2. Afgeleide hydrologische effecten
a. Kwaliteitsontwikkeling van het opgepompte water
b. Verandering in de waterkwaliteit
c. Beïnvloeding van bodemverontreinigingen
d. Invloed op bestaande grondwaterwinningen
e. Vermindering van de beekafvoer
f. Effecten op de waterhuishouding in de Over-Betuwe
g. Toename van de aanvoer van slib

2. Milieu-effecten
a. Effecten op grondwaterafhankelijke vegetatie
b. Invloed op waterplanten en overige aquatische natuurwaarden
c. Effecten op (weide)vogels
d. Oxidatie van archeologische waarden

3. Effecten op landschap en landgebruik
a. Effecten op het landschapsbeeld
b. Effecten op de maaiveldhoogte
c. Veranderingen van de landbouwopbrengst
d. Beperkingen aan het bodemgebruik

2.2.2 Primaire hydrologische effecten

Grondwaterwinning in de Over-Betuwe kan leiden tot veranderingen van grondwaterstanden in de deklaag, stijghoogten (in diepere pakketten), kwel/infiltratie van/naar diepe watervoerende pakketten naar/vanaf de deklaag, grondwaterstromingen en de (macro)kwaliteit van het oppervlaktewater. Deze beschouwen we als de 'primaire effecten' volgens het rangordemodel (bijlage 1). Ze worden in Deelrapport 5 beschreven.

2.2.3 Afgeleide hydrologische effecten

Daling van grondwaterstanden en stijghoogten ter plaatse van de Veluwezoom kan vrij snel na het starten van de winning leiden tot een verminderde afvoer van de beken. Gezien het karakter van de beken is een verminderde afvoer, ongeacht de neveneffecten die dit met zich meebrengt voor flora en fauna, op zich al relevant. Daarom is dit als een afzonderlijk effect onderscheiden.
De nieuwe winning kan ook invloed hebben op de stijghoogte in bestaande grondwaterwinningen.
De verandering van grondwaterstromingen kan leiden tot geleidelijk optredende veranderingen in de (diepe) grondwaterkwaliteit op bepaalde plaatsen en een geleidelijke verplaatsing van aanwezige grondwaterverontreinigingen. De kwaliteitsverandering kan zich manifesteren in het opgepompte water en in het freatisch water en oppervlaktewater.
Veranderingen in kwel/infiltratie kunnen de waterbalans van het oppervlaktewater en de benodigde hoeveelheid (slibhoudend) aanvoerwater beïnvloeden.
Bovengenoemde effecten beschouwen we als afgeleide hydrologische effecten; ze zullen bij de beoordeling worden betrokken.

2.2.4 Milieu-effecten

Onder milieu-effecten van de voorgenomen grondwaterwinning verstaan we ecologische effecten en effecten op archeologische waarden.
De ***ecologische effecten*** kunnen worden onderverdeeld in effecten op flora (vegetatie) en fauna. Naar verwachting zullen de primaire hydrologische effecten leiden tot verarming of mogelijk vernietiging van grondwaterafhankelijke vegetatietypen (vochtige schrale graslanden bijvoorbeeld) en van biotopen van verschillende diergroepen (weidevogels). Verandering in de watersamenstelling, door wijzigingen in de verhouding tussen kwel- en infiltratiewater, kan een negatief effect hebben op de flora in de oppervlaktewateren.

De onttrekking van grondwater heeft effect op ***archeologische waarden***, doordat deze oxideren als ze - na een daling van de grondwaterstand - boven grondwaterniveau komen. De uitgewerkte alternatieven hebben geen invloed op aanwezige geomorfologische waarden en waardevolle bodems.

2.2.5 Effecten op landschap en landgebruik

Verlaging van de grondwaterstand kan leiden tot opbrengstveranderingen op agrarische percelen. Deze effecten zijn permanent van aard, maar verdwijnen bij het beëindigen van de winning.
Bovendien kunnen er in het beschermingsgebied van de winning beperkingen aan het bodemgebruik worden gesteld.
Formeel zijn dit geen milieu-effecten, maar economische effecten. Aangezien dit MER wordt opgesteld in het kader van een vergunningprocedure ex Grondwaterwet en het daarbij gangbaar is eventuele landbouwschade te betrekken bij de beoordeling, is dit effect ook in dit MER betrokken.

Verlaging van grondwaterstanden en stijghoogten kan in zettingsgevoelige gebieden leiden tot permanente, niet-omkeerbare maaivelddalingen, die vervolgens kunnen leiden tot schade aan infrastructuur (wegen, dijken, stuwen) en bebouwing. Hoewel de maaivelddalingen relatief gering zijn en de vervolgschades alleen via zeer gedetailleerd onderzoek in beeld kunnen worden gebracht, is de maaivelddaling toch betrokken bij de beoordeling van alternatieven. Daarnaast zijn de effecten op het landschapsbeeld van de winputten en het zuiveringsgebouw beschreven.

3 Primaire hydrologische effecten

Voor de berekening van de effecten op grondwaterstanden, fluxen en stroombanen heeft Iwaco een regionaal numeriek stationair grondwatermodel opgesteld, gebaseerd op het model dat is gebruikt voor de studie Grondwaterbeheer Midden Nederland. Het model en de wijze van toetsen aan de werkelijke hydrologische situatie worden in dit hoofdstuk toegelicht. De modelbeschrijving sluit aan bij de beschrijving van de hydrologische situatie in Deelrapport 4.

3.1 Berekeningen met een numeriek grondwatermodel

Inleiding

Een ingreep in het geohydrologisch systeem, bijvoorbeeld een grondwaterwinning, kan onder meer de volgende 'primaire effecten' op de omgeving hebben:

- verandering van grondwaterstanden en stijghoogten;
- verandering van kwel- en infiltratiestromen in de bodem;
- verandering in de drainage naar en de infiltratie vanuit het oppervlaktewater en vanaf het maaiveld en
- verandering in het stromingspatroon van het grondwater.

Inzicht in de primaire of basiseffecten is nodig om de respons van de grondwaterafhankelijke vegetatie en andere afgeleide effecten te kunnen bepalen. Daarnaast zijn de primaire effecten op zich al relevant voor het MER. De primaire hydrologische effecten zijn bepaald met behulp van een numeriek geohydrologisch model.

Bestaande modellen

Van het studiegebied waren reeds twee numerieke grondwatermodellen beschikbaar: het Grondwatermodel Midden Nederland[1] (Projectgroep GMN, 1992) en het model dat is ontwikkeld in de haalbaarheidsstudie 'Drinkwaterwinning Over-Betuwe'[2] (IWACO, 1993). Deze modellen hebben gediend als basis voor de modellering in het kader van dit MER.

In de GMN-studie heeft een inventarisatie van basisgegevens voor het grootste deel van het studiegebied voor dit MER plaatsgevonden. Aan de literatuur ontleende gegevens (onder meer Waterbedrijf Gelderland, 1991a en 1991b; Kiwa 1990a en 1990b) zijn verwerkt in het model. Daarbij zijn boorgegevens opnieuw geïnterpreteerd. De dikte en diepteligging van de slecht doorlatende lagen, bepaald aan de hand van recente of reeds in het verleden geïnterpreteerde boorbeschrijvingen, dienden daarbij als uitgangspunt van de geohydrologische schematisering van de ondergrond. Voor een deel zijn deze grootheden overgenomen uit een schematisering van de Provincie Gelderland (DGV/TNO en Dienst waterbeheer Provincie Gelderland, 1984). Tijdens de haalbaarheidsstudie is een aanvullende geohydrologische inventarisatie uitgevoerd, in verband met het verschil in schaal en de verschuiving van de zuidrand ten opzichte van het GMN-model.

[1] *Naar dit regionale model wordt in het vervolg verwezen als het 'GMN-model'.*

[2] *In het vervolg van dit MER kortheidshalve 'de haalbaarheidsstudie' genoemd.*

Aanvullende gegevens

Na beëindiging van de haalbaarheidsstudie zijn nieuwe gegevens vrijgekomen die van belang zijn voor dit MER. Deze zijn in het modelonderzoek betrokken en het verkregen model (verder te noemen 'model Over-Betuwe') is opnieuw geijkt.
De aanvullende gegevens hebben betrekking op:

- de samenstelling van het holocene pakket in het Rivierengebied; een uitgebreide studie is uitgevoerd voor het vervaardigen van zanddieptekaarten (Berendsen et al, 1994);
- dikte en voorkomen van de Kedichemklei; naar aanleiding van de haalbaarheidsstudie heeft Waterbedrijf Gelderland ten behoeve van dit MER geo-elektrisch onderzoek laten uitvoeren door NITG-TNO (Van Dalfsen, 1995). Dit onderzoek was bedoeld om beter inzicht te krijgen in het voorkomen en de uitgestrektheid van gaten in de Kedichemklei.

Het gebied rond de grondwaterwinningen Oosterbeek en La Cabine op de zuidelijke Veluwezoom is gemodelleerd door Kiwa (Athmer en Supèr, 1994). Ook de kennis die hierbij is opgedaan, is in het model Over-Betuwe verwerkt.

3.2 Toegepaste rekenmethoden en programmatuur

Stijghoogten met TRIWACO

Voor de berekening van (grondwaterstanden en) stijghoogten is gebruikgemaakt van het rekenprogramma TRIWACO, dat eveneens gebruikt is bij de haalbaarheidsstudie en het GMN-onderzoek. Berekend zijn de stijghoogten voor de referentiesituatie en de alternatieven. Stijghoogte***verlagingen*** zijn vervolgens bepaald door de berekende stijghoogte voor het betreffende alternatief en de referentiesituatie van elkaar af te trekken. Op eenzelfde wijze zijn veranderingen in het kwel- en infiltratiepatroon bepaald.

Stroombanen met TRACE

De ligging van het voedingsgebied van een winning wordt bepaald met behulp van het stroombanenprogramma TRACE. Dit maakt gebruik van het met TRIWACO berekende stijghoogtebeeld.
Vanaf elk netwerk-knooppunt worden stroombanen berekend, startend aan de bovenzijde van het grondwatersysteem. Stroombanen die eenzelfde winningslocatie bereiken krijgen eenzelfde code. Het voedingsgebied van een winning beslaat zodoende de verzameling knooppunten met de bij de winning behorende code.

Grondwateraanvulling met FLUZO

Voor het in model brengen van de grondwateraanvulling is gebruikgemaakt van FLUZO[1]. De achtergrond van dit programma is een schematisering van de onverzadigde zone in twee reservoirs: één voor de wortelzone en één voor het diepere deel van de ondergrond. Bij de berekening van de capillaire opstijging en de bepaling van vochttekorten worden de Van Genuchten-relaties voor de vochtkarakteristieken (vochtretentiecurve en k-h-relatie) toegepast. Daardoor is een volledig niet-stationaire simulatie van de stroming in de onverzadigde zone mogelijk. De grondwateraanvulling voor een gemiddeld jaar is berekend als de som van de grondwateraanvulling in 36 decades, gebruikmakend van de specifieke neerslag- en verdampingscijfers voor elk van deze decades.

Berekening van de grondwateraanvulling

Voor de berekening van de grondwateraanvulling zijn als gegevens gebruikt:

- Thiessen polygonen voor neerslag- en verdampingsstations binnen en in de omgeving van het modelgebied;
- grondsoort van de bovengrond, afkomstig van de Bodemkaart van Nederland;
- grondsoort van de ondergrond, eveneens afkomstig van de Bodemkaart;
- de dikte van de onverzadigde zone;
- het grondgebruik.

[1] *FLUZO: Flow in the Unsaturated Zone; stroming in de onverzadigde zone*

De ***meteorologische gegevens*** van neerslag en verdamping zijn gebaseerd op de metingen ter plaatse van de KNMI-stations voor het jaar 1985. Het jaar 1985 wordt beschouwd als het meest recente gemiddelde jaar over een gemiddelde langjarige periode (zie ook paragraaf 3.4.1).
Voor het ***grondgebruik*** is uitgegaan van de voor de GMN-studie uitgevoerde inventarisaties (Projektgroep GMN, 1992). In het gebied buiten het GMN-model is het grondgebruik afgeleid van de topografische kaart.

Voor de berekening van de grondwateraanvulling zijn kaartvlakken samengesteld met dezelfde ondiepe en diepe bodemopbouw, neerslag en verdamping, dikte van de onverzadigde zone en grondgebruik. Voor elk van deze kaartvlakken is de aanvulling per decade en vervolgens de som hiervan over het gehele jaar berekend.

Stationaire modellering

Na analyse van het hydrologisch systeem in het studiegebied is gekozen voor een hydrologische effectvoorspelling op basis van stationaire modellering. Het waterlopenstelsel in de ***Betuwe*** is namelijk sterk gereguleerd en heeft, zeker na het van kracht worden van het voorgenomen peilbesluit, nagenoeg vaste peilen. Er is geen sprake van grootschalige niet-lineaire effecten, zoals het droogvallen van een deel van het slotenstelsel.
Ter controle hiervan zijn voor de omgeving van het waardevolle bosgebied bij Hemmen met een instationair deelmodel toetsingsberekeningen uitgevoerd. De uitkomsten hiervan geven aan dat een stationaire benadering voldoende nauwkeurig inzicht in de te verwachten verlagingen geeft. De opzet en resultaten van deze berekeningen staan in bijlage 2.

Tijdens de GMN-studie heeft IWACO uitgebreide ervaring opgedaan met de 'modelleerbaarheid' van de ***Veluwe en haar randgebieden***. Daarbij is gebleken dat op de Veluwe de reactie op variaties in het neerslagoverschot en veranderingen in andere onderdelen van het hydrologisch systeem (zoals winningen) zo traag verloopt, dat alleen een stationaire berekening inzicht kan geven in de eindeffecten. Tevens is gebleken dat instationaire berekeningen - zeker ten aanzien van de afvoeren van beken op de Veluwezoom - niet met voldoende nauwkeurigheid kunnen worden uitgevoerd. Daarvoor ontbreken met name meetgegevens over de afvoer van deze beken en is er onvoldoende inzicht in de hydrologische processen in de gestuwde bodemlagen. Om deze twee redenen is voor de effectvoorspelling in deze gebieden ook gekozen voor een stationaire verlagingsberekening.

De berekende stationaire verlagingen kunnen worden verrekend met de werkelijk optredende grondwaterstanden in de referentiesituatie. Dit is nodig om bijvoorbeeld een effectvoorspelling voor de natte natuur langs de Renkumse en Heelsumsche Beken te kunnen uitvoeren.

3.3 Opzet van het regionaal model Over-Betuwe

3.3.1 Modelgrenzen, netwerk en randstijghoogten

Modelgrenzen

Aan de noordzijde is de modelgrens, op basis van oriënterende berekeningen met het GMN-model, op zodanige afstand gekozen dat de invloed van de grondwaterwinning Over-Betuwe (ongeacht de plaats binnen het reserveringsgebied) op deze modelrand te verwaarlozen is. Op deze wijze is voorkomen dat, voorafgaand aan elke modelberekening, eerst een berekening met het regionale GMN-model zou moeten worden uitgevoerd teneinde de randeffecten te bepalen.
De modelgrens aan de zuidzijde is ter plaatse van de rivier de Waal gekozen. Berekeningen in het kader van de haalbaarheidsstudie hebben aangetoond dat ten zuiden van de rivier geen effecten zijn te verwachten. Ook in westelijke en oostelijke richting zijn de modelgrenzen op een zodanige afstand gekozen, dat de daar opgelegde randvoorwaarden een te verwaarlozen invloed op de berekeningsresultaten hebben. Hierbij is rekening gehouden met de grenzen zoals die in het model Fikkersdries zijn gehanteerd (Waterbedrijf Gelderland, 1991b).
De aldus gekozen modelgrenzen zijn weergegeven in figuur 1 in hoofdstuk 1.

Netwerk

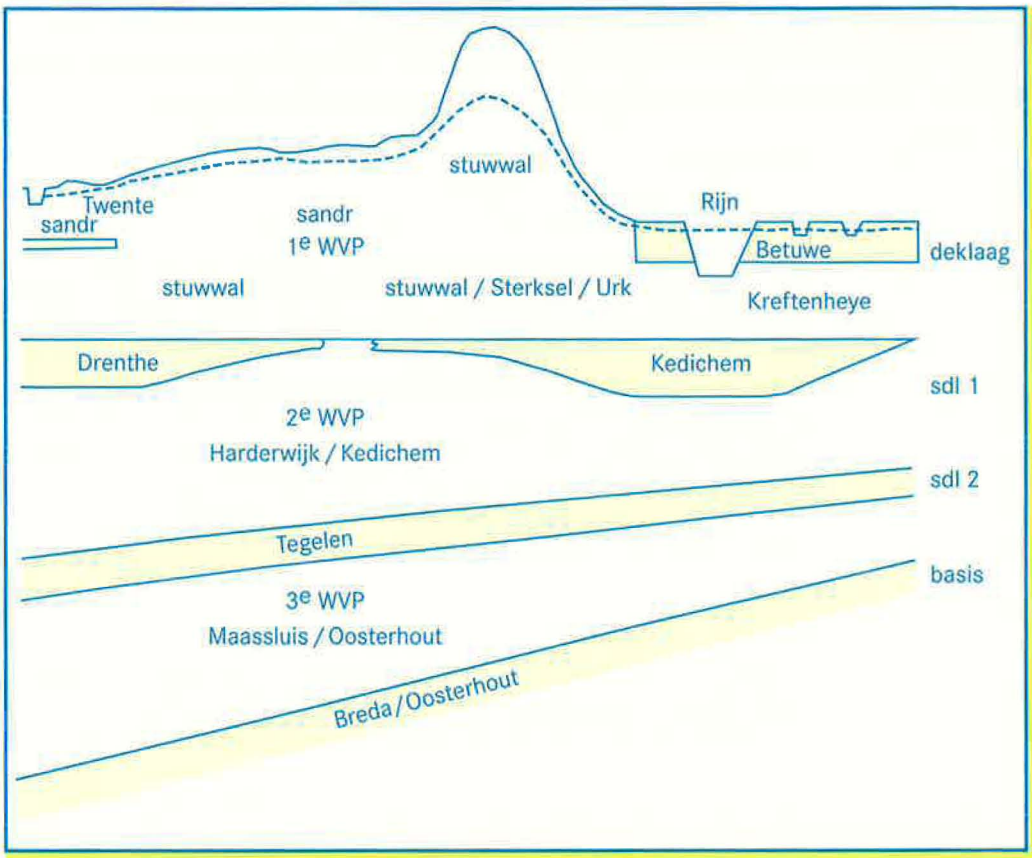
De dichtheid van het netwerk is binnen het modelgebied gevarieerd en hoger dan bij eerdere modellen. In het reserveringsgebied en ter plaatse van een aantal ecologisch interessante gebieden is een fijn netwerk gebruikt, met knooppuntsafstanden van gemiddeld 100 meter. Zo is voor de ecologische effectvoorspelling ter plaatse van de beken het netwerk zeer sterk verdicht.
Daarmee wordt het mogelijk in het veld optredende ruimtelijke variaties in de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld goed te kunnen volgen. In de richting van de modelranden nemen de knooppuntsafstanden stapsgewijs toe tot 1250 meter aan de rand (zie tekening 7).

Randstijghoogten

De randstijghoogten voor het model Over-Betuwe zijn bepaald op basis van berekeningen met het GMN-model. Buiten het modelgebied van de GMN-studie zijn deze aangevuld vanuit gemeten gemiddelde stijghoogten in een aantal waarnemingsbuizen. Daarbij is gebruikgemaakt van de geohydrologische beschrijving van de provincie Gelderland (DGV/TNO en Provincie Gelderland, 1984).

3.3.2 Uitgangspunten voor de modellering van de ondergrond

In Deelrapport 4 is de geohydrologische opbouw en schematisering van de ondergrond uitgebreid beschreven (zie figuur 2). Hier gaan we daarom alleen in op de wijze waarop deze is gemodelleerd. Daarbij geldt een aantal uitgangspunten.



Figuur 2 Schematisering van de geohydrologische opbouw, in een globaal noordwest-zuidoost profiel (Gelderse Vallei-Veluwe-Betuwe)

Doorlatendheid bij stuwing

De Veluwe is gestuwd, hetgeen grote invloed heeft op de grondwaterstroming. De stuwing is geschematiseerd door middel van anisotrope doorlatendheden in het eerste en tweede watervoerend pakket. Daartoe is een afzonderlijke doorlatendheid opgegeven in de strekkingsrichting (k_{strek}) en in de stuwingsrichting (k_{stuw}) van de stuwwal. Tevens is de richting van de stuwing ten opzichte van het gehanteerde coördinatensysteem opgegeven. De waarden voor de afzonderlijke doorlatendheden (k_{stuw} en k_{strek}) zijn niet onafhankelijk van elkaar gekozen, maar tussen deze twee grootheden is een zeker verband aangehouden (Projectgroep GMN, 1992).

De hydraulische weerstand van slecht doorlatende modellagen

Hydraulische weerstanden zijn gemodelleerd met behulp van de volgende formule (RID, 1978-b):

$c = D\ (H + 0{,}5\ D)\ \alpha$

waarin:

- c = hydraulische weerstand (d);
- D = dikte van de betreffende slecht doorlatende laag (m);
- H = diepteligging van de slecht doorlatende laag (m) en
- α = evenredigheidsconstante d/m^2.

De grootte van de ingevoerde evenredigheidsconstanten is gebaseerd op de modellering van het GMN-model (Projectgroep GMN, 1991/1992).

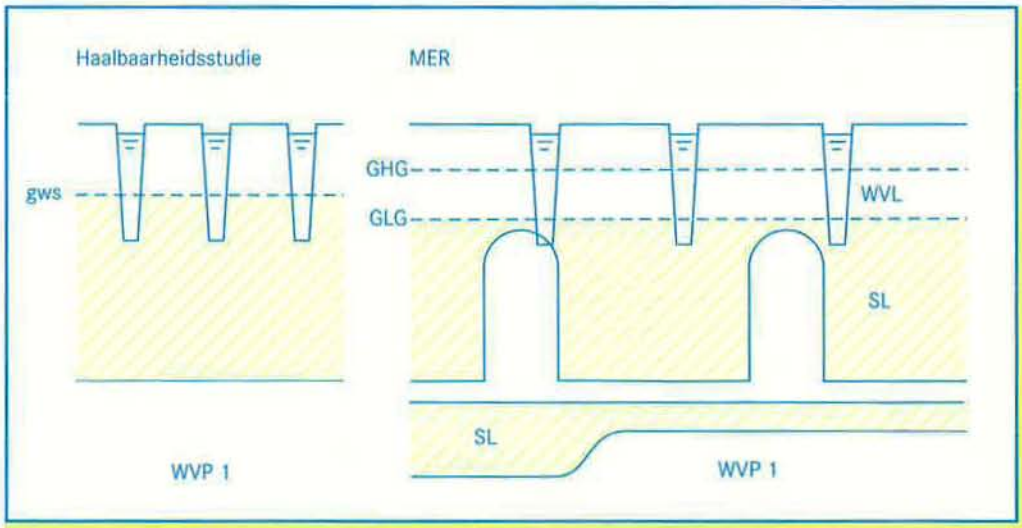
Hydraulische weerstanden in gestuwde gebieden
In de gestuwde delen van het studiegebied is vaak geen slecht doorlatende laag aanwezig. In deze gebieden wordt de weerstand tegen verticale stroming veroorzaakt door de stuwing van de lagen. In het model is voor deze gebieden een hydraulische weerstand ingevoerd als equivalent van de stromingsweerstand ten gevolge van de stuwing.

3.3.3 Modellering van de geohydrologische opbouw

De modellering van de in Deelrapport 4 en figuur 2 beschreven geohydrologie is als volgt, beginnend bij de diepste lagen. Van de belangrijkste pakketten en lagen zijn kD-waarden en weerstanden weergegeven in de tekeningen 1 t/m 6.

Diepere ondergrond
De ondergrens van het model wordt gevormd door de kleilagen van de Formaties van Oosterhout of Breda.
Het derde watervoerend pakket bestaat uit de zanden van de Formaties van Maassluis en Oosterhout.
De tweede scheidende laag bestaat uit de slecht doorlatende kleien van de Formatie van Tegelen. De in het model ingevoerde weerstand staat ruimtelijk weergegeven in tekening 3.
Het tweede watervoerend pakket bestaat uit de goed doorlatende zanden van de Formatie van Harderwijk en Kedichem. Het in het model ingevoerde doorlaatvermogen (kD) staat ruimtelijk weergegeven in tekening 6.
De eerste scheidende laag bestaat uit de slecht doorlatende kleien van de Formatie van Kedichem. De in het model ingevoerde weerstand staat ruimtelijk weergegeven in tekening 1.
Het eerste watervoerend pakket bestaat in het reserveringsgebied uit de goed doorlatende zanden van de Formatie van Kreftenheye. Ter plaatse van de glaciale bekkens wordt het pakket gevormd door de zandige afzettingen van de Eemformatie en de fluvioglaciale afzettingen van de Formatie van Drenthe. In gestuwde gebieden bestaat het uit de zandige afzettingen van de Formaties van Sterksel en Urk.
Uitsluitend in het uiterste noordwesten van het modelgebied (Gelderse Vallei) wordt dit watervoerend pakket opgedeeld in twee watervoerende lagen door de kleien van de Eemformatie. In het model is in die gebieden een extra verticale weerstand gesimuleerd. Elders in het model is dit een fictieve laag zonder weerstand. Het in het model ingevoerde doorlaatvermogen (kD) voor het eerste watervoerend pakket staat ruimtelijk weergegeven in tekening 5.

Holocene deklaag in het Rivierengebied
Vanwege de aanwezigheid van goed doorlatende zandbanen is de deklaag niet gesimuleerd als één (homogene) laag, maar geschematiseerd in twee watervoerende pakketten en twee slecht doorlatende lagen.
De holocene deklaag in het Rivierengebied is opgebouwd uit twee delen (figuur 3). In de figuur is zowel de schematisering weergegeven zoals gepresenteerd in de haalbaarheidsstudie 'Drinkwaterwinning Over-Betuwe' (Iwaco, 1993) als de schematisering zoals aangehouden in dit MER. Op basis van studies na 1993 was het mogelijk de schematisering van de deklaag te verfijnen. Boven in het profiel bevindt zich een gedeeltelijk geroerde, niet altijd verzadigde toplaag van circa 1,5 à 2 meter dikte. Deze laag is als afzonderlijke watervoerende laag in het model ingevoerd. Met behulp van de bodemkaart (Poelman et al., 1973 en Kloosterhuis et al., 1975) is bepaald welke bodemtypen er in het studiegebied voorkomen. Per bodemtype is vervolgens een doorlatendheid ingevoerd, die is gebaseerd op veldmetingen van deels verzadigde gronden.



Figuur 3 Modelschematisering van de holocene deklaag

Onder deze toplaag bevindt zich een altijd verzadigde, in principe slecht doorlatende laag. Deze laag heeft een sterk variërende dikte (én hydraulische weerstand) als gevolg van de aanwezigheid van begraven stroomgordels met goed doorlatende rivierafzettingen. De dikte van de slecht doorlatende laag wordt verkregen uit het verschil van de dikte van de totale deklaag en de dikte van de zandbanen (Berendsen et al., 1994). Door de dikte van het verzadigde slecht doorlatende deel van de deklaag te delen door de doorlatendheid is de hydraulische weerstand van deze laag verkregen.

De begraven stroomgordels, in Deelrapport 4 zandbanen genoemd, vormen tevens een afzonderlijke watervoerende laag in het model. De dikte van deze laag is afgeleid uit de zanddiktekaart van het Rivierengebied (Berendsen et al., 1994).

Voor de verschillende grondtypen in de deklaag heeft de RUU, op basis van een groot aantal steekmonsters, verzadigde doorlatendheden bepaald (Bierkens, 1994). Tabel 1 geeft een overzicht van de gehanteerde doorlatendheden. In combinatie met de gevonden dikte is vervolgens het doorlaatvermogen van dit pakket bepaald.

Tabel 1 Doorlatendheid in het verzadigd gedeelte van de holocene deklaag

klasse	doorlatendheid [m/d]
zand	16-18
zavel	0,02
klei	0,002

Tussen de zandbanen en het eerste watervoerende pakket is een fictieve slecht doorlatende laag zonder dikte en weerstand gemodelleerd. De zandbanen in het modelgebied liggen direct op het eerste watervoerende pakket, zodat er nauwelijks sprake is van enige stromingsweerstand tussen deze twee pakketten. Het maken van onderscheid tussen het eerste watervoerende pakket en de zandbanen via een slecht doorlatende modellaag was nodig vanwege verschillen in doorlatendheid. De weerstand, zoals ingevoerd in het model en de doorlatendheid van de deklaag zijn respectievelijk weergegeven in de tekeningen 2 en 4 (bijlage 5).

Hydrologisch subsysteem
Het hydrologisch subsysteem in de stuwwal bij Kievitsdel is zodanig gemodelleerd dat de gemeten hoge grondwaterstanden konden worden gereproduceerd, zonder te streven naar een optimale weergave van de werkelijke geohydrologische situatie ter plaatse. Dit is verantwoord omdat het een onafhankelijk subsysteem betreft, zie ook Deelrapport 4.

3.3.4 Relatie grondwater - oppervlaktewater

De benodigde gegevens voor de modellering van de interactie tussen grond- en oppervlaktewater zijn opgevraagd bij de betrokken waterschappen en bij Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn gegevens ontleend aan de literatuur en verzameld tijdens een tweetal veldbezoeken.

Belangrijke waterlopen
De belangrijkste waterlopen zijn in het model expliciet als lijnsegment opgenomen. Dit zijn de Rijn en de Waal, de Linge en het Lingekanaal, de Heelsumsche en Renkumse beeksystemen en het Valleikanaal.
Voor de twee beeksystemen is de eventuele verandering van de afvoer van belang (relatie met verdroging). Door deze beken als lijnsegment in het model op te nemen, kan de invloed van een grondwaterwinning Over-Betuwe afzonderlijk worden geïdentificeerd.

Tabel 2 Drainage- en infiltratieweerstanden van grotere waterlopen

waterlopen	drainageweerstand [d]	infiltratieweerstand [d]
Rijn, Waal, Linge	5-10	30-50
Heelsumsche, Renkumse beken	3-5	1000
overige weteringen	3-5	30

Van de expliciet opgenomen waterlopen zijn per lijnsegment ingevoerd:
- breedte van de betreffende waterloop
- waterpeil, waarbij soms tevens een verhang is aangenomen
- drainageweerstand, voor stroming van grondwater naar het oppervlaktewater
- infiltratieweerstand, voor stroming in omgekeerde richting

Een overzicht van de in het model gehanteerde waarden van de weerstanden is opgenomen in tabel 2. Voor de Heelsumsche en Renkumse beken zijn hoge infiltratieweerstanden aangehouden, omdat wordt verondersteld dat deze beken uitsluitend een drainerende of transporterende functie hebben.

Kleinere waterlopen

Kleinere waterlopen zijn niet expliciet in het model opgenomen, maar gemodelleerd door gebiedsdekkende parameters, waarvan de drainage- en infiltratieweerstand en het drainage- of polderpeil de belangrijkste zijn. Bij de aangehouden modellering kunnen alle sloten in principe zowel draineren (bij hoge grondwaterstanden) als infiltreren (bij lage grondwaterstanden).
Inventarisatie in het veld van enkele grotere hoofdwaterlopen in de Over-Betuwe (bijvoorbeeld de Eldense Zeeg) heeft er niet toe geleid deze als individuele lijnelementen op te nemen in het model. In deze waterlopen wordt net als in de overige waterlopen het polderpeil gehanteerd. Bovendien snijden ze niet in het eerste watervoerende pakket in.

De bepaling van de drainage- en infiltratieweerstand is gebaseerd op het analytische model van Bruggeman (RID 1978-a; RID, 1983), dat uitgaat van kenmerken van het oppervlaktewaterstelsel en de geohydrologische opbouw van de ondergrond:

- (gemiddelde) slootafstand
- natte omtrek van de sloten
- dikte van de drainerende laag
- doorlatendheid van de drainerende laag in horizontale en in verticale richting
- hydraulische weerstand van de drainerende laag
- slootbodemweerstand.

Slootafstand en natte omtrek

Op basis van de topografische kaart, aangevuld met gegevens van de waterschappen en verschillende veldopnamen, is een kaart vervaardigd met gemiddelde slootafstanden en natte omtrekken en daaraan gekoppeld een slootbodemniveau ten opzichte van maaiveld. Deze gegevens zijn in het model opgenomen.

Dikte en doorlatendheid drainerende laag

De drainerende laag is die laag waarin het watervoerende deel van de sloot aanwezig is.
De horizontale doorlatendheid is direct afgeleid uit de lithologische samenstelling van de ondergrond volgens de bodemkaart.

Hydraulische weerstand

De hydraulische weerstand is alleen ingevoerd voor gebieden met een gemiddelde slootdiepte groter dan een meter. De weerstand is gelijk aan de weerstand voor de totale dikte van het holocene pakket verminderd met een meter (de gemiddelde slootdiepte in de Over-Betuwe).

Slootbodemweerstand

De slootbodemweerstand is een parameter waarvan weinig bekend is. De weerstand wordt veroorzaakt door de afzetting van slib en ander slechtdoorlatend materiaal op de bodem en is sterk afhankelijk van de onderhoudstoestand. Voor de drainageweerstand is een waarde aangehouden van 0,5 tot 1,0 dag, de ingevoerde infiltratieweerstand bij infiltrerende waterlopen bedraagt 10 dagen, van de overige 1000 dagen.

3.3.5 Grondwateraanvulling en -onttrekking

Grondwateraanvulling
De grondwateraanvulling is niet alleen afhankelijk van het optredende neerslagoverschot, maar tevens van het grondgebruik en bodemtype. Voor een gemiddeld jaar varieert de berekende grondwateraanvulling afhankelijk van de locatie van 0,5 tot 1,6 mm/dag.

Grondwateronttrekkingen
De binnen het studiegebied gelegen grondwateronttrekkingen zijn in het model opgenomen, voor zover deze een omvang van 50.000 m³/jaar of meer hebben. De locatie en grootte van deze winningen is ontleend aan gegevens van de Provincie Gelderland. Voor de ***ijking*** van het model Over-Betuwe is uitgegaan van de onttrokken hoeveelheden gedurende het jaar 1985.
Bij de ***effectberekeningen*** is voor onttrekkingen ten behoeve van drinkwater uitgegaan van de vergunningshoeveelheden in 1996; voor industriële winningen is de werkelijk onttrokken hoeveelheid grondwater in 1995 genomen. Een en ander is overeengekomen met de Provincie Gelderland.

3.4 IJking, gevoeligheid, verificatie en betrouwbaarheid

3.4.1 Algemeen

IJking via Monte-Carlotechniek
Bij de ijking van het model Over-Betuwe is gebruikgemaakt van de Monte-Carlotechniek, een optimalisatiemethodiek waarbij een groot aantal berekeningen wordt uitgevoerd met verschillende waarden voor diverse modelparameters. Deze waarden worden getrokken uit een kansdichtheidsverdeling.
De selectie van de te optimaliseren modelparameters heeft plaatsgevonden via een gevoeligheidsanalyse. Tijdens de gevoeligheidsanalyse is bepaald of een verandering in parameterwaarden effect heeft op de berekende stijghoogten in punten, waarvan metingen beschikbaar zijn.
Parameters waarvan tijdens de gevoeligheidsanalyse bleek dat variatie geen effect had, zijn buiten beschouwing gelaten bij de ijking.

Rekenperiode
Bij de ijking van stationaire grondwatermodellen is het van belang dat de modelinvoer- en ijkingsparameters gekozen worden over een periode waarbinnen het hydrologische systeem zo veel mogelijk in een evenwichtssituatie verkeert. Deze periode kan niet te lang worden gekozen, omdat anders veranderingen in de hydrologische situatie en autonome waterstaatskundige ontwikkelingen een rol gaan spelen. In het kader van de GMN-studie (Projectgroep GMN, 1991) is op basis van langjarige meteorologische en hydrologische tijdreeksen een analyse uitgevoerd ten behoeve van de keuze van de ijkperiode. Uit deze analyse is het jaar 1985 als het meest recente, gemiddelde hydrologisch jaar naar voren gekomen, waarbij ook de voorgaande jaren een redelijk gemiddelde meteorologische situatie kenden.
Voor de stationaire ijking van het model Over-Betuwe is, vanwege de grote overlap tussen beide modellen, eveneens gebruikgemaakt van gegevens over het jaar 1985.

Vorstperiode
Het jaar 1985 heeft een lange vorstperiode gekend, die invloed heeft gehad op de grondwateraanvulling. In het hooggelegen gebied zonder afvoer is het neerslagwater langer vastgehouden; de aanvulling is als het ware uitgesteld. Op de gemiddelde grondwateraanvulling over het hele jaar heeft deze tijdelijke berging, mede gezien de lange verblijftijd in de onverzadigde zone, geen effect gehad. Ook in het Rivierengebied is de neerslag vastgehouden tijdens de vorstperiode. Aan het einde van de vorstperiode wordt deze neerslag versneld afgevoerd. Zolang de bodem nog bevroren is, kan neerslag die na het invallen van de dooi is gevallen nog versneld zijn afgevoerd. Voor de ijking van het jaargemiddelde van de stijghoogten in het Rivierengebied, waar stijghoogten sterk afhankelijk zijn van het oppervlaktewaterpeil, is dit verschijnsel van ondergeschikt belang.

3.4.2 IJking

Opzet en uitvoering
Ter optimalisatie van het model zijn een drietal ijkingsexercities uitgevoerd. Daarbij zijn van verschillende parameters de waarden gevarieerd.

Bij exercitie 1 zijn de doorlatendheden van de verschillende watervoerende pakketten gevarieerd, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de gestuwde zones en de niet-gestuwde zones. Naast de doorlatendheden zijn de weerstand van de slechtdoorlatende lagen, de drainageweerstand van het topsysteem en de intreeweerstand van de rivieren gevarieerd.

Bij exercitie 2 is de hydraulische weerstand van de Kedichemklei afzonderlijk onderzocht. Daartoe is een onderverdeling gemaakt in 47 zones, waarbij alleen die zones bij de optimalisatie betrokken zijn, waarin het model gevoelig bleek voor variatie van de waarde van de hydraulische weerstand.
Bij exercitie 1 en 2 zijn alleen meetwaarden gebruikt voor observatieputten die buiten de gestuwde gebieden zijn gelegen.

Een derde exercitie is uitgevoerd voor het optimaliseren van de doorlatendheden en weerstanden in de gestuwde gebieden, verdeeld in 12 zones. Voor exercitie 3 zijn alleen meetwaarden gebruikt die binnen de gestuwde gebieden liggen.

Resultaten ijking
De resultaten van de ijking zijn samengevat in tabel 3 en zijn ter illustratie voor de deklaag en het tweede watervoerend pakket ruimtelijk weergegeven in de tekeningen 8 en 9 (bijlage 5).

In tabel 3 is achtereenvolgens aangegeven het aantal meetpunten in het Rivierengebied, het aantal meetpunten binnen het modelgebied (met uitzondering van de gestuwde gebieden), het gemiddelde van de afwijking tussen berekende en gemeten stijghoogten en het gemiddelde van de absolute waarde van deze afwijking.

De grootste variatie van de afwijkingen tussen de met het model berekende en de waargenomen stijghoogten treedt op in de deklaag en het eerste watervoerend pakket. Voor deze pakketten zijn

Tabel 3 Gemiddelde afwijking na ijking van berekende stijghoogten ten opzichte van de metingen

parameter	aantal meetpunten		gemiddelde afwijking t.o.v. metingen [m]		gemiddelde van de absolute afwijking [m]	
	Rivieren-gebied	gehele model*)	Rivieren-gebied	gehele model*)	Rivieren-gebied	gehele model*)
deklaag	22	25	-0,11	-0,18	0,27	0,50
WVP1	114	193	0,05	0,11	0,25	0,41
WVP2	20	47	0,29	0,24	0,36	0,37
WVP3	9	17	0,23	0,29	0,33	0,38

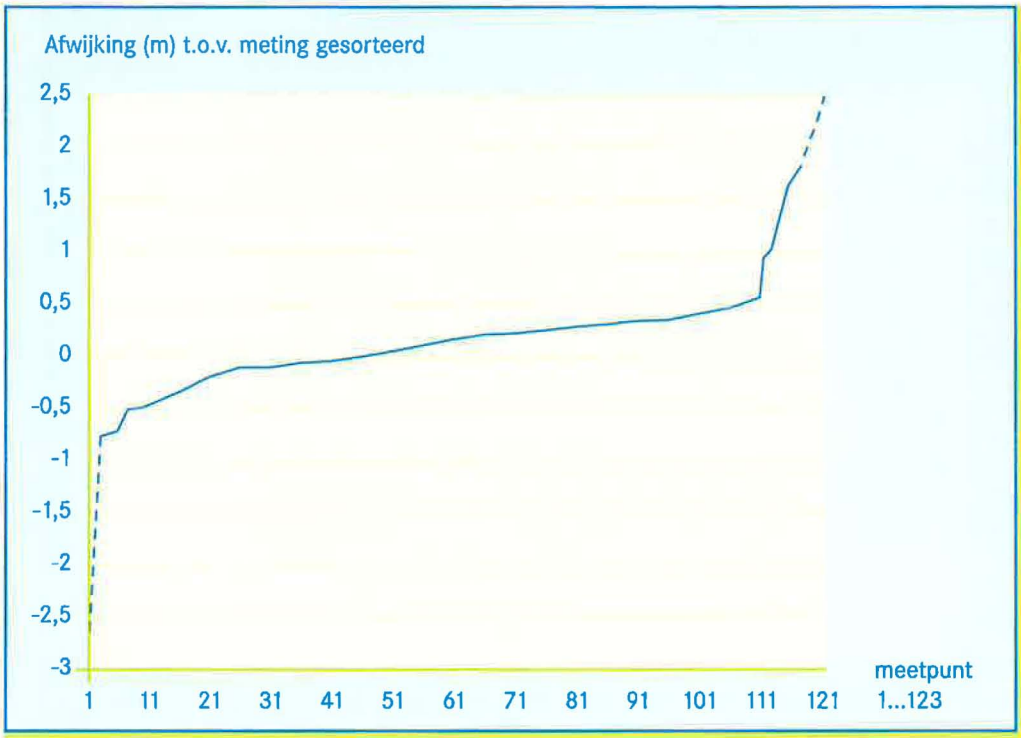
*) *met uitzondering van waarden in de gestuwde gebieden*

Figuur 4 Afwijkingen ijking ten opzichte van de metingen in de deklaag

de berekende afwijkingen, naar grootte gerangschikt, weergegeven in de figuren 4 en 5.
In het algemeen wordt geconcludeerd dat, gezien de berekende afwijkingen, een goed resultaat van de ijking op standen is verkregen.

3.4.3 Gevoeligheid bij de ijking

De gevoeligheid van het model voor variatie van de verschillende parameterwaarden is tijdens de optimalisatie (ijking) bepaald en weergegeven in tabel 4. Door middel van een min of één of meer plusjes is een indruk van de mate van gevoeligheid gegeven. Een '-' geeft aan dat de berekende stijghoogte nauwelijks reageert op een verandering in de waarde van de betreffende parameter, '+++' dat de berekende stijghoogte zeer gevoelig is voor variatie in de waarde van de parameter. Tijdens de optimalisatie is het model het meest gevoelig gebleken voor de doorlatendheid van het tweede watervoerende pakket (Harderwijk/Kedichem) en de hydraulische weerstand van de eerste slecht doorlatende laag (Kedichemklei), zodat deze parameters op regionaal niveau goed te ijken waren.



Figuur 4 Afwijkingen ijking ten opzichte van de metingen in het eerste watervoerende pakket

Tabel 4 Gevoeligheid van het regionale model tijdens de ijking

parameter	gevoeligheid
k-deklaag	-
kD WVP1(gestuwd/ongestuwd)	++/++
kD WVP2(gestuwd/ongestuwd)	+++/-
kD-WVP3	++
c-deklaag	-
c-Kedichem	+++
c-Tegelen	++
grondwateraanvulling (gestuwd/ongestuwd)	+++/-
drainageweerstand	++
intreeweerstand rivieren	-

Tevens valt op in tabel 4 dat het model weinig gevoelig is voor de parameters die het holocene pakket beschrijven. Dit wordt onder andere veroorzaakt doordat de grondwaterstanden in het Rivierengebied vrijwel volledig gestuurd worden door het drainageniveau van het oppervlaktewaterstelsel.

3.4.4 Verificatie

Na de ijking van het model is het niet zeker of het model ook onder andere condities dan geldend tijdens de ijkperiode goede resultaten geeft. Om dit te toetsen is het model geverifieerd aan een werkelijke situatie die duidelijk afwijkt van de ijksituatie.
Voor de verificatie is gezocht naar hydrologische ingrepen (in het centrum van) het modelgebied, die goed via metingen zijn vastgelegd. Dit bleek alleen (de ontwikkeling van) de winning Fikkersdries. Daarom is de verificatie van het model Over-Betuwe uitgevoerd door het berekenen van de verlagingen als gevolg van de grondwateronttrekking Fikkersdries. De berekende verlagingen zijn vervolgens vergeleken met uit metingen geschatte verlagingen door tijdreeksanalyse (Rolf, 1991).

In tabel 5 worden de met het model berekende verlagingen in het eerste watervoerende pakket vergeleken met de via tijdreeksanalyse uit de grondwaterstandsmetingen bepaalde verlagingen.

Uit de verificatie blijkt dat de met het model berekende verlagingen niet structureel te laag of te hoog zijn. Er is ook niet een duidelijk verband te leggen tussen de locatie van de meetpunten met een grotere afwijking en de model-parameterwaarden in de omgeving van Fikkersdries. Uit de verificatie valt niet op te maken of er een structurele of conceptuele fout in het model zit; de verificatie geeft geen handvatten op basis waarvan het ijkingsresultaat aangepast zou moeten worden.

Tabel 5 Verificatie van het model Over-Betuwe aan de verlagingen bij Fikkersdries

meetpunt	berekende verlaging (m)	verlaging uit metingen (m)
40AP0331	0,12	0,07
40AP0268	0,10	0,35
40AP0264	0,11	0,16
40AP0406	0,08	0,41
40AB0017	0,21	0,24
40AP0258	0,27	0,36
40AP0281	0,26	0,11
40AP0025	0,40	0,22

3.4.5 Betrouwbaarheid van de scenarioberekeningen

Belangrijk bij het bepalen van de effecten van de verschillende alternatieven is de herkomst van het extra te onttrekken grondwater. De extra winning kan gevoed worden door afname van de drainage naar het oppervlaktewater of eventueel een toename van de infiltratie vanuit het oppervlaktewater en daarnaast door van de Veluwe afstromend grondwater.

Uit de gevoeligheidsanalyse is gebleken dat de doorlaatvermogens van de diepere pakketten, maatgevend voor de afstroming van de Veluwe, goed te ijken zijn.

De voeding vanuit het oppervlaktewater ondervindt de volgende weerstanden:
- drainageweerstand topsysteem en intreeweerstand rivieren
- weerstand van het Holoceen
- weerstand van de Kedichemklei

De weerstand van de Kedichemklei bleek regionaal goed te ijken. Daarnaast bleek uit de gevoeligheidsanalyse echter dat de parameters van het Holocene pakket niet goed te ijken zijn aan de hand van grondwaterstanden. Omdat bij de modellering echter extra aandacht is besteed aan de deklaag (simulatie van zandbanen), de weerstand van de Kedichemklei en de doorlaatvermogens van de diepere watervoerende pakketten goed te ijken bleken, zijn met het model verantwoorde voorspellingen mogelijk van de effecten van de verschillende alternatieven

4 Afgeleide hydrologische effecten

Zoals in hoofdstuk 2 is vermeld, zijn niet alle berekende hydrologische effecten bij de vergelijking van alternatieven betrokken, omdat het deels primaire effecten zijn. In dit hoofdstuk werken we voor de zes afgeleide hydrologische effecten uit hoe ze bij de beoordeling zijn betrokken. In de meeste gevallen houdt dat een extra vertaalslag met de resultaten van (model)berekeningen in, gericht op kwantificering van een nader gedefinieerd effect. In tabel 6 is samengevat hoe de zes effecten zijn gekwantificeerd.

Tabel 6 Samenvatting kwantificering afgeleide hydrologische effecten

afgeleid hydrologisch effect	kwantificering
kwaliteitsontwikkeling van het opgepompte water	voorspelling hardheid en chloridegehalte ruwwater met behulp stroombaanberekeningen (over 5, 10, 25 en 100 jaar)
verandering in de waterkwaliteit	kwalitatieve beoordeling van de kwaliteitsverandering van het freatisch water en oppervlaktewater
beïnvloeding van bodemverontreinigingen	aantal verontreinigingen waar meer dan 0,25 m verlaging optreedt
invloed op bestaande grondwaterwinningen	gesommeerde capaciteit onttrekkingen in het gebied waarbinnen in het bepompte pakket meer dan 0,25 m verlaging optreedt
vermindering van de beekafvoer	vermindering van de uitstroom vanuit de bodem naar de beken in m^3 per dag
effecten op de waterhuishouding in de Over-Betuwe	afvoervermindering per peilvak in mm/jaar
toename van de aanvoer van slib	te verwachten hoeveelheid extra slib met verontreinigingsklasse 3 of 4 in ton/jaar

Ten behoeve van de berekening van de effecten op de waterhuishouding is onderscheid gemaakt tussen de effecten op wateraanvoer, de afvoer van de Heelsumsche en Renkumse beken en het saldo van de jaarlijkse aanvoer en afvoer per peilvak. Voor de effecten op de wateraanvoer in de Over-Betuwe is het oppervlaktewatersysteem gemodelleerd via een waterbalansbenadering. De interactie met het grondwater is gemodelleerd met het regionale grondwatermodel.
De effecten op de afvoer van de Renkumse en Heelsumsche beken en het saldo van de jaarlijkse aanvoer en afvoer per peilvak volgen direct uit de regionale grondwatermodellering.

4.1 Kwaliteitsontwikkeling van het opgepompte water

Uitgangspunten

Om inzicht te krijgen in de kwaliteitsontwikkeling van het opgepompte ruwe water is een analyse gemaakt van de huidige kwaliteit van het grondwater in relatie tot de herkomst van de stroombanen die op verschillende tijden de voorgenomen winning bereiken. Zoals uit de beschrijving van grondwaterkwaliteitsgroepen (Deelrapport 4) blijkt, zijn met name de hardheid en chlorideconcentratie onderscheidend. Daarom is voor deze twee parameters de analyse uitgevoerd.

Opzet en uitvoering

Ter bepaling van de te verwachten hardheid en chlorideconcentratie is met behulp van berekende stroombanen de huidige locatie bepaald van waterdeeltjes die over een bepaalde tijd (5, 10, 25 respectievelijk 100 jaar) de winning bereiken. Op grond van de ter plekke aanwezige grondwaterkwaliteit is aan deze waterdeeltjes een hardheid en chlorideconcentratie toegekend.
Door uitmiddeling van de toegekende waarden over alle waterdeeltjes met eenzelfde verblijftijd is een schatting gemaakt van de totaal te verwachten hardheid respectievelijk chlorideconcentratie in het ruwe water. Voor beide is dus van conservatieve stroming uitgegaan.

4.2 Veranderingen in de waterkwaliteit

Uitgangspunten

In de Richtlijnen voor dit MER wordt gevraagd, inzicht te geven in te verwachten waterkwaliteitsveranderingen in het freatische grondwater en het oppervlaktewater.
Dergelijke veranderingen zijn bij de start van een grondwaterwinning primair te verwachten door lokale afname van kwel (of omslag naar infiltratie); secundair wordt de waterkwaliteit beïnvloed door wateraanvoer van elders, bedoeld om de effecten van de grondwaterwinning te compenseren.

Opzet en uitvoering

Bij de effectvoorspelling wordt onderscheid gemaakt tussen de zuidelijke Veluwezoom en het Rivierengebied. Op de zuidelijke Veluwezoom speelt alleen het primaire effect een rol (afname kwel); wateraanvoer is niet mogelijk. De regionale afname van kwel wordt rechtstreeks berekend met het hydrologisch model (zie hoofdstuk 3) en als primair hydrologisch effect in het MER gepresenteerd. Een voorspelling van de waterkwaliteitsverandering op lokale schaal is op basis daarvan niet mogelijk. De afname van kwel wordt als belangrijke parameter meegenomen in de ecologische effectvoorspelling.
In het Rivierengebied bevindt zich in het eerste watervoerende pakket 'riviervlaktewater' (zie Deelrapport 4). Dit water wijkt ten aanzien van de eutrofiëringsparameters af van de huidige oppervlaktewaterkwaliteit. Wijzigingen in aan- en afvoer van oppervlaktewater werken zodoende door in de kwaliteit van oppervlaktewater en freatisch water, die vooral wordt bepaald door de kwaliteit van het via de Linge aangevoerde Rijnwater en door lokale invloeden vanuit het landbouwkundige gebruik van het gebied. Berekend wordt hoeveel water per peilvak extra moet worden aangevoerd (zie ook paragraaf 4.6) om de kwelvermindering te compenseren. De waterkwaliteitsverandering wordt kwalitatief ingeschat (niet per peilvak).

4.3 Beïnvloeding van bodemverontreinigingen

Uitgangspunten

Veranderingen in het hydrologisch systeem kunnen effect hebben op het gedrag van mobiele verontreinigingen in de bodem. Deze invloed kan op drie manieren tot uiting komen:

- verontreiniging verplaatst zich met een dalende grondwaterstand mee en absorbeert ter hoogte van de 'nieuwe' grondwaterspiegel weer aan de bodemdeeltjes: dit leidt tot een grotere verticale verspreiding van grondverontreiniging;
- door vergroting van het stijghoogteverschil tussen de deklaag en het eerste watervoerende pakket neemt de neerwaartse flux van het grondwater toe en daarmee de neerwaartse verplaatsing van opgeloste verontreiniging;
- de verandering van het horizontale stromingspatroon in het eerste watervoerende pakket kan leiden tot een (andere) horizontale verplaatsing van grondwaterverontreiniging in dit pakket.

In het studiegebied komen geen omvangrijke gevallen van bodemverontreiniging voor. Wel zijn er kleinere verontreinigingen aanwezig, bijvoorbeeld rond opslagtanks voor olieproducten, tankstations en enkele stortplaatsen. Ook zijn enkele locaties bekend waar op grond van huidige activiteiten is verondersteld dat mogelijk bodemverontreiniging aanwezig is (verdachte locaties). Over de aard en omvang van de verontreiniging zijn in alle gevallen slechts weinig gegevens beschikbaar, doorgaans omdat slechts oriënterend onderzoek is uitgevoerd. Bij de beoordeling van de effecten op bodemverontreiniging nemen we daarom aan dat de verontreinigingen qua beïnvloedbaarheid vergelijkbaar zijn.
Na keuze van één van de alternatieven kunnen bodemverontreinigingen, die mogelijk door dit alternatief worden beïnvloed, nader worden onderzocht, zodat duidelijkheid ontstaat over de concrete invloed die de voorgenomen winning heeft op de betreffende verontreiniging(en).

Opzet en uitvoering

De daling van de grondwaterstand is gebruikt om te beoordelen of het hydrologisch systeem zodanig verandert, dat sprake is van significante beïnvloeding van eventuele verontreinigingen.
Aangenomen is dat bij een berekende grondwaterstandverlaging van meer dan 0,25 meter een bodemverontreiniging significant wordt beïnvloed. De waarde van 0,25 meter is in zekere mate vrij gekozen, waarbij echter rekening is gehouden met de nauwkeurigheid waarmee grondwaterstanddalingen in geohydrologische berekeningen kunnen worden voorspeld.

De alternatieven zijn vergeleken op het aantal verontreinigde locaties, stortplaatsen en verdachte locaties binnen het gebied met meer dan 0,25 meter verlaging. Er vindt geen weging plaats, omdat er geen aanwijzingen zijn dat beïnvloeding van ***aangetoonde*** verontreinigingen een groter milieu-effect heeft dan beïnvloeding van ***verdachte*** locaties of stortplaatsen. Voor de effectvoorspelling is het gebied geselecteerd waarbinnen de berekende grondwaterstanddaling meer dan 0,25 meter bedraagt. Daarna is met een tweede bewerking het aantal stortplaatsen, verdachte en verontreinigde locaties geteld die in dit gebied voorkomen.

4.4 Invloed op bestaande grondwaterwinningen

Uitgangspunten

De voorgenomen grondwaterwinning kan op drie manieren invloed hebben op bestaande grondwaterwinningen:

- door veranderingen in het stromingspatroon van het grondwater verandert de ligging van het beschermingsgebied van bestaande winningen;
- door veranderingen in het stromingspatroon van het grondwater verandert (op termijn) de kwaliteit van het ruwwater van bestaande winningen;
- door de verlaging van de stijghoogte in het pakket, waarin bestaande winningen grondwater onttrekken, verandert het grondwaterniveau in de pompput van deze winningen.

Binnen het reserveringsgebied is alleen het beschermingsgebied van de winplaats Fikkersdries gelegen. Bij alle alternatieven wijzigt de ligging van het beschermingsgebied van deze winplaats enigszins. Dit aspect is dus niet onderscheidend voor de alternatieven.

Mogelijke veranderingen van de kwaliteit van het ruwwater kunnen optreden bij winningen in het tweede watervoerende pakket, waar de waterkwaliteit in het bepompte pakket verschilt van de kwaliteit in het eerste watervoerende pakket. Door een toename van het stijghoogteverschil over de slecht doorlatende laag tussen deze pakketten, kan zo'n winning (meer) water uit het eerste watervoerende pakket aantrekken. Bij bestaande winningen aan de rand van gebieden met een bepaalde waterkwaliteit kan door wijzigingen in de horizontale toestroming een verandering in de ruwwaterkwaliteit optreden.

Verlagingen van het grondwaterniveau in de pompput zorgen voor een toename van de benodigde pompenergie en kunnen ertoe leiden dat de opvoerhoogte van pompen onvoldoende is.

Toename van stijghoogteverschillen en wijzigingen in stromingsrichtingen vinden plaats, waar de voorgenomen winning 'voldoende grote' verlagingen veroorzaakt. Deze parameter is gekozen om het effect van de voorgenomen grondwaterwinning op bestaande winningen te bepalen.

Opzet en uitvoering

Analoog aan de bepaling van de invloed op bodemverontreinigingen is aangenomen dat bij een verlaging van meer dan 0,25 meter significante invloeden kunnen optreden. Aangezien de meeste bestaande winningen in het reserveringsgebied en directe omgeving zich in het tweede watervoerende pakket bevinden, is de effectvoorspelling gebaseerd op deze verlaging in dit tweede watervoerende pakket.

Bij de effectvoorspelling is rekening gehouden met de grootte van de winningen die worden beïnvloed. Dit is gebeurd door de alternatieven te vergelijken op het totale bestaande onttrekkingsdebiet binnen het 0,25 meter verlagingsgebied in het tweede watervoerende pakket.

Bij deze effectvoorspelling is voor elk alternatief het gebied geselecteerd waarbinnen de berekende verlaging in het tweede watervoerende pakket meer dan 0,25 meter bedraagt. Binnen dit gebied zijn aanwezige winningen geselecteerd, waarna een sommatie van de in 1995 gerealiseerde onttrekkingshoeveelheid heeft plaatsgevonden.

4.5 Vermindering van de beekafvoer

Uitgangspunten

De watervoerendheid van de Renkumse en Heelsumsche Beken is een belangrijk element in de (beleidsmatige) beoordeling van de mate van verdroging op de zuidelijke Veluwezoom. Daarnaast wordt bij het droogvallen van de beken het aquatisch biotoop voor beekflora en -fauna vernietigd. Elke vermindering van afvoer draagt bij aan het (tijdelijk) droogvallen van grotere of kleinere delen van deze beken. Daarom is de vermindering van de afvoer een geschikt beoordelingscriterium om de gevolgen van de grondwaterwinning Over-Betuwe in beeld te brengen.

Opzet en uitvoering

De uitstroom van grondwater naar de beken is een directe uitvoerparameter van de hydrologische modelberekeningen. De beken zijn als lijnsegment in het model opgenomen, zodat de invloed van een grondwaterwinning op de beeksystemen afzonderlijk kan worden geïdentificeerd. Voor de effectvergelijking is daaruit de totale afvoervermindering over beide beeksystemen bepaald.

4.6 Effecten op de waterhuishouding in de Over-Betuwe

Om de consequenties van de winning voor het waterbeheer in de Over-Betuwe te kunnen beoordelen, zijn de grootte-orde van de benodigde hoeveelheid extra aanvoerwater en de te verwachten invloed op de waterhuishouding van afzonderlijke peilvakken van belang. Op basis hiervan kan met de waterschappen worden gezocht naar noodzakelijke aanpassingen in het waterbeheer en naar mitigatiemogelijkheden voor de voorgenomen winning via het waterbeheer. *Het onderzoek is (in dit stadium)* ***niet*** *gericht op het ontwerp van aanpassingen in het oppervlaktewatersysteem, maar op de consequenties voor het waterbeheer van de voorgenomen grondwaterwinning.* Het ontwerp van aanpassingen in het oppervlaktewatersysteem komt aan de orde zodra duidelijk is welk van de alternatieven wordt uitgevoerd.

Uitgangspunten

De effecten van de grondwaterwinning op de waterhuishouding worden per peilvak in het studiegebied beschouwd. De waterhuishouding in de peilvakken wordt getypeerd door afvoer van water in de winter, en aanvoer in de zomer. Op jaarbasis wordt in de huidige situatie in alle peilvakken meer water afgevoerd dan aangevoerd. Het grondwatermodel berekent dus voor elk peilvak een netto-afvoer van grondwater naar het oppervlaktewater.

Te verwachten effecten van de grondwaterwinning op de waterhuishouding zijn een verlaagde afvoer in perioden met neerslagoverschot (winter) en een grotere benodigde aanvoer in perioden met neerslagtekort (zomer). De benodigde extra aanvoer in de zomer is voor de waterschappen het cruciale effect.

De effecten worden gekarakteriseerd door de verandering van het saldo van (netto) jaarlijkse aanvoer en afvoer. Dit is namelijk direct te berekenen met het regionale grondwatermodel. In het grondwatermodel is deze verandering van het saldo berekend als een afvoervermindering. De afname van het saldo betekent onder meer een grotere benodigde aanvoer in de zomer, en dus een groter effect op de waterhuishouding.

Opzet en uitvoering van de effectvoorspelling

Evenals de invloed op de beeksystemen wordt de invloed van de (verschillende alternatieven voor de) winning op de afzonderlijke peilvakken berekend met het regionale grondwatermodel. Hiervoor is in het grondwatermodel elk peilvak afzonderlijk opgenomen. Voor elk peilvak is de drainage- en infiltratieweerstand en het drainage- of polderpeil in het grondwatermodel ingevoerd. Met het grondwatermodel wordt het saldo van de jaarlijkse aanvoer en afvoer per peilvak berekend.

Met het regionale geohydrologische model is de verandering van de infiltratie- en kwelflux tussen de sloten en het grondwater berekend. Dit is gelijk aan het saldo van de te verwachten verandering van jaarlijkse aan- en afvoer. Voor elk peilvak is het verschil tussen het berekende saldo in de referentiesituatie en de alternatieven bepaald (verandering). Voor elk alternatief is de som van de veranderingen als maat gebruikt voor het effect op de waterhuishouding.

4.7 Toename van de aanvoer van slib

Uitgangspunten

De hoeveelheid extra aan te voeren water heeft een directe relatie met de hoeveelheid verontreinigd baggerslib die zich in het studiegebied zal ophopen. De toename van de hoeveelheid verontreinigd baggerslib is een van de beoordelingscriteria die in de Richtlijnen voor dit MER expliciet zijn genoemd. In de Over-Betuwe vindt aanvoer van verontreinigde zwevende stof plaats in de zomer, wanneer water wordt ingelaten in de Linge bij Doornenburg en bij het Kuykgemaal. Deze zwevende stof bezinkt, waardoor de waterbodem van de Linge en andere watergangen in de Over-Betuwe worden verontreinigd.
Als gevolg van de voorgenomen winning moet meer water worden ingelaten, zodat ook de slib-aanvoer toeneemt. Hierbij moet onderscheid gemaakt worden tussen de inlaat bij Doornenburg en bij het Kuykgemaal: het gehalte zwevende stof in het ingelaten water is bij Doornenburg hoger dan bij het Kuykgemaal (zie ook Deelrapport 4).
Met het grondwatermodel is een schatting gemaakt van de nettohoeveelheid water die als gevolg van de voorgenomen winning extra moet worden aangevoerd, zie Deelrapport 5, hoofdstuk 3.
Deze schatting is tevens uitgewerkt voor de afzonderlijke peilvakken, waarmee de verhouding tussen de benodigde extra aanvoer via Doornenburg en via het Kuykgemaal is bepaald, uitgaande van de huidige situatie in het beheer van de Linge. Eventuele extra inlaat via het Kuykgemaal, ter vermindering van de meer verontreinigde inlaat bij Doornenburg, is niet bij de effectvoorspelling betrokken.
In de praktijk is, als gevolg van allerlei verliezen in het oppervlaktewatersysteem, een circa tweemaal zo grote inlaat nodig dan de netto benodigde hoeveelheid. Hiermee is wel rekening gehouden bij de effectvoorspelling.
Uit de debietmetingen in de Linge blijkt dat de overstorthoeveelheid over de stuw Nieuwe Rijksweg (de bovenstroomse grens van het studiegebied) ook in perioden met wateraanvoer maar in beperkte mate overeenkomt met de inlaathoeveelheden bij Doornenburg. In het gebied ten oosten van de snelweg Arnhem-Nijmegen wordt in sommige perioden nagenoeg al het aanvoerwater gebruikt, terwijl in andere perioden met wateraanvoer via Doornenburg aanzienlijke doorstroming blijkt op te treden. Desondanks nemen we aan dat de extra hoeveelheid aanvoer in peilvakken die afhankelijk zijn van de inlaat bij Doornenburg, zoals met het grondwatermodel berekend en gecorrigeerd voor verliezen, daadwerkelijk via Doornenburg zullen moeten worden aangevoerd.

Voor de gehaltes zwevende stof in het aangevoerde water worden de veronderstellingen uit het Deelrapport 4 overgenomen: het gehalte zwevende stof in aanvoerwater bij Doornenburg bedraagt 42 mg/l, bij het Kuykgemaal bedraagt het zwevendestofgehalte een kwart van deze waarde.

De toename van de aanvoer van zwevende stof via de inlaten bij Doornenburg en het Kuykgemaal wordt als maatgevend beschouwd voor de effectvoorspelling. Voor zover bekend is alle ingelaten zwevende stof zodanig verontreinigd dat het in slibklasse 3 à 4 valt. Mogelijke veranderingen in de aard en mate van verontreiniging van het zwevende stof zijn afhankelijk van de kwaliteitsontwikkeling van het zwevende stof in de Rijn. Er zijn geen aanwijzingen dat de kwaliteit van het zwevende stof afhankelijk is van het inlaatdebiet. Variaties in de kwaliteit zijn niet in de effectvoorspelling meegenomen.

Opzet en uitvoering van de effectvoorspelling

De toename van de aanvoer van zwevende stof is afgeleid uit de toename van de hoeveelheid ingelaten water. De hoeveelheid inlaatwater is gebaseerd op de fluxverandering tussen de sloten en het grondwater die is berekend in de Over-Betuwe. Aangezien het model stationair is, is aangenomen dat de volledige berekende fluxverandering gedurende vier (zomer)maanden extra moet worden aangevoerd als de voorgenomen winning in bedrijf is, zie ook hoofdstuk 4.
Vanwege genoemde verliezen is de berekende fluxverandering vermenigvuldigd met een factor twee om tot de hoeveelheid inlaatwater te komen. De modelknooppunten die in de Over-Betuwe liggen, zijn toegewezen aan één van de peilvakken. Vervolgens is voor elk alternatief de sommatie per peilvak, per 'aanvoerroute' en de gehele Over-Betuwe uitgevoerd.
Door vermenigvuldiging met de betreffende zwevendestofgehaltes is voor elk alternatief de toename van de aanvoer van zwevende stof berekend.

5 Milieu-effecten

In dit hoofdstuk worden voor vier milieu-effecten de bepalingsmethoden uitgewerkt. De meeste aandacht gaat daarbij uit naar de bepalingsmethode voor effecten op grondwaterafhankelijke vegetatie. De 'natuurwaarde' van de aanwezige vegetatie vormt de basis voor deze vergelijking. In tabel 7 is samengevat hoe de effecten zijn gekwantificeerd.
Enkele andere milieu-aspecten waarop mogelijk effecten te verwachten zouden zijn, blijken uiteindelijk niet afzonderlijk in de effectbeoordeling te hoeven of kunnen worden meegenomen. De belangrijkste zijn:

- de invloed van de voorgenomen winning op vlinders is een directe afgeleide van de vegetatie: worden waardplanten aangetast, dan zal ook de vlinderpopulatie beïnvloed worden;
- over de biotoopeisen van amfibieën en reptielen in relatie tot de grondwaterstand is onvoldoende informatie beschikbaar om een effectvoorspelling uit te voeren.

Tabel 7 Samenvatting kwantificering milieu-effecten

milieu-effect	kwantificering
effecten op grondwaterafhankelijke vegetatie	afname natuurwaarden door daling grondwaterstand afname natuurwaarden door omslag kwel → infiltratie
invloed op waterplanten en overige aquatische natuurwaarden	verandering natuurwaarden door nieuwe watersamenstelling
effecten op weidevogels	gewogen oppervlakte beïnvloed weidevogelgebied door daling grondwaterstand
oxidatie van archeologische waarden	gewogen oppervlakte beïnvloed gebied met oxideerbare archeologische waarden door daling grondwaterstand

5.1 Effecten op grondwaterafhankelijke vegetatie

5.1.1 Uitgangspunten

Grondwaterwinning in de Over-Betuwe kan verlagingen veroorzaken van de grondwaterstand en omslag van kwel naar infiltratie. Waar deze effecten optreden, zullen de standplaatsfactoren voor grondwaterafhankelijke vegetatie veranderen.
Door de berekende hydrologische situatie te vergelijken met de standplaatseisen van de huidige vegetaties binnen het studiegebied, kunnen de alternatieven worden vergeleken op het aspect 'invloed op grondwaterafhankelijke vegetatie'. Deze vergelijking richt zich met name op de eisen die de vegetatietypen stellen aan het kwantitatieve grondwaterregime. De invloed van het beheer van grondwaterafhankelijke vegetatietypen is niet meegenomen, omdat met beheer voornamelijk de vegetatiesuccessie wordt beïnvloed en niet de standplaatsfactor 'grondwaterstand'.

5.1.2 Opzet van de effectbepaling

Verandering in het verloop van de grondwaterstand door het jaar
De effectvoorspelling is in principe gebaseerd op de verandering van grondwaterstandsduurlijnen op de standplaats van een vegetatietype. Grondwaterstandsduurlijnen geven de overschrijdingskans weer voor een bepaalde grondwaterstand (ten opzichte van maaiveld) gedurende het jaar.
Bij grondwaterwinning kan de grondwaterstandsduurlijn op een bepaalde plaats niet alleen dalen, maar ook van vorm veranderen. Zo kunnen verlagingen in de zomer veel groter zijn dan in de winter, omdat 's zomers een groot deel van het oppervlaktewatersysteem droogvalt.

In het hydrologisch onderzoek (zie hoofdstuk 3) is echter geconcludeerd dat met name in de Over-Betuwe het hydrologisch systeem gedurende het gehele jaar zó constant is, dat optredende verlagingen stationair goed kunnen worden voorspeld. Hierbij is van belang dat het voorgenomen onttrekkingsregime gelijkmatig is. Dit betekent dat bestaande grondwaterstandsfluctuaties na de start van de voorgenomen winning op een lager niveau, maar via hetzelfde patroon zullen plaatsvinden.

Vegetatie en natuurwaarden
De effectbepaling in dit MER heeft zich gericht op de natuurgebieden binnen het studiegebied.
Op basis van de actuele vegetatiesamenstelling van deze natuurgebieden zijn locaties geselecteerd waar grondwater- of kwelafhankelijke vegetatietypen voorkomen (zowel vlakdekkende vegetatiegegevens van terrestrische vegetatietypen als losse opnames van oever- en watervegetaties).
De vegetatie in de natuurgebieden is in Deelrapport 4 beschreven. De natuurwaarde van de vegetatietypen is bepaald op basis van bedreigdheid en zeldzaamheid van de plantensoorten binnen elk vegetatietype. Deze waarderingswijze is een vereenvoudigde vorm van de natuurwaarderingsmethode die de Provincie Gelderland hanteert. De uitkomsten zijn getoetst en sterk vergelijkbaar bevonden aan de natuurwaardering die de Provincie Gelderland toekent.

Natuurwaarden koppelen aan oppervlakten
Het effect van de alternatieven is uitgedrukt in een index die is samengesteld uit de natuurwaarde en de oppervlakte van de aangetaste vegetatie. Het effect van aantasting van een waardevol vegetatietype wordt immers groter naarmate het oppervlak van dit vegetatietype groter is.
Aantasting van een waardevol vegetatietype is ernstiger dan aantasting van eenzelfde oppervlak van een niet-waardevol vegetatietype.
Helaas waren vlakdekkende vegetatiegegevens niet altijd beschikbaar. Daarom zijn de volgende aannames gedaan ten aanzien van de toekenning van oppervlakten aan vegetatietypen:
- de oppervlakte van een natuurgebied is evenredig verdeeld over de vegetatietypen die voorkomen in dit natuurgebied (één vegetatietype krijgt dus de totale oppervlakte, tien typen elk ééntiende deel);
- de oppervlakte van slootoevervegetatietypen is gelijk gesteld aan de oppervlakte van de opname, aangezien de opname alleen zeker is.

Grondwaterstandregime van vegetatietypen
Om nu te kunnen berekenen welke effecten optreden op de grondwaterafhankelijke vegetatie als gevolg van grondwaterstanddaling, is de ***berekende*** verlaging van de grondwaterstand vergeleken met de ***vereiste*** grondwaterstandrange van het betreffende vegetatietype.
Deze grondwaterstandrange kan in het ideale geval per vegetatietype worden uitgedrukt in de ***gemiddeld hoogste grondwaterstand*** (GHG), de ***gemiddelde grondwaterstand*** (GX) en de ***gemiddeld laagste grondwaterstand*** (GLG) ten opzichte van het maaiveld (bijlage 3). Omdat van een groot aantal vegetatietypen in het studiegebied niet alle (en vaak slechts één) waarden van GHG, GX en GLG bekend waren, is in dit MER de daling van de grondwaterstand vergeleken met de range tussen GX en GLG. Wanneer alleen GX bekend was, is de bandbreedte GX-GLG op 0 m gesteld.
Voor de vegetaties in de uiterwaarden is om tweeërlei redenen geen effectvoorspelling uitgevoerd. Er zijn geen grondwatertrappen beschikbaar en bovendien zijn de grondwaterstandschommelingen als gevolg van de rivierdynamiek vele malen groter dan de grondwaterstanddalingen door de voorgenomen winning.

Wanneer een daling van de grondwaterstand wordt voorspeld, hangt het effect van deze daling af van de grondwaterstandrange van de vegetatie. Wanneer de daling van de grondwaterstand minder dan de helft van deze bandbreedte bedraagt, dan kan het vegetatietype in verarmde vorm blijven bestaan. De natuurwaarde van dit vegetatietype neemt in potentie met de helft af. Bedraagt de daling van de grondwaterstand méér dan de helft van de bandbreedte, dan zijn de standplaatsfactoren zodanig veranderd dat het type niet meer voor kan komen. De gehele natuurwaarde zal verdwijnen (zie tabel 8).

Tabel 8 Beslisregels bandbreedte grondwaterstanden

daling grondwaterstand	bandbreedte GX-GLG	gevoeligheid
5-10 cm	> 20 cm	natuurwaarde wordt gehalveerd
	< 20 cm	gehele natuurwaarde verdwijnt
10-25 cm	> 50 cm	natuurwaarde wordt gehalveerd
	< 50 cm	gehele natuurwaarde verdwijnt
25-50 cm	gehele	gehele natuurwaarde verdwijnt
50-75 cm	gehele	gehele natuurwaarde verdwijnt
>75 cm	gehele	gehele natuurwaarde verdwijnt

Demping van verlagingen door vaste slootpeilen

De waterschappen zullen in overleg met Waterbedrijf Gelderland het beheer van het oppervlaktewatersysteem rond de toekomstige winlocatie zodanig aanpassen, dat starten van de voorgenomen winning niet leidt tot veranderingen in de slootpeilen. Dit betekent dat de verlaging van de grondwaterstand in de directe omgeving van sloten in feite 'scharniert' om het vaste slootpeil heen. Daardoor zullen grondwaterafhankelijke vegetaties langs sloten minder worden beïnvloed door een daling van de grondwaterstand dan vegetaties op andere plaatsen.
Hoewel uit berekeningen blijkt dat de demping van verlagingen maar over een zeer beperkte afstand optreedt, is deze afstand voldoende om te voorkomen dat slootoevervegetaties aan verlagingen worden blootgesteld die tot schade aan deze vegetatie leiden. Daarbij speelt een rol, dat voor alle alternatieven de modelmatig berekende verlagingen in gebieden met waardevolle slootoevervegetaties vrij beperkt zijn.

Alhoewel slootpeilen constant blijven in een gebied met grondwaterstandverlagingen, kan een verandering in oppervlaktewaterkwaliteit optreden, bijvoorbeeld ten behoeve van extra aanvoer van water. Hierdoor kan de kwaliteit van het grondwater in de slootoevers veranderen wanneer er (meer) slootwater in de bodem infiltreert of minder kwel optreedt. Beide veranderingen hebben mogelijk effect op de watersamenstelling in de wortelzone van de planten. De wijze van effectvoorspelling ten aanzien van deze veranderingen is uitgewerkt onder het kopje 'omslag kwel naar infiltratie'.

Effectvoorspelling voor kwelafhankelijke vegetatie
Er is geen kwantitatieve informatie beschikbaar over de relatie kwel- (of infiltratie-) intensiteit en vegetatietypen. Wel is duidelijk dat kwel een belangrijk aanvoermechanisme is voor bijvoorbeeld calcium. De voorspelling van effecten van verandering in kwel richt zich daarom op het omslagtraject van kwel naar infiltratie, wanneer daling van de grondwaterstand niet optreedt:

- als de bodem kalkrijk is op plaatsen waar kwel omslaat in infiltratie, dan vermindert de natuurwaarde van de betreffende vegetatie met de helft;
- als de bodem kalkarm is op een plaats waar kwel omslaat in infiltratie, dan verdwijnt het vegetatietype volledig.

Wijzigingen in grondwatersamenstelling zijn afgeleide effecten van veranderingen in grondwaterstand en kwelintensiteit. Vaak zijn ze zeer locatiespecifiek. Bij deze effectvoorspelling zijn ze daarom niet afzonderlijk meegenomen, maar bij de effectvoorspelling voor kwel betrokken.

5.1.3 Uitvoering van de effectbepaling

Voor natuurgebieden en slootoevers binnen het studiegebied is per alternatief getoetst of de berekende grondwaterstand binnen het door de vegetatietypen vereiste traject blijft en of kwel omslaat in infiltratie. Daarbij zijn de kaart met voorkomende vegetatietypen, het bijbehorende bestand met grondwaterstandregimes en de kaarten met de huidige grondwaterstand en de grondwaterstand en kwelsituatie voor het betreffende alternatief gecombineerd.
Per natuurgebied of slootoever is vervolgens met behulp van de beschreven aannames berekend welke vegetatietypen zullen verarmen of verdwijnen en hoe groot de oppervlakte daarvan is. Dit leidt tot een verlies aan natuurwaarden, gewogen voor de oppervlakte, ten gevolge van daling van de grondwaterstand en omslag van kwel naar infiltratie.

5.2 Invloed op waterplanten

Uitgangspunten
De voorgenomen grondwaterwinning kan met name in het reserveringsgebied leiden tot veranderingen van de waterkwaliteit in de sloten, bijvoorbeeld door extra aanvoer van (gebiedsvreemd) Lingewater of lokaal door het verdwijnen van kwel. De fysische en chemische eigenschappen van het oppervlaktewater kunnen daardoor veranderen.

Grofweg kan oppervlaktewater worden gekarakteriseerd aan de hand van de herkomst van het water. Zo is grondwater meestal voedselarm en kalkrijk, is neerslag voedselarm en kalkarm (mits niet beïnvloed door landbouwkundige activiteiten) en is gebiedsvreemd water voedselrijk en kalkrijk. Daarnaast is het doorzicht in gebiedsvreemd water dat afkomstig is uit de grote rivieren vaak laag en is het gehalte aan gesuspendeerd materiaal en het zoutgehalte hoog (tabel 9).

Tabel 9 Samenstelling van de drie onderscheiden hoofdwatertypen

	gebiedsvreemd water	grondwater	neerslagwater
voedselrijkdom	hoog	laag	laag
kalkrijkdom	hoog	hoog	laag
zoutgehalte	hoog	laag	laag

Waterplanten zijn vaak gebonden aan een bepaald type water. Hierbij speelt de herkomst van het water een belangrijke rol. De waterplanten die in het reserveringsgebied voorkomen zijn in bijlage 4 weergegeven naar hun voorkeursrelatie met de watersamenstelling.

Omdat voldoende meetpunten voor de oppervlaktewaterkwaliteit ontbreken, wordt de effectvoorspelling alleen kwalitatief uitgevoerd:

- als het grondwatermodel kwel berekent ter plaatse van een sloot, is er voldoende grondwater voor grondwaterafhankelijke waterplanten;
- als het watergebruik in een peilvak met meer dan 50 % wijzigt door de winning, is aanvoerwater dominant aanwezig in alle sloten in dat peilvak. Alleen waterplanten met een voorkeur voor gebiedsvreemd water kunnen dan nog voorkomen;
- voor de overige sloten waarin zich een mengsel van neerslagwater, aanvoerwater en (enig) kwelwater bevindt. Hoewel de samenstelling door de winning iets kan gaan veranderen, kunnen geen uitspraken over effecten op de vegetatie worden gedaan;
- de soortensamenstelling zal zich aanpassen aan het nieuwe watertype. Hiervoor hanteren we een kwalitatieve indeling, zie tabel 10.

Tabel 10 Uitgangspunten voor de kwalitatieve effectbepaling ten aanzien van waterplanten

voorkeurswatertype plantensoort	resterende natuurwaarde (in %) bij 'nieuwe' waterkwaliteit		
	kwel blijft	kwel verdwijnt; beperkt effect op waterhuishouding	kwel verdwijnt; groot effect op waterhuishouding
grondwater	100	0	0
grond- of neerslagwater	100	50	0
grondwater of gebiedsvreemd water	100	0	50
grond- of neerslagwater, gebiedsvreemd water	100	50	50

Opzet en uitvoering van de effectbepaling

De kwaliteitsindicatiekaart van het oppervlaktewater en de kaart die veranderingen weergeeft in de waterhuishouding (zie Deelrapport 4) zijn vergeleken met de kaart van watervegetaties met natuurwaarden. Op deze wijze is bepaald waar veranderingen in de waterplantensamenstelling zijn te verwachten.

5.3 Beïnvloeding van overige aquatische natuurwaarden

Toename van de aanvoer van voedselrijk (gebiedsvreemd) water kan leiden tot overmatige algengroei. Als gevolg hiervan verdwijnen de groeiomstandigheden voor (de meeste) ondergedoken waterplanten. Hiermee verdwijnen tevens habitatstructuren voor vissen en macrofauna (indirect effect van inlaat van gebiedsvreemd water). Als direct effect kan worden genoemd het verdwijnen van bestaansmogelijkheden voor roofvissen, omdat deze helder water nodig hebben om te kunnen jagen. In het kader van dit MER wordt hier geen voorspelling voor uitgevoerd.

5.4 Effecten op vogels

Uitgangspunten

In het studiegebied komen in de uiterwaarden tal van broedvogels voor die gebonden zijn aan een hoge grondwaterstand. Daarnaast fungeert het studiegebied als foerageerplaats voor wintergasten.

Een kwantitatieve bepaling van de effecten van de voorgenomen winning op basis van de minimale vochtbehoefte van weidevogels is niet mogelijk. De meest gangbare methode hiervoor (Sierdsema, 1994) maakt namelijk gebruik van grondwatertrappen (Gt's). De belangrijke weidevogelgebieden liggen echter in de uiterwaarden, waar geen Gt's zijn vastgesteld en waar de invloed van de rivierdynamiek veel groter is dan de invloed van de grondwaterwinning. De effectvoorspelling is daarom kwalitatief uitgevoerd. De waardering van weidevogelgebieden die de Provincie Gelderland heeft uitgevoerd, vormde het uitgangspunt bij de effectbepaling.

Opzet en uitwerking van de effectvoorspelling

Voor elk weidevogelgebied binnen het studiegebied is het oppervlak berekend waar de grondwaterstand met meer dan 0,05 m daalt. Dit oppervlak is vervolgens vermenigvuldigd met de waarde van het betreffende weidevogelgebied (tabel 11). Deze waarde is gebaseerd op de typering van de Provincie voor deze gebieden.

Tabel 11 Waardering van de verschillende typen weidevogelgebied voor de effectbepaling

typering	waarde
uitstekend	1
goed	0,67
matig	0,5
redelijk	0,25

5.5 Oxidatie van archeologische waarden

Uitgangspunten

De archeologische waarden die in het gebied aanwezig zijn, kunnen gevoelig zijn voor dalingen in de grondwaterstand, omdat de waarden vaak bepaald worden door het voorkomen van organische materialen in de bodem. Bij daling van de grondwaterstand bestaat het risico dat deze materialen onder invloed van zuurstof komen, waardoor zij kunnen worden afgebroken.

Omdat de exacte diepteligging van de aanwezige archeologische objecten onbekend is, is het niet mogelijk om een nauwkeurige effectvoorspelling uit te voeren. Duidelijk is echter dat naarmate de verlaging groter is, de kans op aantasting van een aanwezig archeologisch object ook groter is. Arbitrair is aangenomen dat bij verlagingen van de freatische grondwaterstand van meer dan 0,25 meter, de kans op beschadiging relevant is voor de effectvoorspelling. Het oppervlak aan objecten binnen de 0,25 m verlagingslijn is daarmee de basis voor de effectbepaling.

De ROB (Rijksdienst voor Oudheidkundig Bodemonderzoek) onderscheidt, op grond van zekerheid van voorkomen en wetenschappelijke waarde, vier niveaus van archeologische bescherming (zie ook Deelrapport 4):

- beschermde objecten
- te beschermen objecten
- meldingsgebieden
- attentiegebieden

Vanwege het verschil in achtergrond van deze beschermingsniveaus (zie Deelrapport 4), is voor de effectvoorspelling een exponentiële waardering toegekend, zie tabel 12. Beschermde en te beschermen objecten zijn daarbij in één klasse samengevat, aangezien het onderscheid slechts voortkomt uit een verschil in de fase van de procedure waarin ze zich bevinden.

Uitwerking van de effectbepaling

De archeologische kaart is gecombineerd met de vijf kaarten met grondwaterstandverlagingen per alternatief. Daaruit blijkt bij welke archeologische objecten (en over welk oppervlak) meer dan 0,25 meter verlaging optreedt. Via het toevoegen van een bestand met bovenstaande 'waarden' bij de verschillende objecten, zijn de effecten automatisch bepaald. Het resultaat is tenslotte een (gewogen) oppervlak aan archeologische waarden.

Tabel 12 Waardering van de archeologische beschermingsniveaus bij de effectbepaling

beschermingsniveau	waarde
beschermd object	4
te beschermen object	4
meldingsgebied	2
attentiegebied	1

6 Effecten op landschap en landgebruik

Onder (onttrekkingsgebonden) effecten op landschap en landgebruik verstaan we in de eerste plaats dalingen van het maaiveld, want deze kunnen leiden tot schade aan gebouwen en infrastructuur.
Verder onderscheiden we verandering van gewasopbrengsten door grondwaterstandverlagingen en beperking van het bodemgebruik binnen het grondwaterbeschermingsgebied. Daarnaast kunnen gebouwen effect hebben op het landschapsbeeld.
In tabel 13 is samengevat hoe de genoemde effecten zijn gekwantificeerd.

Tabel 13 Samenvatting van de kwantificering effecten op landschap en landgebruik

effect	kwantificering
effecten op het landschapsbeeld	beschrijvend in kwalitatieve zin
effecten op de maaiveldhoogte	oppervlakte waarover het maaiveld meer dan 8 mm daalt
veranderingen van de landbouwopbrengst	index, bestaand uit het product van de berekende opbrengstverandering maal de oppervlakte waarover deze optreedt
beperkingen aan het bodemgebruik	oppervlakte grondwaterbeschermingsgebied

6.1 Effecten op het landschapsbeeld

Uitgangspunten

In dit MER kan het landschapsbeeld worden beïnvloed door de feitelijke onttrekking van grondwater en door de plaatsing van gebouwen en andere voorzieningen. Door de grondwateronttrekking kunnen de beken op de zuidelijke Veluwezoom minder watervoerend worden; daarnaast kan de beleving van natuurgebieden wijzigen door de veranderende soortensamenstelling.

Opzet en uitvoering effectvoorspelling

Invloeden op het landschapsbeeld door de feitelijke onttrekking van grondwater zijn gezien het voorgaande een afgeleide van op zich al weer afgeleide effecten. De effectvoorspelling is dan ook kwalitatief van aard. De plaatsing van gebouwen en andere voorzieningen is een inrichtingsaspect (zie Deelrapport 3), dat daarom alleen voor het voorkeursalternatief wordt aangeduid.
Effectvoorspelling op het niveau van inrichting wordt immers in dit MER niet uitgevoerd.

6.2 Effecten op de maaiveldhoogte (zetting)

Uitgangspunten

Door de grondwaterstand- en stijghoogteveranderingen die de grondwaterwinning veroorzaakt, kan het grondmechanisch evenwicht in de bodem (met name de deklaag) verstoord raken. Daardoor vervormt het skelet van bodemdeeltjes en treden zettingen op (bodemdalingen). De snelheid waarmee dit proces verloopt, is onder andere afhankelijk van de doorlatendheid van de bovenste bodemlagen. De zettingen die aan het einde van dit proces verwacht kunnen worden, zijn berekend met het aan TRIWACO gekoppelde programma CONSOL.

CONSOL berekent zettingen die veroorzaakt worden door dalingen van de grondwaterstand. De zettingen worden berekend met de logaritmische formule van Terzaghi. Secundaire effecten (het uiteindelijk onder de grondwaterspiegel zakken van lagen die door de verlaging eerst boven het grondwater waren gekomen) worden verdisconteerd door de berekeningscyclus een aantal keren te doorlopen.
De zettingen worden per laag berekend. Voor elke laag worden een verticale doorlatendheid en een samendrukkingsconstante gedefinieerd, die afhankelijk zijn van de grondsoort. Daarnaast wordt een drainagelengte afgeleid uit de dikten en verticale doorlatendheden van alle lagen tot aan het eerste watervoerende pakket. Aldus wordt een reële schatting verkregen van de weerstand die het water ondervindt als het uittreedt uit de deklaag.
Voor de bepaling van deze bodemconstanten is de bodemkaart geschematiseerd tot vier bodemtypen: zandige gronden, lichte kleien (zavels), zware kleien en venige gronden. Voor elk van deze typen wordt een aparte set bodemconstanten aangenomen. De waarden voor de bodemconstanten zijn ontleend aan de literatuur. Een samenvatting van de gehanteerde waarden voor deze parameters staat in tabel 14.
De berekende zettingen zijn indicatieve waarden, ter evaluatie van de verschillende alternatieven. Ze worden berekend per knooppunt van het geohydrologisch model.

Tabel 14 Gehanteerde grondconstanten bij de zettingsberekeningen

grondsoort	soortelijke massa (kN/m3)		samendrukkings-constante(kg/m2)	verticale doorlatendheid m/d
	nat	droog		
zand	20,0	16,0	250,0	1,0
zavel	19,0	14,0	50,0	1,0
(zware) klei	17,0	14,5	25,0	$1{,}7.10^{-3}$
veen	10,5	2,0	8,0	$2{,}0.10^{-2}$

Opzet en uitvoering effectvoorspelling

Niet alleen de oppervlakte waarover zetting optreedt is van belang, maar ook de mate van zetting daarbinnen. Een kleine oppervlakte met grote zettingen kan immers tot veel grotere gevolgschades leiden dan een grote oppervlakte met zeer geringe zettingen. Daarbij blijken met name de waarden van 8 en 35 mm van belang (Adviesbureau voor Bouwtechniek, 1984).
Bij een daling van het maaiveld van minder dan 8 mm is het risico voor zettingsschade in het algemeen te verwaarlozen. Bedraagt de berekende maaiveldsdaling 35 mm of meer, dan dient vrijwel zeker met zettingsschade aan gebouwen rekening te worden gehouden. De tussenklasse (8 tot 35 mm) wordt gekenmerkt door 'mogelijk zeer lichte schade'.
Daarbij wordt aangetekend dat meer nog dan de absolute grootte van de maaiveldsdaling, de ***variatie*** daarin op de schaal van het bouwwerk voor de uiteindelijke schade van belang is. Deze variatie wordt veroorzaakt door lokale verschillen in de bodemopbouw. Met name smalle veen- of zandbanen vormen een belangrijke oorzaak van zettingsschade. Met deze banen is geen rekening gehouden bij de effectvoorspelling, maar bij het opnemen van de nulsituatie vóór de start van de winning zal er wel aandacht aan worden besteed. Ook zal dan aandacht worden besteed aan het effect van de maaiveldsdaling op de hoogte van stuwen en daarmee op de stuwpeilen.

Voor de effectvergelijking is uitgegaan van de oppervlakte waarbinnen zettingen tot gevolgschades kunnen leiden, ofwel waar zettingen van meer dan 8 mm voorkomen. Deze zijn uitgesplitst in twee klassen: 8 - 35 mm en groter dan 35 mm. De oppervlakten zijn berekend op basis van de uitvoer van de CONSOL-berekeningen.

6.3 Veranderingen van de landbouwopbrengst

Uitgangspunten

De grondwaterstand is een belangrijke factor voor de opbrengst van landbouwgewassen. Een te lage of te hoge grondwaterstand heeft opbrengstvermindering tot gevolg. Als gevolg van de voorgenomen winning zullen landbouwopbrengsten op nabij de winning gelegen landbouwpercelen veranderen. De verandering is berekend met behulp van een door de Landinrichtingsdienst ontwikkelde methode, de zogenaamde HELP-tabellen (Werkgroep HELP-tabel, 1987). Bij deze berekeningen wordt het invloedsgebied van de winning verdeeld in gebiedjes met eenzelfde bodemsamenstelling én verlaging. Voor elk van deze gebiedjes is de procentuele opbrengstverandering voor grasland bepaald. Dit kan een opbrengstverlaging als gevolg van verdroging zijn, maar ook een opbrengstverhoging, als grondwaterstandverlagingen ertoe leiden dat percelen in het voor- en najaar een hogere opbrengst hebben. Deze methode voorspelt de mogelijke effecten op de landbouwopbrengst in een meteorologisch gemiddelde situatie, maar is geschikt te maken om een bandbreedte te voorspellen tussen de te verwachten maximale en minimale verandering van landbouwopbrengsten in extreme jaren.

De alternatieven worden vergeleken op basis van de berekende grootte van de verandering in landbouwopbrengst én de oppervlakte waarover dit optreedt. Dit gebeurt via een effectindex, die het product is van de percentages opbrengstverandering en oppervlakte waarover deze voorkomen.

Deze berekening achten wij representatief voor grasland, akkerland, boom- en fruitteelt.
Extrapolatie van de berekeningen voor grasland naar bouwland is landelijk geaccepteerd, omdat de bepaling van opbrengstveranderingen voor akkerbouwgewassen erg complex is en er is gebleken dat de gemiddelde opbrengstveranderingen voor akkerbouwgewassen en gras weinig verschillen. Voor boom- en fruitteelt zijn afzonderlijke depressietabellen ontwikkeld, maar deze zijn sterk afhankelijk van het exacte gewas op een perceel. Voor een eerste, vergelijkende indicatie van de opbrengstdepressie voldoet een benadering op basis van grasland. Deze extrapolatie sluit overigens aan bij de schadeberekeningen voor boom- en fruitteelt bij andere pompstations van Waterbedrijf Gelderland. Daar worden procentuele opbrengstverliezen berekend op basis van grasland.
Deze worden vervolgens met een voor boom- respectievelijk fruitteelt aangepaste factor omgerekend tot uit te keren schadebedragen.

De uiteindelijk te treffen schaderegeling zal Waterbedrijf Gelderland, zoals gebruikelijk, in overleg met landbouwstandorganisaties vaststellen binnen de kaders die daarvoor in Gelderland worden aangehouden. Daarbij zal ook de compensatie van de (eventuele) schade voor fruit- en boomtelers gedetailleerd worden uitgewerkt.

Opzet en uitvoering van de effectvoorspelling

Voor het berekenen van opbrengstveranderingen ten gevolge van verlagingen van de freatische grondwaterstand is gebruikgemaakt van het programma BODEP. Dit is de door de Landinrichtingsdienst geautomatiseerde versie van de HELP-tabel, met als voordeel dat in korte tijd veel schadevlakken kunnen worden berekend.
Basis voor de berekeningen zijn het bodemtype, de GHG en de GLG. Deze zijn verkregen uit de digitale bodemkaart (Poelman, 1973; Kloosterhuis, 1975).
Van de GHG en GLG is zowel de oorspronkelijke als de veranderde situatie van belang. De veranderde situatie is de huidige situatie minus de stationair berekende verlagingen.

De percentages opbrengstverandering zijn toegewezen aan de kaartvlakken waarin deze voorkomen. Vervolgens is een vermenigvuldiging van oppervlakte en percentage opbrengstverandering uitgevoerd. Daarbij zijn opbrengstverliezen gesaldeerd met opbrengstverbeteringen.

6.4 Beperkingen aan het bodemgebruik

Uitgangspunten

Rond de te realiseren grondwaterwinning zal een beschermingsgebied worden gedefinieerd, waarbinnen restricties gelden voor het gebruik van bestrijdingsmiddelen en voor ruimtelijke ontwikkeling. Dit kan consequenties hebben voor de landbouwkundige bedrijfsvoering. Daarnaast zijn bepaalde activiteiten (wonen, industrie) binnen het beschermingsgebied minder gewenst. Een en ander is vastgelegd in het Gelders Milieuplan 1996-2000 (Provincie Gelderland, 1996).
De waterleidingbedrijven zullen gedupeerde agrariërs schadeloos stellen. De te treffen schaderegeling zal Waterbedrijf Gelderland in overleg met landbouwstandorganisaties vaststellen binnen de kaders die daarvoor in Gelderland worden aangehouden.

Opzet en uitvoering van de effectvoorspelling

Als maat voor de beperkingen aan het bodemgebruik wordt het oppervlak van het beschermingsgebied aangehouden. Het beschermingsgebied is in Gelderland gedefinieerd als de projectie naar maaiveld van de 25-jaars verblijftijdzone in het bepompte watervoerende pakket.
Met het in hoofdstuk 3 beschreven geohydrologische model kan voor een grondwateronttrekking direct deze verblijftijdzone worden berekend, door met de stroombaanmodule TRACE vanuit de onttrekking 25 jaar in de tijd 'terug te rekenen'.

Literatuur

Adviesbureau voor Bouwtechniek, 1984.
Studie bouwtechnische gevolgen diepe grondwaterwinning te Langerak

Bakker, T.W.M. et al., 1981.
Duinen en duinvalleien. TNO, Delft.

Berendsen et al., 1994.
Zand in banen. Zanddiepte-attentiekaarten van het Gelders rivierengebied.
Provincie Gelderland, Arnhem.

Bierkens, M.F.P., 1994.
Complex confining layers; stochastic analysis of hydraulic properties at various scales.
RUU, Utrecht.

DGV/TNO en Dienst waterbeheer Provincie Gelderland, 1984.
De geohydrologische beschrijving van de provincie Gelderland.
Provincie Gelderland, Arnhem.

Jalink, M.H. et al., 1995.
Lokale anti-verdrogingsmaatregelen in het GMN-hoofdgebied Zuidelijke Vallei (6).
Concept-rapport SWO-94.293, Kiwa N.V., Nieuwegein/IWACO B.V., Rotterdam

Kiwa, 1990-a.
Geohydrologisch en geohydrochemisch onderzoek in de omgeving van de winplaats
Immerloopark. SWO-90.259, Nieuwegein.

Kiwa, 1990-b.
Toelichting bij de aanvraag van een onttrekkingsvergunning voor de winplaats
Immerloopark te Arnhem. SWO-90.339, Nieuwegein.

Kloosterhuis, J.L. et al, 1975.
Bodemkaart van Nederland, blad 40 West Arnhem en 40 Oost Arnhem.
Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Koerselman, W. (red.), 1995.
Milieu-effectrapport Project Infiltratie Maaskant. Basisdocument 2: Methoden.
Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant, 's-Hertogenbosch.

Poelman J.N.B. et al, 1973.
Bodemkaart van Nederland, blad 39 West Rhenen en 39 Oost Rhenen.
Stichting voor Bodemkartering, Wageningen.

Projectgroep GMN, 1991.
Grondwaterbeheer Midden Nederland. Deelrapport: 'Onderzoek tijdsafhankelijke aspecten
ten behoeve van ijking stationair model'. Iwaco B.V. Rotterdam

Projectgroep GMN, 1992.
Grondwaterbeheer Midden Nederland. Deelrapport: 'Modellering watersysteem'.
Iwaco B.V. en Provincie Gelderland, 's-Hertogenbosch/Arnhem.

Projectgroep IWGR, 1995.
Integraal Waterbeheersplan Gelders Rivierengebied 1994-1998. Hoofdplan, deelplannen van het
Polderdistrict Betuwe, Waterschap van de Linge en het Zuiveringsschap Rivierenland.

Provincie Gelderland, 1992.
Verdroging grijpt in! (in Gelderland). Provincie Gelderland, Arnhem.

Provincie Gelderland, 1994.
Richtlijnen voor het Milieu-effectrapport Grondwaterwinning Over-Betuwe.
Dienst Water en Milieu Provincie Gelderland, Arnhem.

Provincie Gelderland, 1996.
Gelders Milieuplan voor de jaren 1996-2000; provinciale milieuverordening Gelderland.
Provincie Gelderland, Arnhem.

RID, 1978-a.
Analytical solution of the recharge of an aquifer from the overlying semipermeable top-layer with partially penetrating ditches to be used in a numerical model. Quarterly report nr 15. Rijks Instituut voor Drinkwatervoorzienig, Leidschendam.

RID, 1978-b.
Geohydrologische gegevens van Zuidelijk Flevoland en de Gelderse Vallei. Mededeling 78-4. Rijks Instituut voor Drinkwatervoorziening, Leidschendam.

RID, 1983.
Berekening van stationaire grondwaterstroming naar sloten. Mededeling 83-3. Rijks Instituut voor Drinkwatervoorziening, Leidschendam.

Rolf, H.L.M., 1991.
Verlaging van de grondwaterstand bij de grondwaterwinplaats Fikkersdries; analyse van veertien meetreeksen. TNO-IGG, Delft.

Sierdsema, H., 1995.
Broedvogels en beheer, het gebruik van broedvogelgegevens in het beheer van bos- en natuurterreinen. SBB-rapport 1995-1/SOVON rapport 1995-04.

VEWIN, 1994.
Statistiek Waterkwaliteit 1994.

Werkgroep HELP-tabel, 1987.
De invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie. Mededeling Landinrichtingsdienst 176. Landinrichtingsdient, Utrecht.

Waterbedrijf Gelderland, 1991-a.
Verblijftijdzones pompstation Fikkersdries. Waterleiding Maatschappij Gelderland, Velp.

Waterbedrijf Gelderland, 1991-b.
Onderzoek Fikkersdries 1990/1991. Waterleiding Maatschappij Gelderland, Velp.

Westhoff, V. en A.J. Den Held, 1969.
Plantengemeenschappen in Nederland. Thieme & Cie, Zutphen.

INHOUDSOPGAVE BIJLAGEN

Bijlage 1
Over het Rangorde-model

Bijlage 2
Oriënterende instationaire berekeningen ter onderbouwing van de gekozen wijze van modelleren

Bijlage 3
Bandbreedtes vegetatietypen t.a.v. grondwaterstand
In deze figuur zijn (langs de x-as) coderingen voor de vegetatietypen aangehouden volgens Westhoff & Den Held (1969).

Bijlage 4
Voorkomen waterplanten in de drie hoofdwatertypen

Bijlage 5
Tekeningen en kaarten

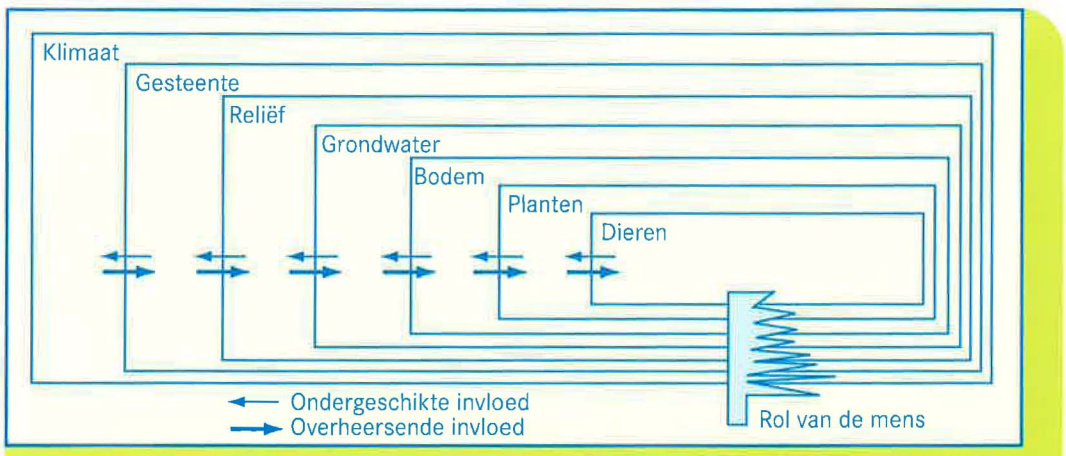
Bijlage 1

Over het Rangorde-model

Het rangordemodel (figuur a, Bakker et al., 1981) gaat ervan uit dat de landschapscomponenten (abiotisch en biotisch) elkaar beïnvloeden en dat deze beïnvloedingen ongelijk van grootte en belang zijn. Er bestaat dus een zekere hiërarchie in de (onderlinge) wisselwerking tussen de verschillende abiotische en biotische componenten. De invloed van de ene component (bijvoorbeeld grondwater) op de andere (bijvoorbeeld vegetatie) is altijd groter dan andersom. De verschillende componenten kunnen een natuurlijke (autonome) ontwikkeling doormaken.
Daarnaast is de invloed van de mens (de voorgenomen grondwaterwinning) van belang. Voor dit MER zijn de compartimenten ***reliëf, grondwater, bodem, planten*** en ***dieren*** en hun onderlinge interacties van belang. Daarom volgt hieronder een korte beschrijving van deze compartimenten.

Het (al dan niet geconsolideerde) gesteente waar de ondergrond uit bestaat en de processen die op de ondergrond inwerken bepalen het ***reliëf***. Hoogteverschillen in het landschap ontstaan door bewegingen en slijtage van de ondergrond. Wind- en waterwerking hebben daarop een belangrijke invloed. Het reliëf van het maaiveld stuurt in belangrijke mate beweging en de stand van het ***grondwater***. Grondwater stroomt altijd van hoog naar laag en daar waar een plotselinge knik of verlaging in het maaiveld optreedt, kan het grondwater boven het maaiveld komen (uittreden).
Het grondwater is over het algemeen rijker aan stoffen naarmate het langer in de ondergrond verblijft. De grondwaterstand beïnvloedt de vorming van de ***bodem***. Het grondwater zorgt tevens voor aan- en afvoer van allerlei stoffen. ***Planten*** zijn direct afhankelijk van de eigenschappen van de standplaats waar zij voorkomen. Deze standplaats vormt de basiseenheid binnen de ecohydrologie.
De standplaats wordt gevormd door de bodem en haar eigenschappen, aangevuld met de beschikbaarheid van onder andere (voedings)stoffen en vocht. Planten beïnvloeden de bodemopbouw via bijvoorbeeld doorworteling van het profiel en de productie van organisch materiaal (humus).
Het vóórkomen van ***dieren*** is sterk afhankelijk van het aanbod aan planten (of dieren) in de omgeving. Planten kunnen dienen als voedsel, maar ook als schuil-, nest- of broedplaats. Omgekeerd beïnvloeden dieren de planten, bijvoorbeeld door selectief te grazen, als gevolg waarvan bepaalde planten andere omgevingsfactoren krijgen.

Elk ecosysteem bestaat aldus uit een complex van bovengenoemde compartimenten. Bij het starten van een grondwaterwinning worden deze op verschillende wijzen beïnvloed als gevolg van verlaging van de grondwaterstand, vergraving en verstoring.
Door verlaging van de ***grondwaterstand*** wordt de samenstelling van de ***bodem*** beïnvloed.
Vergraving draagt daar lokaal in hoge mate toe bij. Evident is de invloed van deze twee ingrepen op de ***planten*** (vegetatie): direct en indirect. Gezien de sterke afhankelijkheid van dieren van het compartiment planten, werken bovengenoemde invloeden door op het compartiment ***dieren***.
De mens oefent hierop ook een directe invloed uit via verstoring tijdens de aanleg van de installatie.



Figuur a Rangordemodel met invloed van de mens (bron: Bakker et al., 1979)

Oriënterende instationaire berekeningen ter onderbouwing van de gekozen wijze van modelleren

Aanleiding en uitgangspunten

Uit eerdere hydro-ecologische studies (zoals Jalink et al., 1995) is gebleken dat een stationaire benadering van het hydrologisch systeem in sommige situaties of gebieden onvoldoende nauwkeurig kan zijn voor een goede hydro-ecologische effectvoorspelling bij ingrepen in de hydrologie.
Daarom is in dit MER voor een gebied met hoge natuurwaarden en naar verwachting een sterke invloed van de voorgenomen activiteit een toets uitgevoerd op de representativiteit van stationair berekende verlagingen voor het verloop van de te verwachten verlagingen door het jaar heen.

De toets is uitgevoerd met een zogenaamd 'deelmodel'. Onder een 'deelmodel' wordt verstaan een verfijnd numeriek model van een deel van het modelgebied 'Over-Betuwe'. Het maakt (grotendeels) gebruik van de parameterkaarten voor het model 'Over-Betuwe' en gebruikt berekende standen van het model 'Over-Betuwe' als randstijghoogten. De modelopzet wordt in de volgende paragraaf nader toegelicht. Het deelmodel is opgezet voor de directe omgeving van de winlocatie Hemmen. Het strekt zich uit tot voorbij het waardevolle bosgebied ten westen van Hemmen.

Met het deelmodel zijn de grondwaterstandvariaties en de variaties in de infiltratie en kwel van en naar sloten bepaald als gevolg van seizoengebonden fluctuaties in de meteorologische omstandigheden. De berekening is uitgevoerd voor de jaren 1993 en 1994, zowel voor de referentie-situatie als voor het alternatief met de grootste invloed in de omgeving van Hemmen: onttrekking van 12 miljoen m^3/j op de winlocatie Hemmen.

Opzet van het deelmodel

Modelgrenzen en netwerk

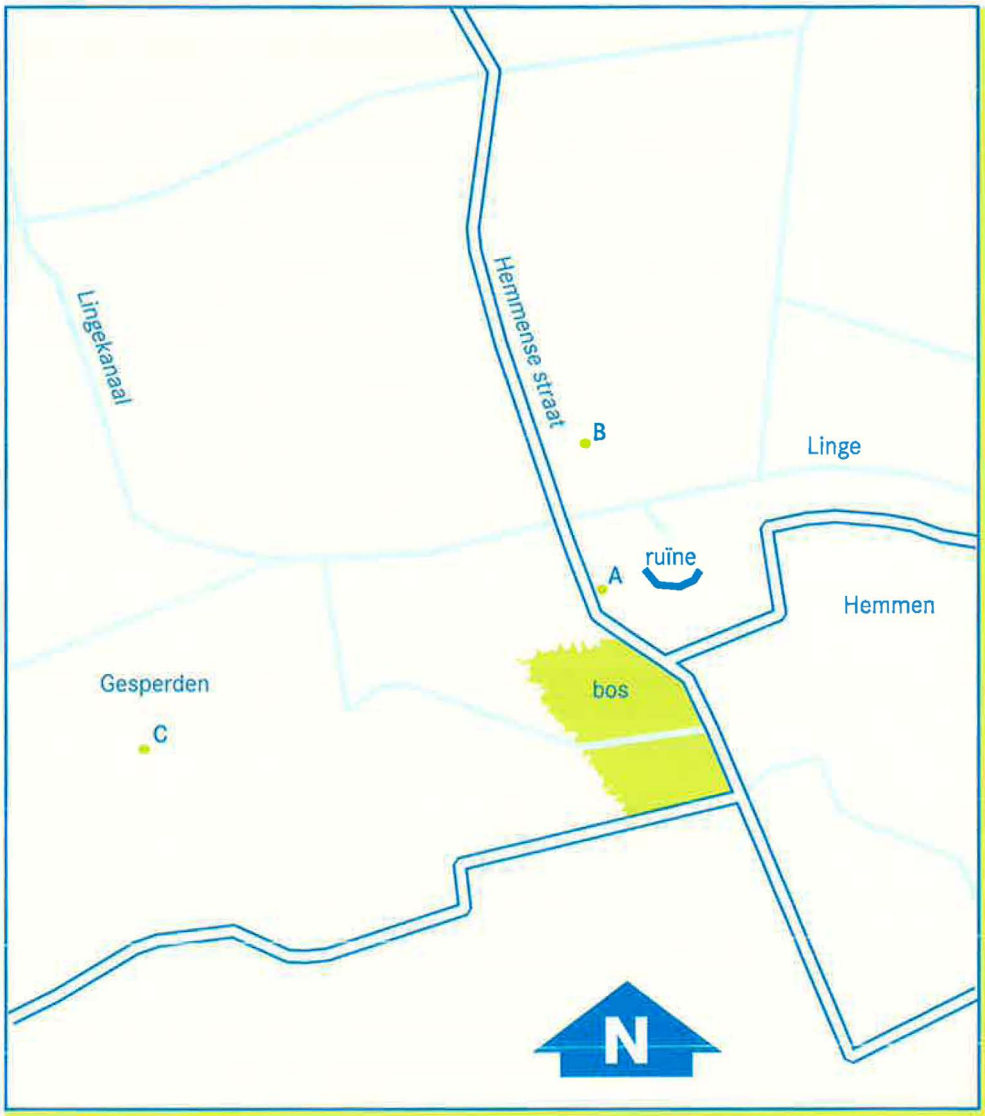
Het deelmodel 'Hemmen' omvat een gebied van 4,5 bij 4,5 km met in het centrum de winlocatie Hemmen. In verticale zin omvat het, net als het regionale model, zes modelpakketten gescheiden door vijf slecht doorlatende modellagen. Binnen het model wordt, in het centrum, een aandachts-gebied onderscheiden van 2 bij 2 km, zie figuur a.

De dichtheid van het netwerk is binnen het modelgebied groot, maar gevarieerd. In het aandachtsgebied van het deelmodel bedraagt de knooppuntsafstand 40 m toenemend tot 160 m aan de randen.

Modelparameters en bodemconstanten

De bodemparameters voor het Holoceen zijn opnieuw bepaald met behulp van de basiskaarten. Daarbij is gebruikgemaakt van een gedetailleerdere beschrijving van het maaiveld, op basis van de topografische hoogtekaart, leggerkaarten en een veldinventarisatie.
Alle overige bodemparameters zijn ongewijzigd overgenomen uit het regionale Over-Betuwe model.

Voor tijdsafhankelijke berekeningen zijn voorts de bergingscoëfficiënten van de onderscheiden watervoerende pakketten ingevoerd. Voor het verzadigde holocene modelpakket is een freatische bergingscoëfficiënt ingevoerd van 0,15. Voor de overige lagen is een specifieke bergingscoëfficiënt gebruikt van 0,005 m^{-1}.



Figuur 2 Aandachtsgebied van het deelmodel Hemmen

Relatie grondwater - oppervlaktewater

Ten behoeve van het deelmodel is het oppervlakkig afwateringsstelsel in meer detail ingevoerd dan in het regionale Over-Betuwe model. Alle waterlopen binnen het lokale model zijn als lijnelement in het model opgenomen. Voor deze waterlopen wordt een vast peil gehanteerd, analoog aan de streefpeilen van de waterschappen. Voor waterlopen die droog kunnen vallen is een hoge infiltratie-weerstand ingevoerd en is het bodemniveau gebruikt als drainageniveau. Doorgaans ligt in deze sloten de bodem boven het ter plaatse gehanteerde streefpeil.

Ten noorden van de Linge is een drainagesysteem aanwezig op een niveau van circa 0,8 m beneden maaiveld, waarmee tijdens droge perioden ook water ingelaten wordt. De drainagemiddelen zijn niet expliciet in het model opgenomen, maar voor het gehele drainagesysteem in dit deel van het lokale model is gebruikgemaakt van gebiedsdekkende waarden voor het drainageniveau en de drainage- en infiltratieweerstand, zie hoofdstuk 3.

In het gebied ten zuiden van de Linge is aangenomen dat greppels of drains, eveneens op een gemiddelde diepte van circa 0,8 m beneden maaiveld, alleen water afvoeren (in natte perioden). Ook hier is het drainagesysteem door gebiedsdekkende parameters ingevoerd.

Neerslagoverschot en grondwateraanvulling
De grondwateraanvulling is bepaald met het programma FLUZO en per maand berekend en ingevoerd in het grondwatermodel. Daarbij is de dikte van de onverzadigde zone (één van de invoerparameters voor FLUZO, zie paragraaf 3.2) gebaseerd op de met het deelmodel berekende grondwaterstanden aan het einde van de vorige maand.

Randstijghoogten
Omdat de grondwaterstanden slechts op een beperkt aantal punten worden gemeten, is niet goed bekend hoe de variatie van de grondwaterstand ter plaatse van de modelranden verloopt. Indien de invloed van variërende randvoorwaarden op de berekende stijghoogten in het aandachtsgebied van het lokale model beperkt zou zijn, kan volstaan worden met in de tijd constant gehouden randvoorwaarden. Daarom is nagegaan in hoeverre de variatie van de stijghoogten op de rand doorwerken in het model.
Ter bepaling van de invloed is met het lokale model een tijdsafhankelijke berekening uitgevoerd, waarbij op tijdstip 0 in alle pakketten op de rand een verlaging van 0,3 meter is geïntroduceerd. Deze verlaging komt overeen met de gemiddelde amplitude door het jaar van de stijghoogte in de watervoerende pakketten.
Uit de berekeningsresultaten blijkt dat al na één maand een nagenoeg stationaire situatie is bereikt. Aan de rand van het aandachtsgebied zijn de berekende stijghoogteverlagingen in het freatische pakket kleiner dan 0,05 meter, met uitzondering van een zone rond Gesperden, waar zich een 'gat' bevindt in zowel de holocene kleilaag als de Kedichemklei. Hier is een verlaging gevonden van circa 0,10 meter. In het eerste watervoerende pakket worden, op de rand van het aandachtsgebied, verlagingen berekend variërend van 0,05 tot circa 0,10 meter. Op grond hiervan is geconcludeerd dat een in de tijd constante randstijghoogte acceptabel is. Berekende grondwaterstanden in het freatische pakket hebben dus een maximale afwijking (in een droge of natte periode), van minder dan 0,05 m tot 0,1 m ter plaatse van Gesperden.

De verwachte invloed op de berekende verlagingen zullen vele malen kleiner zijn, omdat het grootste effect van de winning binnen het lokale model zelf tot uiting komt. De randstijghoogten voor het lokale model zijn afgeleid uit de berekeningen met het regionale model. In de berekening van locatie-alternatieven is rekening gehouden met de verlagingen die het regionale model ter plaatse van de rand van het deelmodel heeft bepaald.

Grondwateronttrekkingen
Omdat de effecten van de grondwaterwinning met het regionale model niet tijdsafhankelijk worden doorgerekend is er voor gekozen om ook voor het deelmodel uit te gaan van een grondwaterwinning met een constant onttrekkingsdebiet. Aangezien Waterbedrijf Gelderland voornemens is de winning door het jaar heen maximaal 10% te laten variëren is deze aanname gerechtvaardigd.

Verificatie van het deelmodel

Aanvankelijk zou verificatie van het tijdsafhankelijke deelmodel geschieden op basis van meetreeksen binnen het aandachtsgebied en kennis over het al dan niet droogvallen van sloten. In het aandachtsgebied ontbreken peilbuizen. Doordat in het betreffende gebied wateraanvoer plaatsvindt gedurende de droge maanden vallen slechts een zeer beperkt aantal sloten droog. Daarom is de verificatie van het deelmodel uitgevoerd door vergelijking van de berekende grondwaterstandvariaties met opgetreden grondwaterstandveranderingen. Deze zijn, ten opzichte van maaiveld, geschat aan de hand van hydromorfe kenmerken van de ondergrond en informatie uit de streek.
Voor de bovengrens van de grondwaterstand tussen de sloten is op grond hiervan het niveau tussen

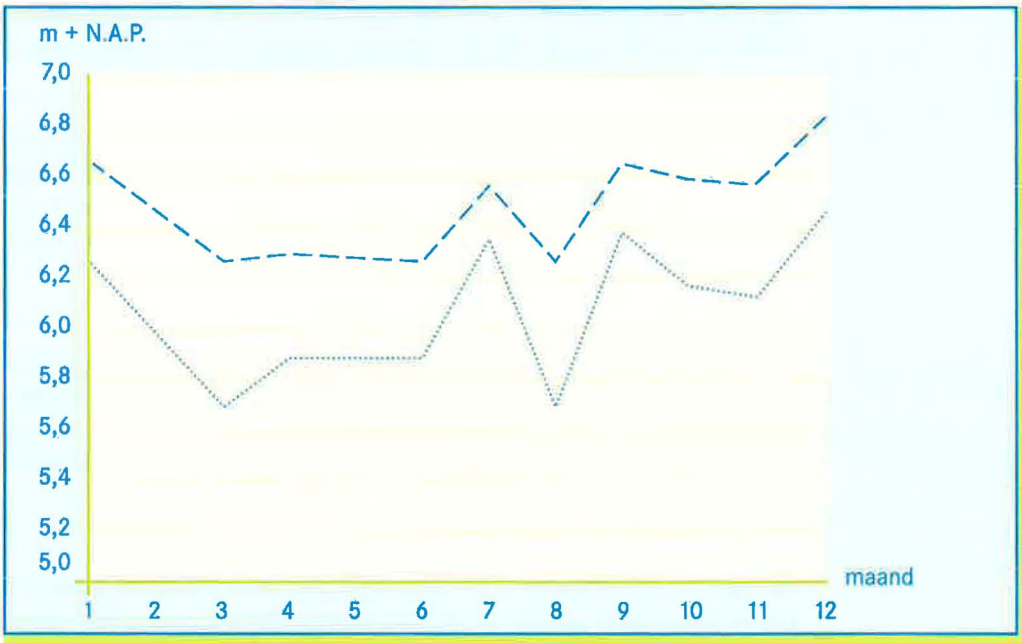
maaiveld en 0,3 m -mv aangehouden. De ondergrens van de grondwaterstand in de droge periode ligt hier op circa 1 meter beneden maaiveld.
Opgemerkt kan worden dat de op hydromorfe kenmerken gevonden grenzen maatgevend zijn voor de laagste GHG en GLG, ook al is daarin in de loop van de tijd verandering opgetreden.

Met het model worden tussen de sloten grondwaterstandvariaties van circa 0,7 meter tot circa 1,0 meter gedurende het jaar berekend. Dit komt goed overeen met de in het veld gevonden hydromorfe kenmerken en andere informatie.

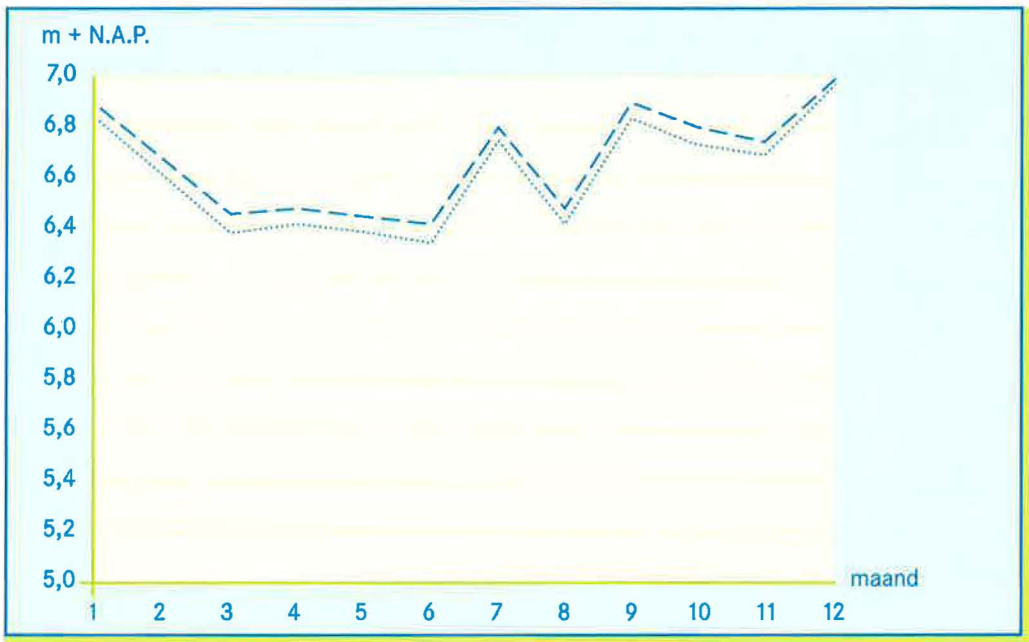
Resultaten van de toetsing

Algemeen
De resultaten van de toetsing zijn weergegeven in tijd-stijghoogtelijnen van de freatische grondwaterstand in de punten A, B en C op figuur a. Punt A komt overeen met een modelknooppunt in het vochtige bosgebied bij Hemmen, punt B ligt in het landbouwgebied ten noorden van de Linge. Opgemerkt wordt dat het perceel waarin dit punt ligt, onderdeel uitmaakt van het waterwinterrein. Punt C ligt in het fruitteeltgebied bij Gesperden, op een plaats waar de Kedichemkleilaag ontbreekt en de weerstand van de deklaag beperkt is vanwege de zandige samenstelling.

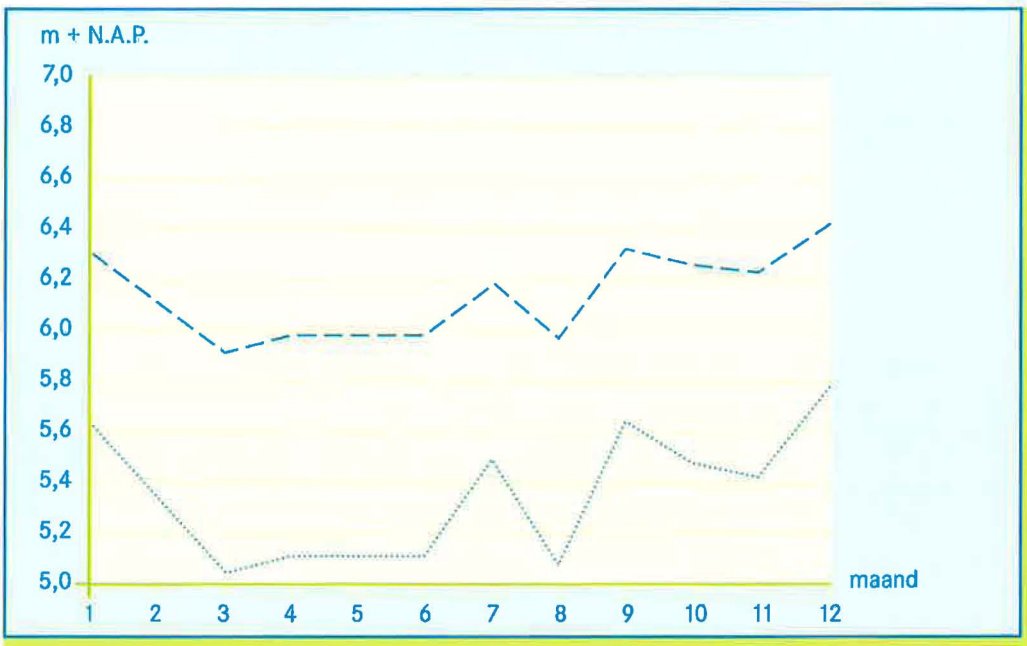
Seizoengebonden variatie in verlagingen van de grondwaterstand
In de figuren b, c en d is het verloop van de stijghoogten in de drie genoemde punten weergegeven in de situatie met en zonder winning. Duidelijk blijkt dat het verschil - ofwel de verlaging door de winning - gedurende grote delen van het jaar redelijk constant is, de variaties in het verschil bedragen maximaal circa één decimeter.



Figuur b Het verloop van de freatische grondwaterstand door het jaar in punt A in de referentiesituatie en bij een onttrekking van 12 miljoen m³/j te Hemmen



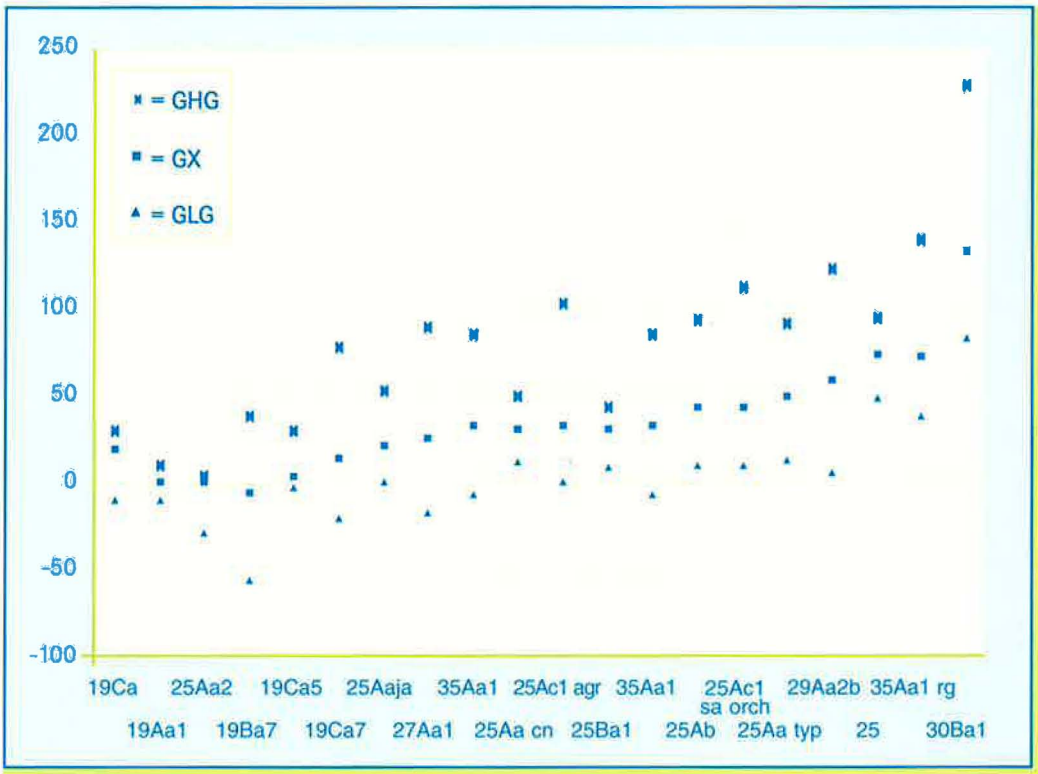
Figuur c Het verloop van de freatische grondwaterstand door het jaar in punt B in de referentiesituatie en bij een onttrekking van 12 miljoen m³/j te Hemmen



Figuur d Het verloop van de freatische grondwaterstand door het jaar in punt C in de referentiesituatie en bij een onttrekking van 12 miljoen m³/j te Hemmen

Bijlage 3

Bandbreedtes vegetatietypen t.a.v. grondwaterstand



Figuur a Bandbreedtes vegetatietypen t.a.v. de grondwaterstand

In deze figuur zijn (langs de x-as) coderingen voor de vegetatietypen aangehouden volgens Westhoff & Den Held (1969).

Bijlage 4

Voorkomen waterplanten in de drie hoofdwatertypen

Tabel a Voorkomen waterplanten in de drie hoofdwatertypen

plantensoort	watertypering		
	gebiedsvreemd	grondwater	neerslag
Puntkroos	■	■	■
Veelwortelig kroos		■	
Klein kroos	■	■	
Watervorkje	■	■	
Kranswier		■	
Gekroesd fonteinkruid	■	■	
Gele plomp	■	■	
Tenger fonteinkruid	■	■	
Gedoornd hoornblad	■	■	
Smalle waterpest	■	■	
Stijve waterranonkel		■	
Kikkerbeet		■	■
Brede waterpest	■	■	
Fijne waterranonkel		■	
Grote waterranonkel		■	
Gewoon sterrekroos	■	■	
Waterviolier	■	■	■
Blaasjeskruid		■	■
Draadwier ('flap')	■	■	

Bijlage 5

Tekeningen en kaarten

BDM-1 Weerstand van de Kedichemkleilaag, zoals gemodelleerd

BDM-2 Weerstand van de deklaag (in het Rivierengebied), zoals gemodelleerd

BDM-3 Weerstand van de Tegelenformatie, zoals gemodelleerd

BDM-4 kD van de deklaag, zoals gemodelleerd

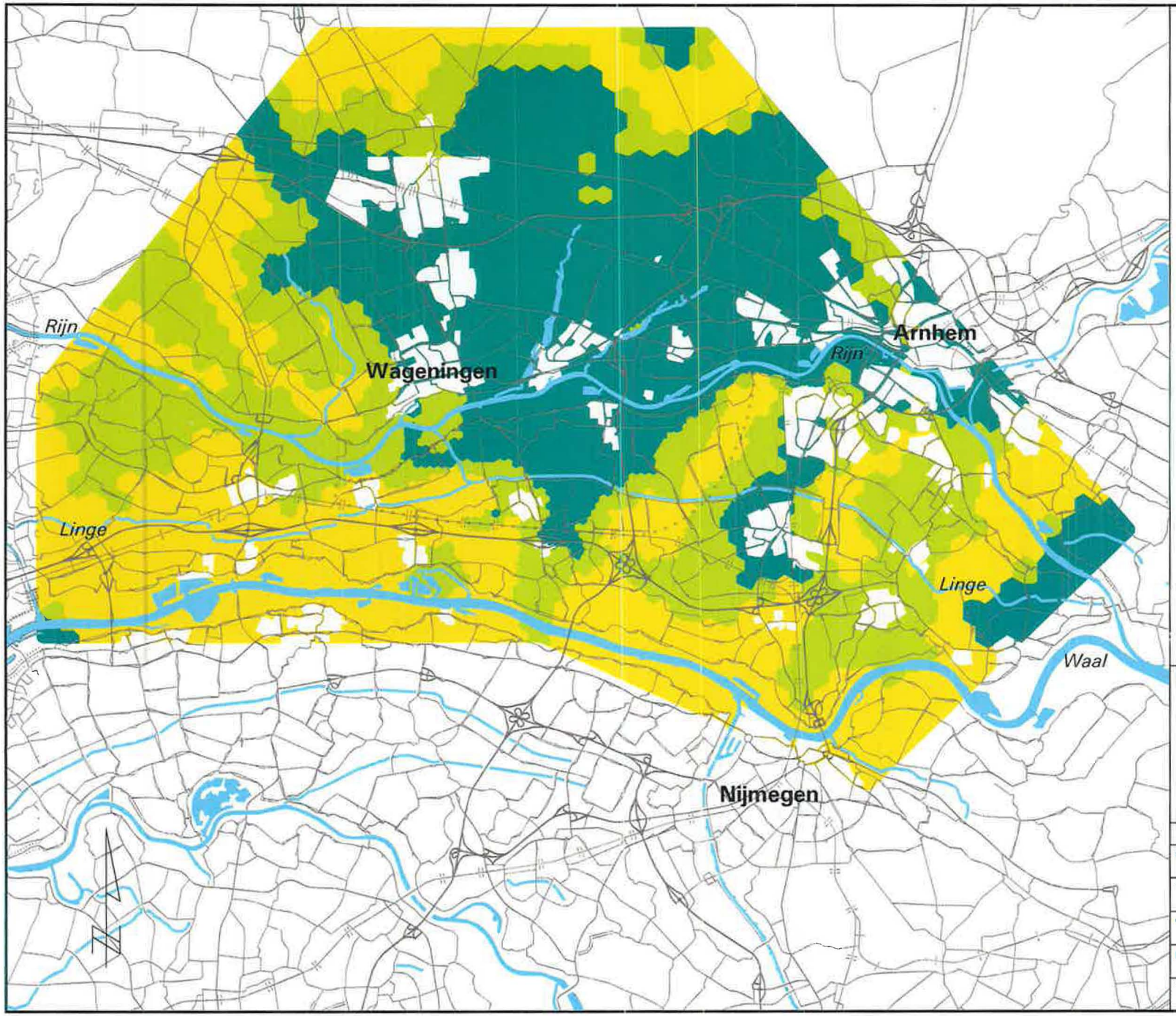
BDM-5 kD van het eerste watervoerende pakket, zoals gemodelleerd

BDM-6 kD van het tweede watervoerende pakket, zoals gemodelleerd

BDM-7 Modelnetwerk

BDM-8 Gemiddelde freatische grondwaterstanden in de deklaag in huidige situatie

BDM-9 Gemiddelde stijghoogte in het tweede watervoerende pakket in huidige situatie



Legenda

- weerstand < 500 dagen
- weerstand 500 - 1500 dagen
- weerstand > 1500 dagen
- grens reserveringsgebied

Project:

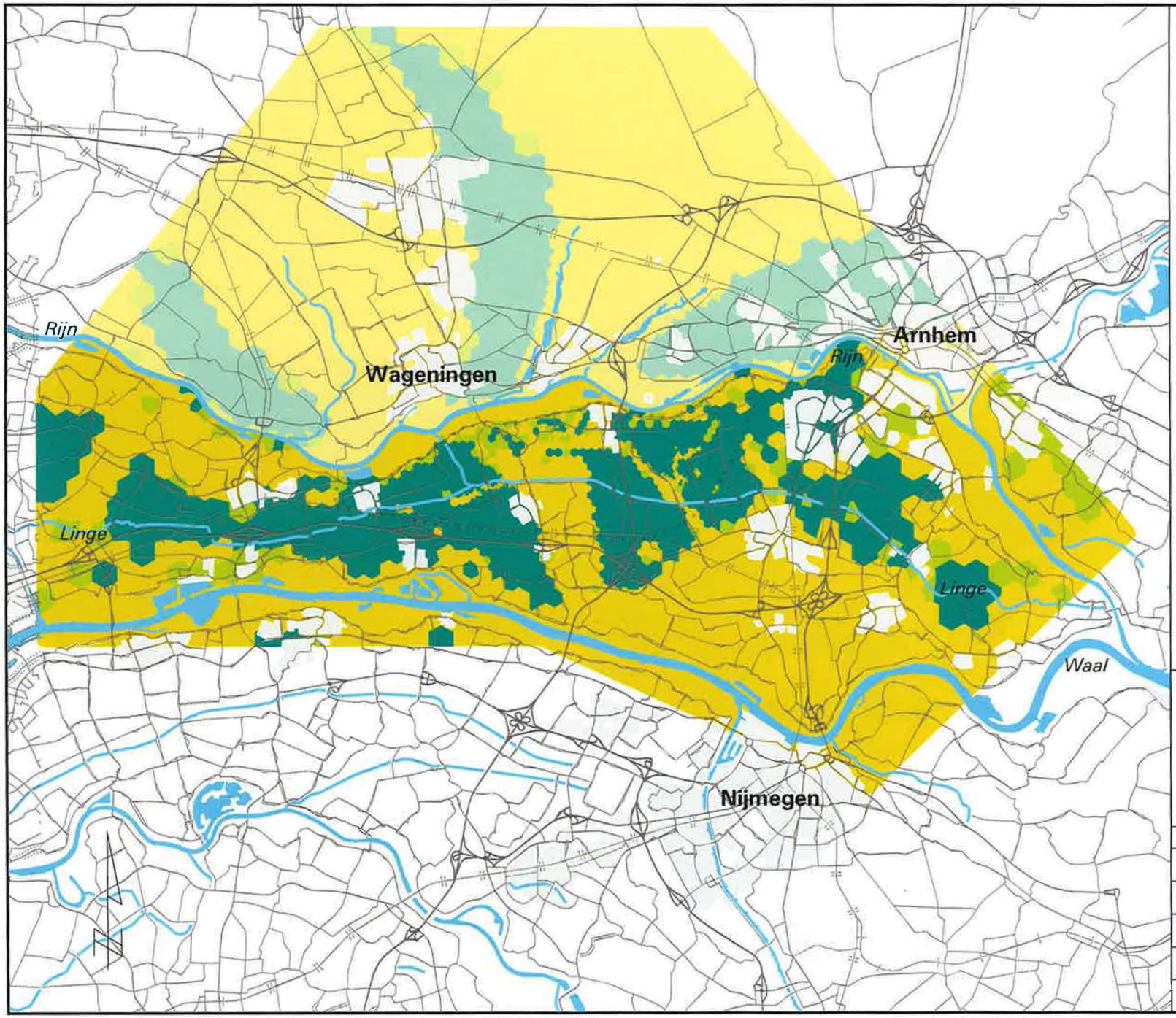
MER grondwaterwinning Over-Betuwe

Weerstand van de Kedichemkleilaag, zoals gemodelleerd

schaal:	1 : 200.000
tekening:	BDM-1
datum:	mei 1998
projectnr:	30.2595.018
formaat:	A4

kiwa
Onderzoek en Advies
afd. Waterwinning en
Waterbeheer

IWACO
Adviesbureau voor
water en milieu



Legenda

- weerstand < 100 dagen
- weerstand 100 - 250 dagen
- weerstand > 250 dagen
- grens reserveringsgebied

Project:

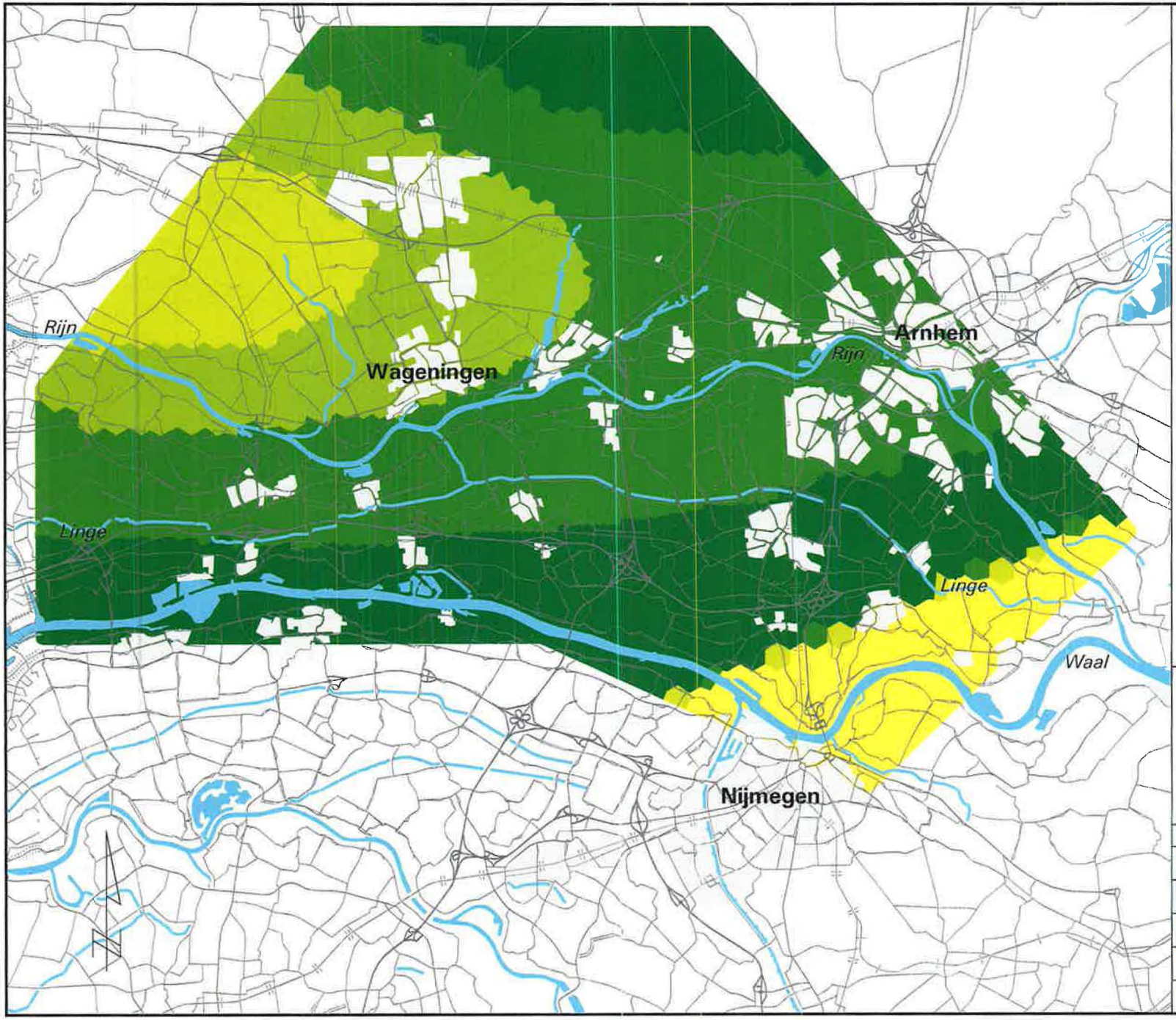
MER grondwaterwinning Over-Betuwe

Weerstand van de deklaag (in het rivierengebied), zoals gemodelleerd

schaal:	1 : 200.000
tekening:	BDM-2
datum:	mei 1998
projectnr:	30.2595.018
formaat:	A4

kiwa
Onderzoek en Advies afd. Waterwinning en Waterbeheer

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu



Legenda

- weerstand < 250 dagen
- weerstand 250 - 750 dagen
- weestand 750 - 1200 dagen
- weerstand 1200 - 1700 dagen
- weestand 1700 - 60000 dagen
- grens reserveringsgebied

Project:

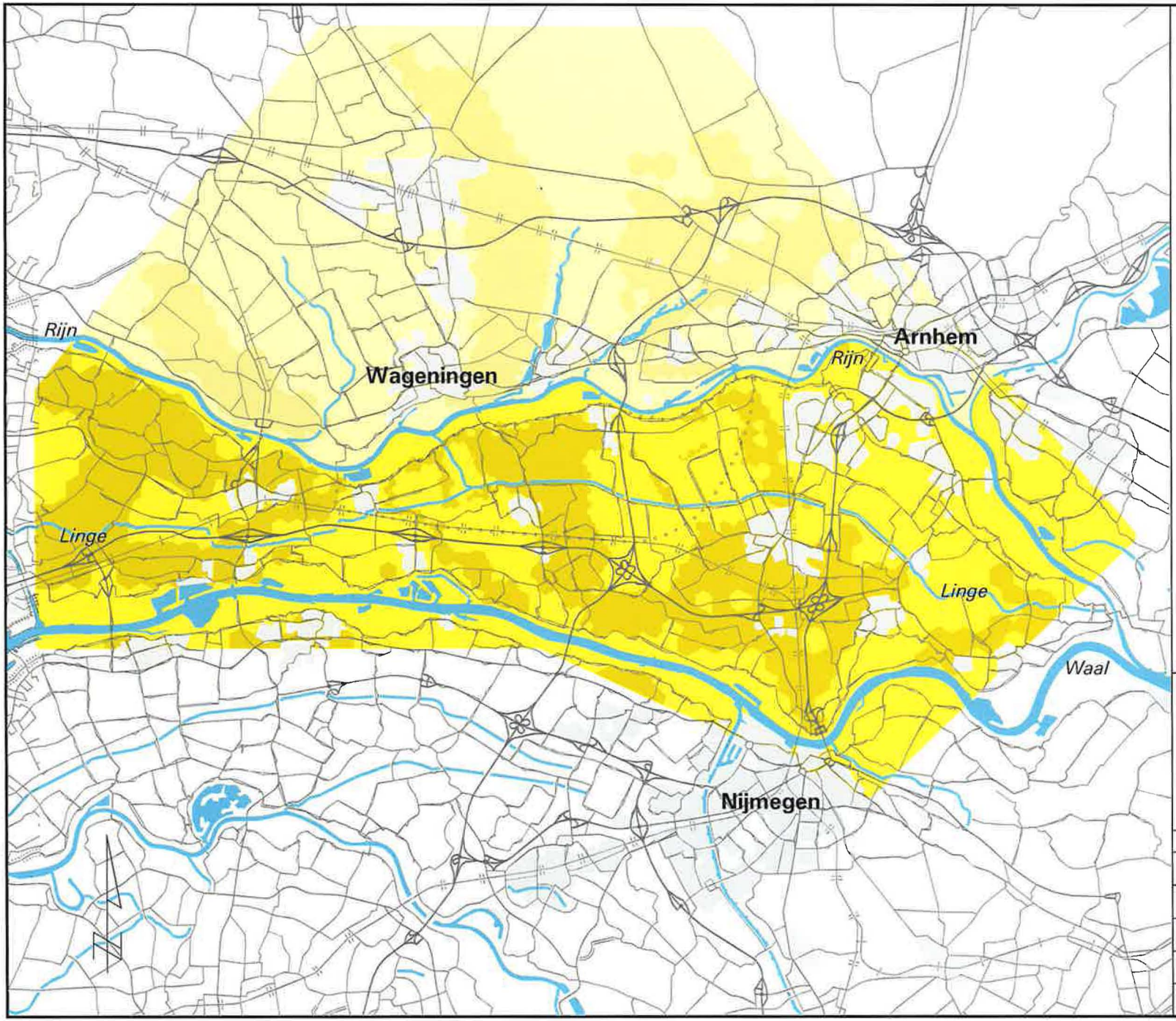
MER grondwaterwinning Over-Betuwe

Weerstand van de Tegelen formatie, zoals gemodelleerd

schaal:	1 : 200.000
tekening:	BDM-3
datum:	mei 1998
projectnr:	30.2595.018
formaat:	A4

kiwa
Onderzoek en Advies
afd. Waterwinning en Waterbeheer

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu



Legenda

- < 10 m2/dag
- > = 10 m2/dag
- grens reserveringsgebied

Project:

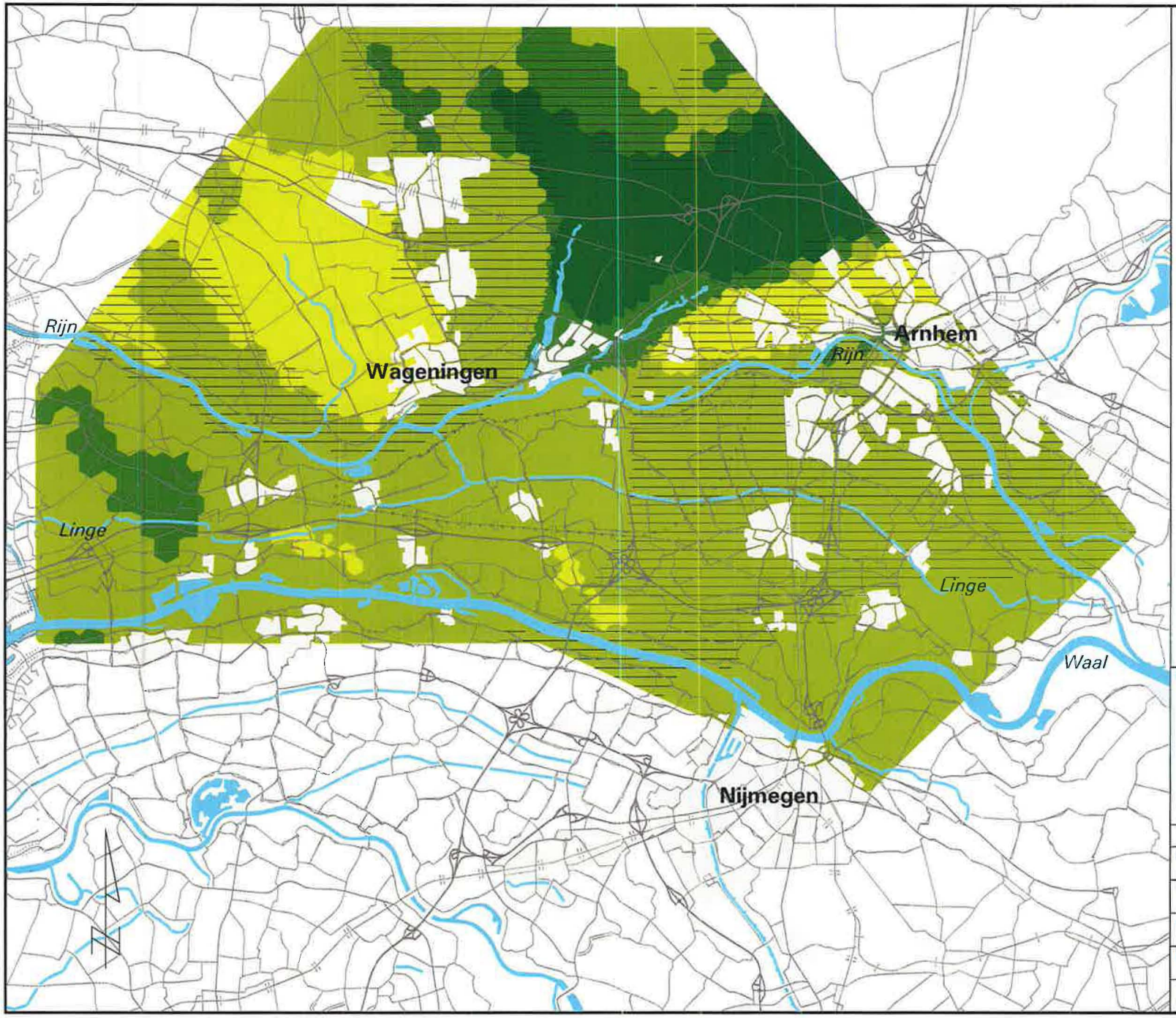
MER grondwaterwinning Over-Betuwe

kD van de deklaag (in het rivieren-gebied), zoals gemodelleerd

schaal:	1 : 200.000
tekening:	BDM-4
datum:	mei 1998
projectnr:	30.2595.018
formaat:	A4

kiwa
Onderzoek en Advies
afd. Waterwinning en Waterbeheer

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu



Legenda

- < 500 m2/dag
- 500 - 1500 m2/dag
- 1500 - 2500 m2/dag
- > = 2500 m2/dag
- gestuwd
- grens reserveringsgebied

Project:

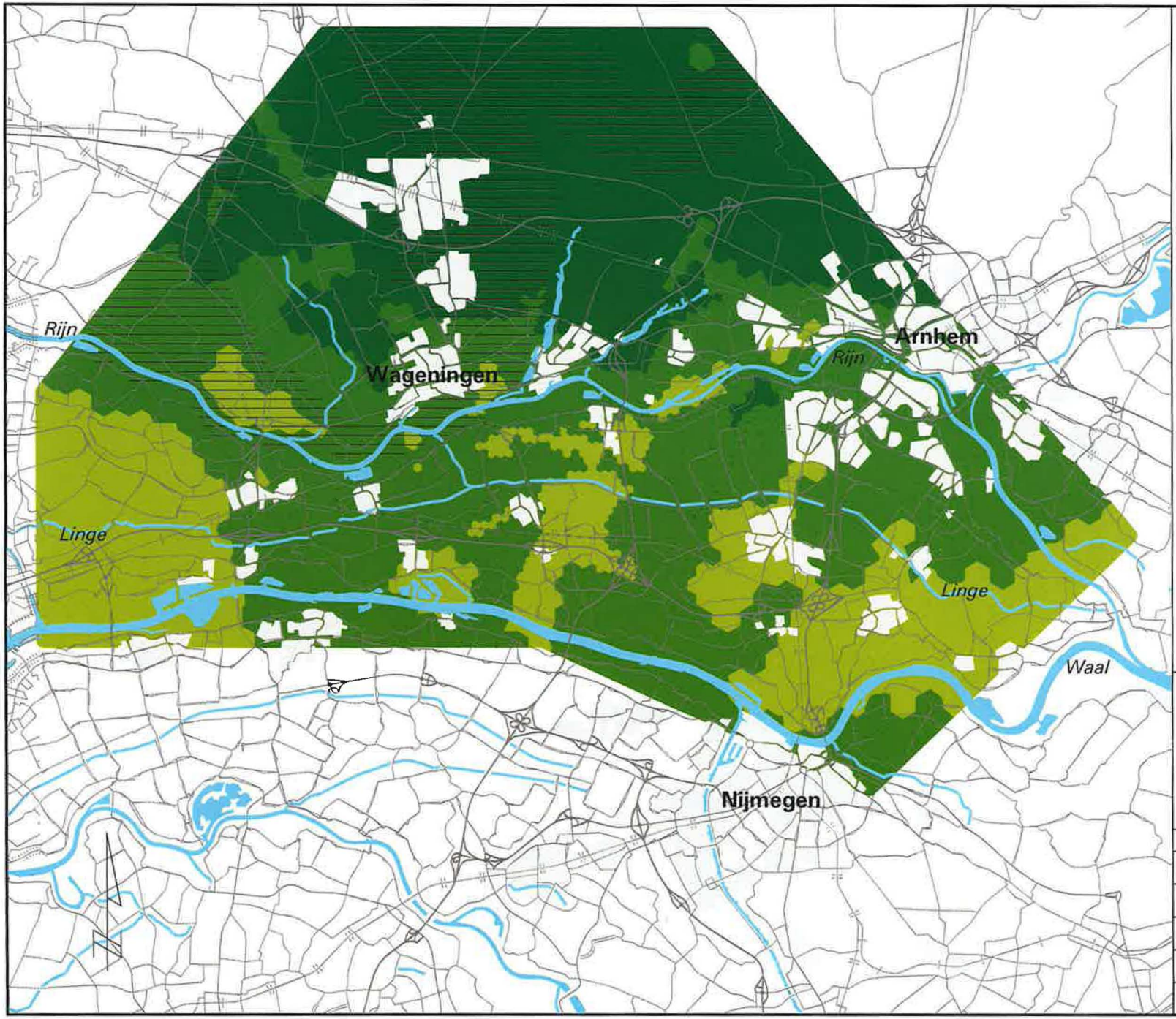
MER grondwaterwinning Over-Betuwe

kD van het 1e watervoerend pakket, zoals gemodelleerd

schaal:	1 : 200.000
tekening:	BDM-5
datum:	mei 1998
projectnr:	30.2595.018
formaat:	A4

kiwa
Onderzoek en Advies afd. Waterwinning en Waterbeheer

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu



Legenda

- < 1500 m2/dag
- 1500 - 2500 m2/dag
- > = 2500 m2/dag
- gestuwd
- grens reserveringsgebied

Project:

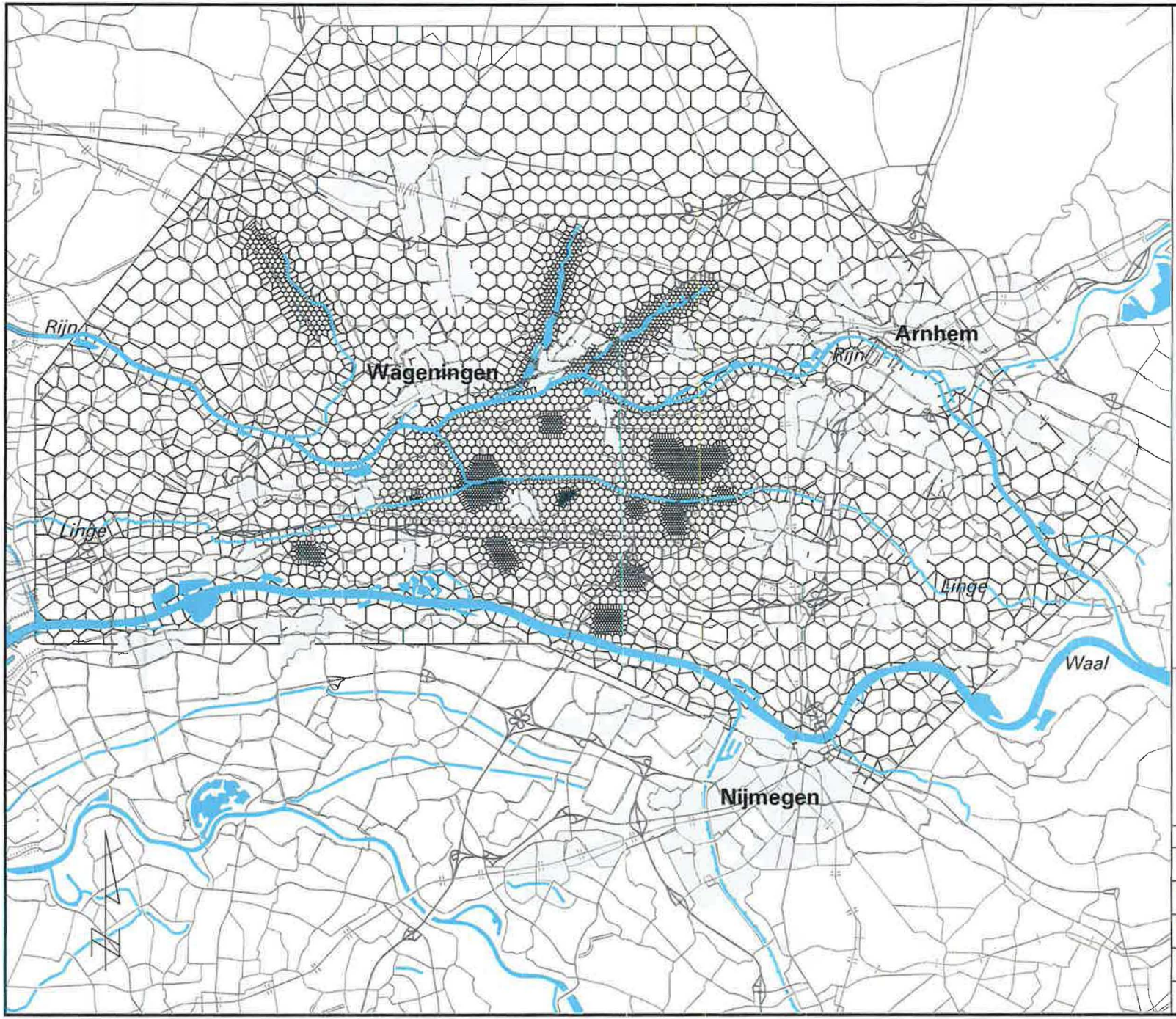
MER grondwaterwinning Over-Betuwe

kD van het 2e watervoerend pakket, zoals gemodelleerd

schaal:	1 : 200.000
tekening:	BDM-6
datum:	mei 1998
projectnr:	30.2595.018
formaat:	A4

kiwa
Onderzoek en Advies afd. Waterwinning en Waterbeheer

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu



Legenda

modelnetwerk

grens reserveringsgebied

Project:

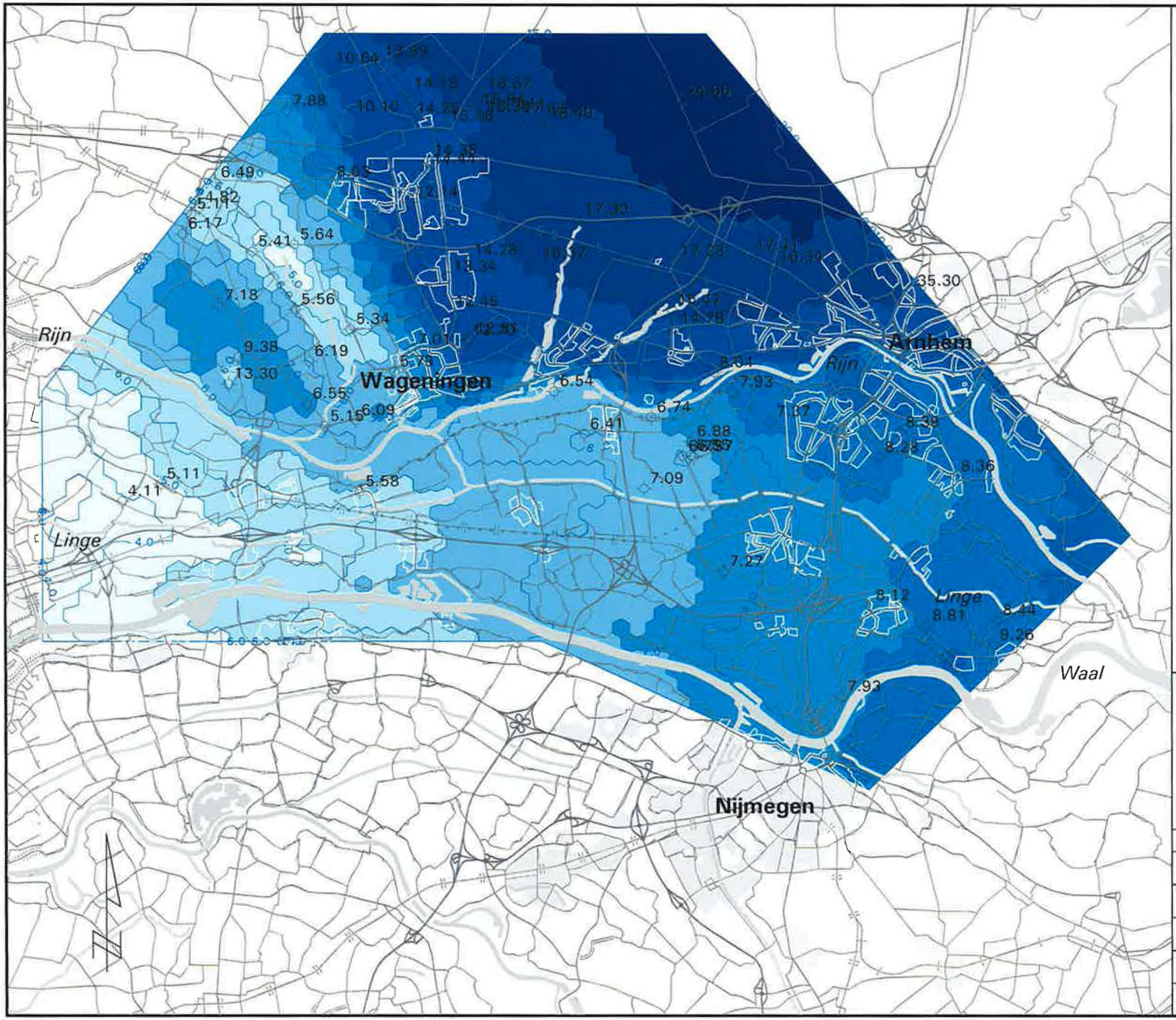
MER grondwaterwinning Over-Betuwe

Modelnetwerk

schaal:	1 : 200.000
tekening:	BDM-7
datum:	mei 1998
projectnr:	30.2595.018
formaat:	A4

kiwa
Onderzoek en Advies
afd. Waterwinning en Waterbeheer

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu



Legenda

grondwaterstand (m. +NAP):

- < 4.0 m.
- 4.0 - 5.0 m.
- 5.0 - 6.0 m.
- 6.0 - 7.0 m.
- 7.0 - 8.0 m.
- 8.0 - 9.0 m.
- 9.0 - 10.0 m.
- 10.0 - 15.0 m.
- 15.0 - 20.0 m.
- > 20.0 m.

peilbuis met jaargemiddelde stand 1985

grens reserveringsgebied

Project:

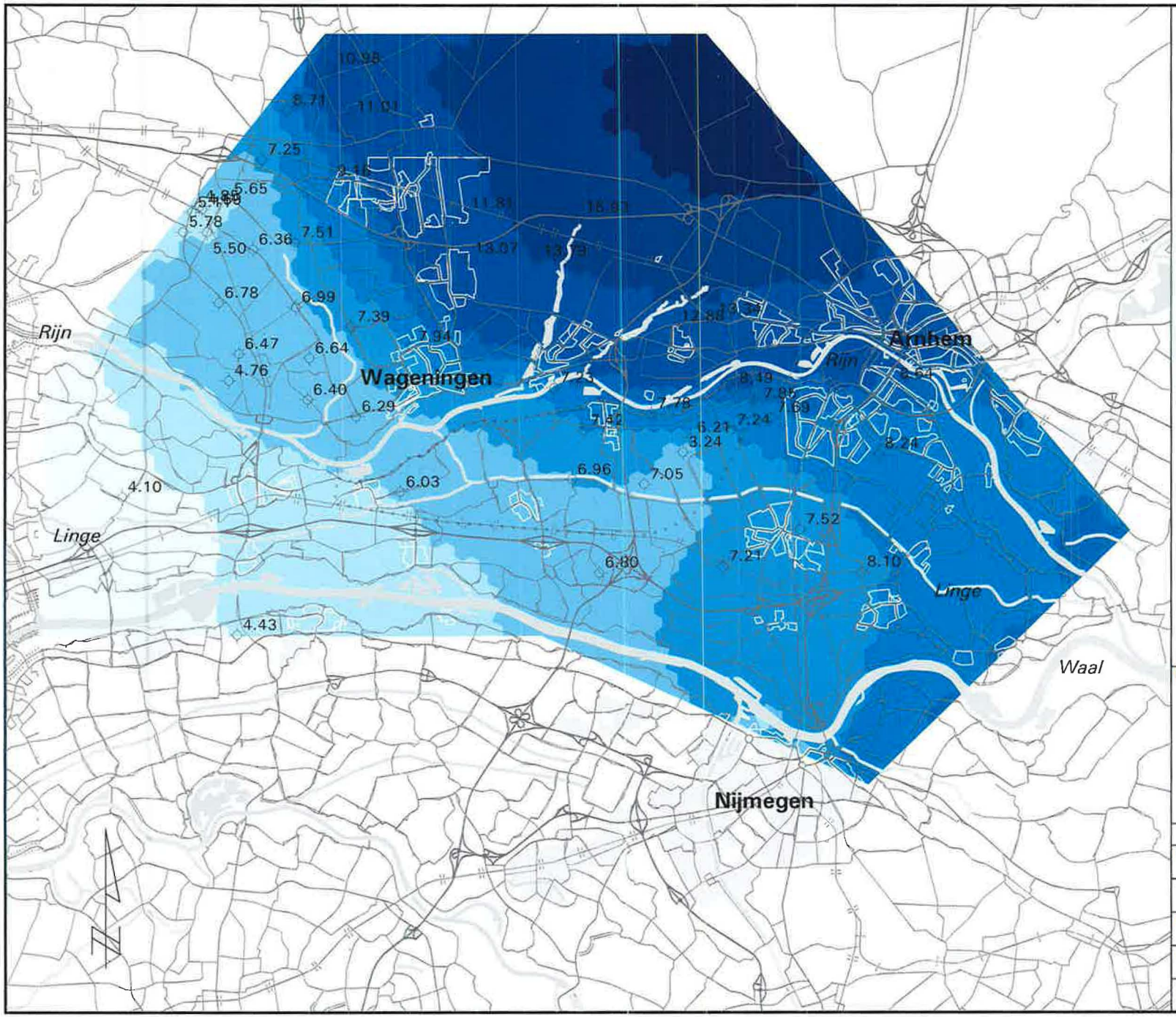
MER grondwaterwinning Over-Betuwe

Gemiddelde freatische grondwaterstanden in de deklaag in huidige situatie

schaal:	1 : 200.000
tekening:	BDM-8
datum:	mei 1998
projectnr:	30.2595.018
formaat:	A4

kiwa
Onderzoek en Advies afd. Waterwinning en Waterbeheer

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu



Legenda

stijghoogte (m. +NAP):

- < 2.5 m.
- 2.5 - 5.0 m.
- 5.0 - 6.0 m.
- 6.0 - 7.0 m.
- 7.0 - 8.0 m.
- 8.0 - 9.0 m.
- 9.0 - 10.0 m.
- 10.0 - 15.0 m.
- 15.0 - 20.0 m.
- > 20.0 m.

peilbuis met jaargemiddelde stand 1985

grens reserveringsgebied

Project:

MER grondwaterwinning Over-Betuwe

Gemiddelde stijghoogte in het tweede watervoerend pakket in huidige situatie

schaal:	1 : 200.000
tekening:	BDM-9
datum:	mei 1998
projectnr:	30.2595.018
formaat:	A4

kiwa
Onderzoek en Advies afd. Waterwinning en Waterbeheer

IWACO
Adviesbureau voor water en milieu

Colofon

Initiatiefnemer/opdrachtgever
Waterbedrijf Gelderland, Velp

Adviseurs
Milieu-effectrapportage: Kiwa NV, Nieuwegein
Geohydrologie: Iwaco BV, 's-Hertogenbosch

Vormgeving
Designers Company, Amsterdam

Lithografie en druk
Drukkerij Tesink b.v., Zutphen