

Printing on demand specs:

<i>Rapport</i>	714305005
<i>Jaar</i>	1992
<i>Omvang</i>	
<i>Kleuren</i>	60. / 4m 76
<i>Standaard omslag</i>	
<i>Dubbelzijdig printen</i>	

LANDELIJK GRONDWATER MODEL;
BEREKENINGSRESULTATEN

12

Omslagontwerp: Anne-Claire Alta bNO
Productie : Studio RIVM
Druk : RIVM; 1992

RIVM-rapport nr. 714305005

ISBN nr: 90-6960-025-0

**LANDELIJK GRONDWATERMODEL;
BEREKENINGSRESULTATEN**

ir. M.J.H.Pastoors RIVM

november 1992

Deelrapport in kader van het project "Effecten Grondwaterwinning" dat is uitgevoerd als basisstudie ten behoeve van het Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening en bijbehorend Milieu-effectrapport.

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Directoraat- Generaal Milieubeheer; Directie Drinkwater, Water, Landbouw; Afdeling Drink- en Industrierwatervoorziening in het kader van het project Infrastructuur Drink- en Industrierwatervoorziening. (projectnr. 719106, deelprojectnr 714305).

VERZENDLIJST

nummer

- 1 - 2 Hoofd van de Hoofdafdeling Drinkwater en Milieukwaliteit van de Directie Drinkwater, Water, Landbouw van het Directoraat-Generaal Milieubeheer van het Ministerie van VROM
- 3 - 13 Hoofd van de Afdeling Drink- en Industrierwatervoorziening van VROM/DGM/DWL
- 14 Directeur-Generaal Milieubeheer van het Ministerie van VROM
- 15 Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, hoofddirecteur Ketenbeheer en Milieuzorg
- 16 Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, hoofddirecteur Milieukwaliteit en Emissiebeleid
- 17 Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, hoofddirecteur Algemeen Milieubeleid
- 18 Directie RIVM
- 19 Directeur sector 7, RIVM
- 20 Directeur sector 4, RIVM
- 21 HID/DX RWS/RIZA
- 22 RWS/RIZA, Hoofdafdeling WS
- 23 RWS/RIZA, Hoofdafdeling AO
- 24 RWS/RIZA, Hoofdafdeling BX
- 25 RWS/RIZA, Hoofdafdeling IO
- 26 RWS/RIZA, Hoofdafdeling RA
- 27 - 28 RWS/RIZA; vestiging Arnhem
- 29 RWS/RIZA; archief
- 30 Hoofddirectie van de Waterstaat, Hoofdafdeling C
- 31 - 37 Bibliotheek RWS/RIZA; vestiging Lelystad
- 38 - 39 Bibliotheek RWS/RIZA; vestiging Dordrecht
- 40 Bibliotheek RIVM
- 41 Bureau Projecten- en Rapportenregistratie RIVM
- 42 Hoofd Voorlichting en Public relations RIVM
- 43 LBG-depot bibliotheek RIVM
- 44 - 70 Auteurs
- 71 CHO-STOWA
- 72 Uitgeverij Spectator (t.a.v. dhr.Kretzschmar)
- 73 Depot van Nederlandse publikaties en Nederlandse bibliografie

VERZENDLIJST (vervolg)

nummer

74 - 75	Rijks Planologische Dienst
76 - 77	Planbureau VEWIN
78	Staring Centrum, bibliotheek
79	Landbouwniversiteit Wageningen, bibliotheek
80	Technische Universiteit Delft, bibliotheek
81	Vrije Universiteit Amsterdam, Faculteit Biologie, bibliotheek
82	Universiteit Amsterdam, Faculteit Biologie, bibliotheek
83	Universiteit Utrecht, Faculteit Biologie, bibliotheek
84	Universiteit Groningen, Faculteit Biologie, bibliotheek
85	Universiteit Leiden, Faculteit Biologie, bibliotheek
86	Katholieke Universiteit Nijmegen, Faculteit Biologie, bibliotheek
87	Nederlandse Hydrologische Vereniging
88 - 112	Reserve exemplaren
113 - 362	Bijlage bij Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening en MER

VOORWOORD

Al sinds de introductie van grootschalige grondwaterwinningen wordt onderkend, dat deze activiteit op lokale schaal nadelige effecten heeft op de natuur en het produktievermogen van landbouwgronden. Het fenomeen verdroging is dus, met uitzondering van de naamgeving, die van recente datum is, bepaald niet nieuw. Tot op zekere hoogte werd die verdroging als een min of meer onvermijdelijk effect van de winning van grondwater beschouwd.

Parallel aan de toenemende onttrekking van grondwater voor de drink- en industriewatervoorziening zijn ten behoeve van de landbouw vergaande ontwateringsmaatregelen uitgevoerd, waarvan de effecten niet beperkt bleven tot het gebied waarin ze werden uitgevoerd. Ook de verbeterde ontwatering heeft een substantiële bijdrage aan de verdroging geleverd.

Inmiddels is uit gericht onderzoek gebleken dat de natuur in grote delen van Nederland te lijden heeft van te lage grondwaterstanden en te geringe hoeveelheden kwelwater. Door de toenemende vermesting en verzuring worden de effecten van verdroging nog eens extra versterkt.

Dit heeft geleid tot het besef, dat het er met de "natte" natuur in Nederland slecht voor staat.

Één van de vele vragen die zich thans voordoet is of de grenzen aan de groei van de winning van grondwater uit het oogpunt van duurzaamheid zo langzamerhand zijn bereikt.

Er is een nog immer groeiende behoefte aan goed en betrouwbaar drinkwater. De kwaliteit van het oppervlaktewater laat, ondanks alle inspanningen op dat gebied, nog veel te wensen over, zodat grondwater als bron voor de openbare drinkwatervoorziening nog de voorkeur krijgt. De vraag is echter of het huidige onttrekkingsniveau, rekening houdend met het spanningsveld tussen grondwaterwinning en natuurbehoud en -ontwikkeling, nog voor uitbreiding in aanmerking kan komen of dat de grenzen inderdaad zijn bereikt. Of anders gezegd, op welke wijze kan de drinkwatervoorziening voor de komende 25 à 30 jaar worden veilig gesteld, rekening houdend met de natuurbelangen.

Deze en andere vragen zijn voor het Directoraat-Generaal Milieubeheer (DGM) van het ministerie van VROM aanleiding het Beleidsplan Drink- en Industriewatervoorziening (BPDIV) op te stellen, waarin de uitgangspunten en hoofdlijnen van het beleid ten aanzien van de openbare watervoorziening voor de lange termijn worden vastgelegd. Overeenkomstig het Besluit Milieu-effectrapportage van de Wet Algemene Bepalingen Milieuhygiëne (thans Wet Milieubeheer) is de in het BPDIV voorgestelde uitbreiding van de infrastructuur voor de watervoorziening m.e.r.-plichtig. Ter onderbouwing van zowel de Milieu-effect rapportage (MERDIV) als het BPDIV is landsdekkend onderzoek uitgevoerd.

De opdracht voor dit onderzoek, die het ministerie van VROM in 1990 aan het RIVM verstrekke, omvatte het ontwikkelen en toepassen van een instrument waarmee de effecten van (wijzigingen in de) grondwaterwinning op landsdekkende schaal zichtbaar kunnen worden gemaakt. In het bijzonder diende daarbij aandacht te worden besteed aan de bepaling van effecten op de natuur.

De realisatie van een al langer aanwezige behoefte van het RIVM om een ecohydrologisch voorspellingsmodel ter beschikking te hebben, werd vanaf dat moment urgent. Bij het RIZA bestond de behoefte het voor de 3^e Nota Waterhuishouding ontwikkelde Dosis Effect Model NATuur Terrestrisch (DEMNAT) verder te ontwikkelen. Eind 1990 besloten RIVM en RIZA de verdere ontwikkeling van DEMNAT (versie 2) gezamenlijk ter hand te nemen. Hieruit is een intensieve en vruchtbare samenwerking tussen RIVM, RIZA, het Centrum voor Milieukunde Leiden (CML), de Landbouwwuniversiteit Wageningen (LUW) en het Rijksherbarium/Hortus Botanicus (RHHB) te Leiden voortgekomen. Dankzij de synthese van een aantal zeer verschillende disciplines is binnen een relatief kort tijdsbestek een aantal unieke produkten tot stand gebracht.

Een treffend voorbeeld daarvan is FLORBASE-0, een bestand van vindplaatsen van de wilde flora in Nederland. In dit bestand zijn ca 3,5 miljoen vondsten in de periode 1975 - 1990 met een resolutie van één km² opgenomen. Ondanks de grote verschillen in de wijze waarop de gegevens waren verzameld en opgeslagen is het bestand in een periode van ca 1,5 jaar samengesteld uit gegevens van 22 bronhouders. Met FLORBASE-0 zijn voor het eerst landsdekkend recente gegevens over wilde planten uit vele bronnen samengebracht en voor velerlei toepassingen beschikbaar gekomen. De aanleiding voor de opdracht aan het RHHB om FLORBASE-0 te vervaardigen, was de behoefte aan een bestand waarmee de actuele toestand van de natuur kan worden beschreven, zodat met behulp van een dosis-effectmodel voorspeld kan worden welke effecten te verwachten zijn van toekomstige ingrepen in de waterhuishouding, bijvoorbeeld door aanpassingen in de grondwaterwinning. In DEMNAT-2 zijn de laatste inzichten op het gebied van de interactie tussen bodem, water en vegetatie verwerkt. Bij de ontwikkeling van DEMNAT-2 is gebruik gemaakt van gegevens, die zijn verzameld in het kader van het project "Landschapsecologische Kartering Nederland (LKN)" van de Rijksplanologische Dienst (RPD), de Directie Natuur, Bos, Landschap en Fauna (NBLF) van het ministerie van LNV en het DGM.

CML, LUW, RHHB, RIVM en RIZA hebben elk vanuit hun eigen deskundigheid een bijdrage geleverd aan DEMNAT-2.

Verder wordt een belangrijke plaats binnen het onderzoek ingenomen door de ontwikkeling van het Landelijke Grondwater Model (LGM) door het RIVM. Hiermee zijn veranderingen in grondwaterstanden, grondwaterstijghoogten en kwel/infiltratie onder invloed van diverse grondwaterwinscenario's bepaald. Het RIZA heeft de daardoor geïntroduceerde veranderingen in de hoeveelheid systeemvreemd water berekend met het landelijke model voor de

onverzadigde zone DEMGEN. De aldus berekende veranderingen vormen de doses voor DEMNAT-2 en zijn derhalve de grondslag voor de voorspelde effecten op de natuur.

Over de verschillende aspecten van het onderzoek is uitvoerig verslag uitgebracht in een zestiental rapporten. De overige vijftien rapporten zijn in de literatuurlijst van dit rapport vermeld.

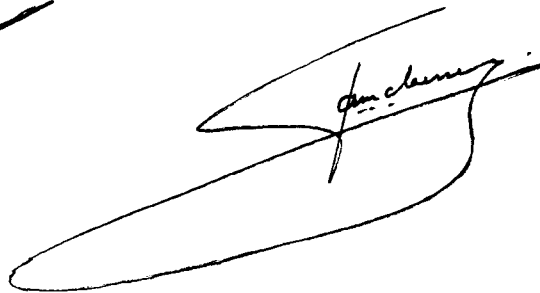
De projectleider,

ir. J.H.C.Mülschlegel

A stylized handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

De projectleider DEMNAT-2,

drs. F.A.M.Claessen

A handwritten signature in black ink, featuring a large, sweeping loop on the left and a more complex, scribbled structure on the right.

LIJST VAN BIJLAGEN

1. Waarden van de verticale weerstand c_0 van de slechtdoorlatende afdekkende laag.
2. Gebieden met kwel of infiltratie, berekend met het LGM (gemiddelde situatie 1988)
3. Gebieden met een gemiddelde verlaging van de freatische grondwaterstand [m], bij een toename van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 25 % (scenario 1).
4. Gebieden met een afname van de kwel, bij een toename van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 25 % (scenario 1).
5. Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 25 % (scenario 2).
6. Gebieden met een toename van de kwel, bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 25 % (scenario 2).
7. Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 50 % (scenario 3).
8. Gebieden met een toename van de kwel, bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 50 % (scenario 3).
9. Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de industrie met 50 % (scenario 4).
10. Gebieden met een toename van de kwel, bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de industrie met 50 % (scenario 4).
11. Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij het beëindigen van de grondwaterwinningen t.b.v. de industrie (scenario 5).
12. Gebieden met een toename van de kwel, bij het beëindigen van de grondwaterwinningen t.b.v. de industrie (scenario 5).

LIJST VAN BIJLAGEN (vervolg)

13. Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij het beëindigen van de freatische grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening (scenario 6).
14. Gebieden met een toename van de kwel, bij het beëindigen van de freatische grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening (scenario 6).
15. Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij het beëindigen van de semi-spanningswaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening (scenario 7).
16. Gebieden met een toename van de kwel, bij het beëindigen van de semi-spanningswaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening (scenario 7).
17. Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij het beëindigen van de oevergrondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening (scenario 8).
18. Gebieden met een toename kwel, bij het beëindigen van de oevergrondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening (scenario 8).

SUMMARY

Within the framework of the preparation of the Dutch National Policy Plan for Drinking and Industrial Water Supply the hydrological effects of eight groundwater abstraction scenarios were calculated on the groundwater system. Several types of groundwater abstractions were distinguished, namely abstractions from phreatic and semi-confined aquifers and riverbank infiltration. In the scenarios the yearly amount of groundwater was increased or decreased, related to the abstracted quantity in 1988.

The main goal of the study was to elaborate upon the effects of groundwater abstraction on terrestrial ecosystems (only flora). The study has been carried out to support the national policy on the supply of water for drinking purposes and for industry. The results are also to be used for an environmental assessment report.

The results are presented in tables and maps. The results refer to the average change in the phreatic groundwater level and to the increase (or decrease) of the seepage.

The calculations were carried out with the "Groundwater Model for the Netherlands (LGM)". The LGM is developed for the modelling of large areas to obtain results which are comparable among themselves with respect to the reliability and the accuracy.

A method was developed by which the change of the groundwater head in the top aquifer was translated into a change of the phreatic groundwater level. The groundwater flow (seepage flux) from the top aquifer to the surface water was calculated both for the situation of 1988, and for the changes for each of the eight scenario.

Within the study two areas were distinguished, a study area and a model area. The study area was the area in which the selected groundwater abstractions were varied. The model area was the area, that was modelled to quantify the effects of the groundwater abstractions. The model-area was larger than the study-area. The modelling was carried out in 10 model areas covering 75 % of the territory of the Netherlands.

The eight scenarios are:

1. Increase of the drinking water abstraction with 25 % (= 182 millions m³/year) with respect to the situation of 1988.
2. Decrease of the drinking water abstraction with 25 % (= 182 millions m³/year) with respect to the situation of 1988.
3. Decrease of the drinking water abstraction with 50 % (= 363 millions m³/year) with respect to the situation of 1988.
4. Decrease of the industrial abstraction with 50 % (= 129 millions m³/year) with respect to the situation of 1988.

5. Termination of the industrial abstraction (= 259 millions m³/year).
6. Termination of the drinking water abstraction from phreatic aquifers (= 219 millions m³/year).
7. Termination of the drinking water abstraction from semi-confined aquifers (= 480 millions m³/year).
8. Termination of the riverbank abstraction (= 24 millions m³/year).

The hydrological effects of the riverbank abstractions (scenario 8) cover a small area. This is not so astonishing because scenario 8 only contains seven locations with a yearly abstraction of 24 millions m³. The locations are closely situated to rivers, so the hydrological effects are less than from other groundwater abstractions.

The influence area of the groundwater abstractions on the phreatic groundwater level varies from 17% (scenario 6) to 33% (scenario 7) of the total model area (26,000 km²). The area, within the seepage changes, varies from 6% (scenario 6) to 17% (scenario 7).

The scenarios 3 and 7 cover the largest area in which a change of the phreatic groundwaterlevel occurs. This scenarios refer to the biggest changes in the groundwater abstractions. Scenario 3 nevertheless covers a larger area with a strong increase (> 0,25 m) of the phreatic groundwater level. On the other hand scenario 7 shows a larger area with a small increase (< 0,25 m) of the groundwater level. The explanation is related to the abstraction of groundwater from semi-confined aquifers. The semi-pervious layers reduce the change in the groundwater level, but spread it out over a larger area. Scenario 3 contains both phreatic and semi-confined groundwater abstractions.

Scenario 6, the termination of the phreatic groundwater abstractions with an amount of 219 millions m³/year, gives relative big increases of the phreatic groundwaterlevel in a large area and small increases in a small area. The surface with an elevation of the groundwaterlevel of more than 0,10 m is about 52 % of the total influenced area. This result is not so astonishing, because at a phreatic groundwater abstraction a semi-pervious layer is absent. In that case the change of the phreatic groundwaterlevel is equal to the change in the hydraulic head of the first aquifer.

In scenario 7 the elevation of the groundwaterlevel by more than 0,10 m occurs in 20 % of the total influenced area. Only the semi-confined groundwater abstractions are considered.

Scenario 3 gives the largest area, in which the elevation of the phreatic level is more than 0,10 m. Scenario 7 gives the largest area, in which the seepage increases with more than 0,1 mm/day. The area of 936 km² is equal to 21 % of the total influence area of 4367 km².

The current version of LGM, developed within the framework of this study, proved to be an efficient and versatile tool to calculate the hydrological effects as doses for the ecological modelling of large areas.

Further development of LGM will take place in the framework of other environmental studies. Especially the collection of additional (geo)hydrological data, guided by the accuracy requirements, is important for the use of the LGM in more local or regional related studies.

SAMENVATTING

In het kader van het Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening zijn 8 scenario's opgesteld waarvoor de hydrologische effecten ten opzichte van een referentiesituatie zijn bepaald. Voor de hydrologische situatie is 1988 als referentiesituatie gekozen. De scenario's hebben betrekking op een verandering in de omvang van de grondwateronttrekking op bestaande locaties, zowel ten behoeve van de openbare watervoorziening als ten behoeve van de industriële watervoorziening inclusief het Commercieel, Openbaar, Agrarisch en Recreatief Waterverbruik (COAR-waterverbruik), korthedshalve drinkwaterwinning resp. industriële winning genoemd. Voor de drinkwaterwinning is verder onderscheid gemaakt naar freatische, semi-spanningswater- en oevergrondwaterwinningen. In de doorgerekende scenario's is geen rekening gehouden met een regionale differentiatie van de onttrekkingssterkten, met andere woorden het percentage waarmee de onttrekkingen zijn gewijzigd is overal gelijk.

De resultaten van de berekeningen zijn gepresenteerd in de vorm van tabellen en kaarten. Zij hebben betrekking op de gemiddelde verandering van de freatische grondwaterstand en de toe- respectievelijk de afname van de kwel. De berekeningen zijn uitgevoerd met het Landelijk Grondwater Model (LGM). Het LGM is ontwikkeld om op landsdekkende schaal resultaten ter beschikking te krijgen die qua nauwkeurigheid en betrouwbaarheid onderling vergelijkbaar moesten zijn. In het onderzoek is onderscheid gemaakt tussen onderzoeksgebied en modelgebied. Het onderzoeksgebied is het gebied waarbinnen de geselecteerde grondwateronttrekkingen zijn gevarieerd. Het modelgebied is het gebied dat gemodelleerd is om de effecten van de grondwateronttrekkingen te kwantificeren. Dit gebied is groter dan het onderzoeksgebied. Het huidige LGM omvat tien deelgebieden die elkaar gedeeltelijk overlappen. Het totale modelgebied beslaat 26000 km². Dit is ruim 75 % van het vasteland van Nederland.

De acht scenario's zijn :

1. Toename van de drinkwaterwinning met 25% (= 182 miljoen m³/jaar) ten opzichte van de situatie in 1988.
2. Afname van de drinkwaterwinning met 25% (= 182 miljoen m³/jaar) ten opzichte van de situatie in 1988.
3. Afname van de drinkwaterwinning met 50% (= 363 miljoen m³/jaar) ten opzichte van de situatie in 1988.
4. Afname van de industriële winning met 50% (= 129 miljoen m³/jaar) ten opzichte van de situatie in 1988.
5. Beëindigen van de industriële winning (= 259 miljoen m³/jaar).

6. Beëindigen van de drinkwaterwinning uit freatische pakketten (= 219 miljoen m³/jaar).
7. Beëindigen van de drinkwaterwinning uit semi-spanningspakketten (= 480 miljoen m³/jaar).
8. Beëindigen van de oevergrondwaterwinning ten behoeve van de openbare watervoorziening (= 24 miljoen m³/jaar).

De hydrologische effecten van de oevergrondwaterwinningen (scenario 8) beslaan een gering gebied. Dit is niet zo verwonderlijk omdat het slechts 7 winlocaties betreft met een onttrekking van 24 miljoen m³ per jaar. De winningen zijn dicht bij waterlopen gelegen, waardoor het beïnvloede gebied geringer is dan bij andere grondwaterwinningen.

Voor de overige scenario's varieert het beïnvloede gebied van de grondwaterwinning op de freatische grondwaterstand van 17 % (scenario 6) tot 33 % (scenario 7) van het totale modelgebied van 26000 km². Voor de verandering van de kwel varieert de grootte van het beïnvloede gebied van 6 % (scenario 6) tot 17 % (scenario 7).

De scenario's 3 en 7 leveren het grootste gebied waar een verandering in de freatische grondwaterstand optreedt. Aangezien deze scenario's ook betrekking hebben op de grootste wijzigingen in het debiet ligt een dergelijke uitkomst voor de hand. Niettemin is het opvallend, dat bij scenario 3 sprake is van een groter gebied met een sterkere stijging (> 0,10 m), terwijl scenario 7 een groter gebied met geringere stijging (< 0,10 m) laat zien. De verklaring hiervoor is dat in scenario 7 alleen de winningen uit semi-spanningswater pakketten onderdeel van het scenario uitmaken. Door de afdekkende semi-permeabele lagen worden de hydrologische effecten naar boven gedempt, maar wel over een groter gebied gespreid. In scenario 3 daarentegen zijn zowel freatische als semi-spanningswater winningen betrokken.

Scenario 6, het beëindigen van de freatische winningen met een totaal debiet van 219 miljoen m³ per jaar, heeft een groot oppervlak, waarbij de verandering meer dan 10 cm bedraagt. Ten opzichte van het totale beïnvloede gebied van 4400 km² bedraagt het oppervlak met een freatische grondwaterstandsverhoging > 10 cm maar liefst 52 %. Dit resultaat wekt geen verwondering omdat bij freatische winningen een slechtdoorlatende afdekkende laag ontbreekt. De verandering van de freatische grondwaterstand is in dat geval gelijk aan de verandering van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

Bij scenario 7 daarentegen, waarin alleen de semi-spanningswater winningen in beschouwing zijn genomen, is in 20 % van het beïnvloede gebied de freatische grondwaterstandsverhoging groter dan 10 cm.

De invloed van de freatische grondwaterwinningen is eveneens terug te vinden in scenario 3, waarbij de winningen ten behoeve van de openbare watervoorziening met 50 % zijn terug gebracht. Scenario 3 geeft het grootste gebied waar een stijging van de freatische grondwaterstand optreedt van meer dan 10 cm.

Scenario 7 levert het grootste gebied, waarbinnen de kwel met meer dan 0,10 mm/dag toeneemt. Het oppervlak van 936 km² is gelijk aan 21 % van het totale beïnvloede gebied van 4367 km². In scenario 6 daarentegen is het oppervlak met een toename van de kwel van meer dan 0,10 mm/dag zelfs 30 % van het totale beïnvloede gebied. Het oppervlak is derhalve absoluut kleiner, maar in verhouding tot het totale beïnvloede gebied groter dan bij scenario 7.

Het LGM, dat in het kader van dit onderzoek is ontwikkeld, is een bruikbaar instrument gebleken om de hydrologische effecten te berekenen ten behoeve van de voorspelling van de ecologische effecten op landelijke en regionale schaal. De ontwikkeling van het LGM is hiermee nog niet voltooid. Ten behoeve van toekomstige toepassingen zal het model in de komende jaren worden aangevuld, uitgebreid en verbeterd.

1. INLEIDING

In 1990 bracht het Directoraat Generaal Milieubeheer (DGM) van het Ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer de nota "Naar een glasheldere toekomst" uit (VROM, 1990). Hierin maakte het DGM het voornemen kenbaar tot het opstellen van een Beleidsplan Drink- en Industrie Watervoorziening, waarin het DGM de hoofdlijnen van het beleid voor de lange termijn (30 jaar) vastlegt voor een goede drink- en industriewatervoorziening.

Ter onderbouwing van het beleidsplan was onderzoek noodzakelijk. Daarvoor heeft het DGM in 1990 het RIVM de opdracht verleend een methodiek te ontwikkelen, waarmee de vraag kan worden beantwoord wat de effecten zijn van de (verandering in de) grondwaterwinning op de terrestrische natuur (het onderzoek "Effecten Grondwaterwinning" genoemd).

Een belangrijk onderdeel van de studie vormde de berekening van de hydrologische effecten van wijzigingen in de grondwateronttrekking. De berekeningen hiervoor zijn uitgevoerd met het Landelijk Grondwater Model (LGM). De resultaten dienden aan twee eisen voldoen, die niet gemakkelijk met elkaar te verenigen zijn. Enerzijds dienden de resultaten landsdekkend beschikbaar te komen, hetgeen mede gezien de beperkte beschikbare tijd om een vrij globale aanpak vroeg. Anderzijds dienden de resultaten van dien aard te zijn, dat er een zekere mate van ecologische relevantie aan kon worden toegekend. Dat vraagt om een relatief kleinschalige modellering.

Om deze reden is bij de ontwikkeling van de huidige versie van het Landelijk Grondwater Model (LGM) gekozen voor een geohydrologische schematisering met maximaal vier watervoerende pakketten, maar wel in het horizontale, tweedimensionale vlak een oplosend vermogen van 1 km².

Belangrijk was onder meer dat er landsdekkende resultaten ter beschikking zouden komen, die qua nauwkeurigheid en betrouwbaarheid onderling vergelijkbaar moesten zijn. Dit verklaart mede waarom niet is uitgegaan van een compilatie van resultaten uit regionale onderzoeken die in grote delen van Nederland in de afgelopen decennia zijn verricht.

De uitgangspunten van het LGM, alsmede de voor het onderzoek benodigde gegevens, zijn beschreven in (Pastoors, 1992).

In het voorliggende rapport zijn de resultaten beschreven van de berekeningen voor de verschillende scenario's, vertaald in de hydrologische doses voor het ecologisch voorspellingsmodel DEMNAT-2.

Het rapport is op de volgende wijze opgebouwd.

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van de probleemstelling, doel en opzet van het onderzoek.

De methode waarmee de hydrologische effecten zijn berekend en de gegevens die hiervoor nodig zijn, worden beschreven in hoofdstuk 3.

Hoofdstuk 4 biedt in de vorm van tabellen en verbreidingskaarten een overzicht van de resultaten van de acht scenario's en van de referentieberekening (het jaar 1988), die met het LGM zijn doorgerekend.

Hoofdstuk 5 tenslotte bevat een korte beschouwing omtrent de gebruiksmogelijkheden van de resultaten, die zijn verkregen uit dit onderzoek.

2. PROBLEEMSTELLING; DOEL EN OPZET VAN HET ONDERZOEK

2.1 Probleemstelling

Grondwater is één van de bronnen voor de openbare watervoorziening en voor de industrie. In Nederland voorziet grondwater in ongeveer tweederde deel van de totale behoefte aan drinkwater. Daarnaast onttrekt de industrie grondwater als proces- c.q. koelwater, alsmede de landbouw ten behoeve van de beregening van landbouwgronden.

De totale grondwaterwinning van 1 à 1,5 miljard m³ per jaar, exclusief de beregening ten behoeve van de landbouw, is mede oorzaak van verdrogingsverschijnselen in die natuur- en bosgebieden die afhankelijk zijn van ondiepe grondwaterstanden. Naast de grondwaterwinning is de verdroging toe te schrijven aan andere waterhuishoudkundige ingrepen (ont- en afwateringsmaatregelen voor land- en tuinbouw, verstedelijking, bebossing, verhoogde landbouwproductie). Het RIVM is gevraagd een methode te ontwikkelen, die de schade aan en het herstel van de terrestrische natuur op landelijke schaal bepaalt als gevolg van ingrepen in de waterhuishouding. Voor het onderzoek ten behoeve van de MER-DIV is in verband met genoemde problematiek de vraag relevant in welke mate de toename in de grondwateronttrekking (op landelijke schaal) verdere nadelige effecten zullen opleveren voor de terrestrische natuur en in hoeverre een vermindering van de grondwateronttrekking leidt tot herstel, behoud of ontwikkeling van de terrestrische natuur. Om de hydrologische effecten van veranderingen/ingrepen in de (grond)waterhuishouding te kunnen aangeven is het noodzakelijk inzicht te hebben in de grondwaterstroming in de ondergrond. Hiervoor is een grondwatermodel ontwikkeld, het Landelijke Grondwater Model (LGM) genoemd. Het model berekent de grondwaterstijghoogte in, en de grondwaterstroming tussen de vier watervoerende pakketten van het gehele modelgebied. De waarde van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket vormt samen met de grondwaterstroming naar het oppervlaktewater de basis voor de hydrologische invoer van het ecohydrologische model DEMNAT-2, waarmee op landelijke schaal de veranderingen in de terrestrische natuurwaarden als gevolg van waterhuishoudkundige ingrepen zijn te voorspellen.

Het modelgrid van DEMNAT-2 heeft elementen (gridcellen) met een oppervlakte van één km², dat aansluit bij het grid van de topografische kaarten. Per gridcel heeft DEMNAT-2 per scenario als hydrologische doses de navolgende waarden nodig:

1. daling c.q. verhoging van de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (ΔGVG), uitgedrukt in de verandering van de freatische grondwaterstand;
2. de grootte van en de verandering in de kwel naar het oppervlaktewater, zowel voor als na de ingreep (q_0 en Δq_0);

3. daling c.q. verhoging van de waterstand van klein oppervlaktewater, uitgedrukt in de verandering van het gemiddelde waterpeil;
4. de verandering van de inlaat van systeemvreemd water, uitgedrukt in een percentage van de totale hoeveelheid oppervlaktewater.

2.2 Concretisering van de doelstelling

Voor dit deelonderzoek is de navolgende doelstelling geformuleerd:

Het landsdekkend aangeven van de hydrologische doses in de vorm van veranderingen van de freatische grondwaterstand en de toe- c.q. afname van de kwel.

De freatische grondwaterstand geeft de hoogte weer van de vrije grondwaterspiegel. Deze is bepalend voor de vochtvoorziening van de vegetatie. Het LGM berekent o.a. grondwaterstijghoogten in de watervoerende pakketten. Er is een methode gebruikt die de verandering van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket omzet in een freatische grondwaterstandsverandering.

De verandering van de kwel is rechtstreeks te bepalen uit de berekeningsresultaten met het LGM.

De verandering van de waterstand van klein oppervlaktewater is eveneens berekend uit de verandering van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket.

De inlaat van systeemvreemd water tenslotte is berekend met het model DEMGEN van het RIZA (Pakes et al, 1992).

2.3 Opzet en lijn van het onderzoek

In het onderzoek is een drietal fasen te onderscheiden.

Het LGM berekent allereerst de grondwaterstijghoogte van het eerste watervoerende pakket in de knooppunten van het LGM-grid. Het verschil tussen de waarde van de grondwaterstijghoogte uit de scenario-run en die van de referentie berekening van 1988 levert de verandering in de grondwaterstijghoogte op, in dit geval de verandering van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket ($\Delta\phi_1$).

De grootte van de grondwaterstroming van of naar het oppervlaktewater is uitgerekend voor de situatie van 1988. Per scenario is, op identieke wijze als bij de freatische grondwaterstandsverandering, het verschil in de grondwaterstroming voor en na de ingreep bepaald, eveneens in de knooppunten van het LGM-grid.

Vervolgens is de $\Delta\phi_1$ vertaald naar een verlaging van de freatische grondwaterstand ($\Delta\phi_0$), die DEMNAT-2 gebruikt in de dosis-effectfuncties als een verandering in de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (ΔGVG).

De daling c.q. verhoging van de waterstand in het kleine oppervlaktewater is eveneens gerelateerd aan de verandering van de voorjaarsgrondwaterstand.

Bovenstaande bewerkingen zijn uitgevoerd op de knooppunten van het LGM-grid. Deze knooppunten komen niet overeen met de knooppunten van het grid, zoals DEMNAT-2 dat gebruikt. Er is een interpolatieslag nodig om de waarden van de knooppunten van het LGM-grid te vertalen naar het modelgrid van DEMNAT-2. Omdat de waarde van een hydrologische parameter bij DEMNAT-2 geldt als een gemiddelde voor het beschouwde gridelement is het midden van het element als interpolatiepunt gekozen.

3. METHODE VOOR BEREKENING VAN DE HYDROLOGISCHE EFFECTEN

3.1 Het Landelijk Grondwater Model (LGM)

Deze paragraaf beoogt een indruk te geven wat het LGM is en hoe het werkt; een volledige beschrijving wordt gegeven in (Pastoors, 1992), waarin het modelconcept van het LGM aan de orde komt.

Voor het berekenen van de grondwaterstijghoogte in en de grondwaterstroming tussen de watervoerende pakketten is gebruik gemaakt van een numeriek rekenprogramma, dat is opgezet volgens het principe van de eindige elementenmethode. Een dergelijk rekenprogramma lost langs iteratieve weg de differentiaalvergelijking op die het stromingsproces beschrijft van, in dit geval, een stationaire grondwaterstroming. De differentiaalvergelijking is gebaseerd op de bewegingsvergelijking (de wet van Darcy) en de continuïteitsvergelijking.

Om deze methode te kunnen toepassen is over het beschouwde modelgebied een netwerk gedacht, bestaande uit knooppunten en elementen. De vorm van de elementen kan zowel rechthoekig als driehoekig zijn. De hoekpunten van de elementen vormen de knooppunten van het model. De in- en uitvoer van de modelparameters alsmede de berekeningsresultaten verlopen via deze knooppunten van het netwerk.

De waterlopen, vaak een belangrijk onderdeel bij de grondwaterstroming, zijn geschematiseerd tot rechte lijnstukken.

Het gebied waarvoor het model is gemaakt, is (uiteraard) begrensd; het gaat er nu om de oriëntatie, de begrenzing en de knooppuntsafstand zo te kiezen, dat hiermee en met de ingevoerde gegevens stijghoogten en grondwaterstromingen berekend kunnen worden, die aansluiten bij de gewenste nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de resultaten.

Daarnaast is het in het algemeen noodzakelijk enerzijds aannamen, schematisering en anderzijds nauwkeurigheid van het verlangde resultaat op elkaar af te stemmen. Een groot voordeel van een numeriek rekenprogramma is de zeer grote mate van flexibiliteit. Zo is bij de opzet van het model rekening gehouden met verschillende omstandigheden, bijvoorbeeld de waterstaatkundige situatie, de topografie, de geologische gesteldheid en het stijghoogteverloop in de ondergrond.

Het huidige model omvat vijf deelsystemen te weten :

- het deelsysteem verzadigd grondwater;
- het deelsysteem grondwateraanvulling (neerslag minus verdamping);
- het deelsysteem grote waterlopen;
- het deelsysteem polders;
- het deelsysteem vrij afwaterende gebieden.

Voor het deelsysteem grondwater is de ondergrond van Nederland geschematiseerd tot vier watervoerende pakketten, gescheiden en afgedekt door slechtdoorlatende lagen.

Voor de overige deelsystemen is het oplossend vermogen in het tweedimensionale horizontale vlak van belang. In de elementgrootte van het netwerk is gestreefd naar een resolutie van ca. 1 km². Dit sluit het beste aan bij het grid van DEMNAT-2 (1 km²).

Het huidige LGM omvat tien deelmodellen die elkaar gedeeltelijk overlappen. Het totale modelgebied in Nederland beslaat 26000 km². Dit is ruim 75 % van het vasteland van Nederland. Op de randen van het deelmodel is een hydrologische randvoorwaarde gedefinieerd, die de relatie weergeeft met de hydrologische situatie in de aangrenzende gebieden. Uitgangspunt is dat de randen van het deelmodel geen invloed mogen uitoefenen op de berekende effecten binnen het modelgebied als gevolg van een verandering in de grondwateronttrekking. Dit komt erop neer dat de modelranden buiten het invloedsgebied van de grondwateronttrekking moeten liggen. In dit onderzoek is uitgegaan van vaste randstijghoogten langs de randen van elk deelmodel in alle watervoerende pakketten.

Daarom is in elk deelmodel een onderzoeksgebied gedefinieerd, waarbij rekening is gehouden met bovenstaande voorwaarde. Per scenario is de grondwateronttrekking binnen alle onderzoeksgebieden van de tien deelmodellen aangepast. In tegenstelling tot de deelmodellen mogen de onderzoeksgebieden elkaar niet overlappen. Dit voorkomt dat het effect van een grondwateronttrekking via twee of meer deelmodellen in het totale effect tot uiting komt.

3.2 Berekening van de verandering in de grondwaterstijghoogte

De scenario's die met het LGM zijn doorgerekend, hebben betrekking op een verandering in de grondwateronttrekking zowel ten behoeve van de openbare watervoorziening als van de industrie en het Commercieel, Openbaar, Agrarisch (exclusief de berekening) en Recreatief Waterverbruik (COAR-waterverbruik). In dit rapport is het COAR-waterverbruik verder bij de industriële grondwaterwinningen ondergebracht.

Bij de berekening van de grondwaterstijghoogten ligt de prioriteit bij de verandering van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Hoewel noodzakelijk voor de voorspelling van het hydrologische effect op de ondiepe grondwaterstijghoogte, zijn de grondwaterstijghoogten in de diepere watervoerende pakketten binnen dit onderzoek van ondergeschikt belang.

De verandering van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket is gelijk aan het verschil tussen de berekende grondwaterstijghoogte van het beschouwde scenario-run en die van de referentieberekening (het jaar 1988). De knooppunten van de deelmodelnetwerken vallen niet samen in gebieden waar de deelmodellen elkaar overlappen.

De hydrologische effecten, berekend in de afzonderlijke deelmodellen, moeten in de overlappende gebieden bij elkaar worden opgeteld (superpositie) om een totaal beeld te krijgen van de invloed van de grondwateronttrekking in het beschouwde scenario.

Daarom is voor alle deelmodellen allereerst de berekende stijghoogteverandering van het eerste watervoerende pakket geïnterpoleerd naar het midden van het 1km²-grid van DEMNAT-2. Zoals eerder gemeld geldt hiervoor het midden van het element van 1 bij 1 km. Pas nu kunnen voor deze knooppunten de hydrologische effecten vanuit de afzonderlijke deelmodellen bij elkaar worden opgeteld.

De totale grondwaterstijghoogteverandering van het eerste watervoerende pakket voor het betreffende scenario is derhalve gelijk aan de gesommeerde grondwaterstijghoogteverandering uit de afzonderlijke deelmodellen.

3.3 Bepaling van de gemiddelde verlaging van de freatische grondwaterstand

Voor het berekenen van de effecten op de natuur is de verandering van de freatische grondwaterstand van belang. Het LGM berekent o.a. de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket. De verandering in de grondwaterstijghoogte van het eerste watervoerende pakket moet vervolgens vertaald worden naar een verandering in de freatische grondwaterstand. Voor de berekening hiervan is gebruik gemaakt van de navolgende formule (Projectgroep "West-Utrecht", 1982) :

$$\Delta\phi_0 = \Delta\phi_1 * (\gamma / (\gamma + c_0)) \quad (2.1)$$

waarin :

- $\Delta\phi_0$ = verandering freatische grondwaterstand [m]
- $\Delta\phi_1$ = verandering grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket [m]
- γ = drainageweerstand [dagen]
- c_0 = weerstand van de afdekkende, slechtdoorlatende laag [dagen].

Ernst (1962) heeft een formule afgeleid waarmee de parameter γ (de drainageweerstand) berekend kan worden:

$$\gamma = L * w + L^2 / (8 * kD_0) \quad (2.2)$$

waarin :

- L = de slootafstand [m]
- kD_0 = het doorlaatvermogen van de afdekkende toplaag [m²/dag]
- w = de slootweerstand, samengesteld uit de radiale en de intreeweerstand [dag/m]

Uit de formules (2.1) en (2.2) blijkt dat, in gebieden waar de afdekkende slechtdoorlatende laag ontbreekt (de zandgebieden), de freatische grondwaterstandsverandering gelijk is aan de berekende verandering van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket. Bij een geringe hydraulische weerstand van de afdekkende slechtdoorlatende laag is een grotere verandering van de freatische grondwaterstand te verwachten, althans in het (theoretische) geval dat twee lokaties worden vergeleken waarin de overige factoren, die de verandering mede bepalen gelijk zijn. Bijlage 1 geeft een beeld van de waarde van c_0 in het onderzoeksgebied. De kaart is afkomstig uit de beschrijving van het modelconcept van LGM (Pastoors, 1992).

In de overige gebieden speelt naast de verticale weerstand (c_0) ook de slootafstand, het doorlaatvermogen van de afdekkende toplaag en de slootweerstand een rol in de relatie tussen het slotenstelsel en het grondwater. Zoals blijkt uit de formule van Ernst bepaalt de afstand tussen de sloten (L) in grote mate de waarde van de drainageweerstand (γ). Omdat de slootafstand meestal ook maatgevend is voor de drooglegging van het gebied (G_t) is hier gekozen voor een aanpak, waarbij de G_t maatgevend is voor de grootte van de drainageweerstand.

Voor de waarden van de drainageweerstand is gebruik gemaakt van onderzoeken in diverse gebieden van Nederland. In tabel 3.1 zijn de waarden weergegeven, afkomstig uit een onderzoek van Iwaco (Iwaco, 1990).

Tabel 3.1

Koppeling grondwatertrap aan drainageweerstand.

grondwatertrap	drainageweerstand [dagen]
Gt-1	100
Gt-2, Gt-2*	150
Gt-3, Gt-3*	250
Gt-4	350
Gt-5, Gt-5*, Gt-6	500
Gt-7, Gt-7*	700

Voor de voorspelling van effecten op de vegetatie blijkt de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (GVG) een belangrijke parameter te zijn (Klijn et al., 1992). In het kader van de Landschapsecologische Kartering Nederland (LKN) zijn de Gt's, genoemd in tabel 3.1, gegeneraliseerd met het oog op ecologische toepassingen (De Waal, 1991), waarbij de nadruk lag op de GVG en tevens is gezorgd voor een grote differentiatie bij de hoogste grondwaterstanden. Zo zijn vijf LKN-grondwaterklassen (hier LKN-GWK's genoemd) gevormd, die in DEMNAT-2 zijn gebruikt. In tabel 3.2 zijn de LKN-grondwaterklassen en de bijbehorende Gt's weergegeven. Hieruit blijkt dat de LKN-GWK indeling niet zonder meer bruikbaar is voor de bepaling van de drainageweerstand γ zoals aangegeven in tabel 3.1. Voor de LKN grondwaterklassen I, II en V is er geen probleem, omdat de Gt's in deze klasse overeenkomen met de Gt's in tabel 3.1. Voor de LKN-GWK III en IV is een waarde van de drainageweerstand γ geschat op grond van de waarden uit tabel 3.1.

De verlaging van de freatische grondwaterstand is berekend met waarden van de drainage weerstand zoals die in tabel 3.2 zijn aangegeven.

Tabel 3.2

Koppeling LKN-grondwaterklasse (LKN-GWK) via de grondwatertrap aan drainageweerstand.

LKN-grondwaterklasse [LKN-GWK]	grondwatertrap	drainageweerstand γ [dagen]
I	Gt-1	100
II	Gt-2	150
III	Gt-2*, Gt-3, Gt-3*, Gt-5, Gt-5*	300
IV	Gt-4, Gt-6	400
V	Gt-7, Gt-7*	700

Binnen een gridcel van DEMNAT-2 kunnen verschillende LKN-grondwaterklassen voorkomen. Uit formule 1 in paragraaf 3.2 blijkt dat de verandering van de freatische grondwaterstand in een element voor alle LKN-grondwaterklassen gelijk is als de slecht-doorlatende deklaag ontbreekt. Voor de overige gevallen is de freatische grondwaterstandsverandering afhankelijk van de grootte van de c_0 -waarde en de drainageweerstand.

Bij de ontwikkeling van DEMNAT-2 is afgesproken om per gridcel per LKN-grondwaterklasse de verandering van de freatische grondwaterstand te berekenen en aan DEMNAT-2 als hydrologische dosis aan te bieden. Dit zijn dan (potentiële) grondwaterstandsverlagingen die optreden als de LKN-grondwaterklasse in deze gridcel voorkomt. In

DEMNET-2 vindt de uiteindelijke toedeling van de hydrologische doses aan de betreffende gridcel toe, aan de hand van het wel/niet voorkomen van de LKN-grondwaterklasse binnen de gridcel.

3.4 Verandering grondwaterstroming naar het oppervlaktewater

Evenals bij de grondwaterstijgheightverandering is ook voor de grondwaterstroming naar het oppervlaktewater de verandering, die optreedt als gevolg van de ingreep in de grondwateronttrekking, berekend. Deze is gelijk aan het verschil van de grondwaterstroming naar oppervlaktewater van de scenario-run en die van de referentie berekening (het jaar 1988). Op identieke wijze als omschreven in par 3.1 voor de grondwaterstijgheight van het eerste watervoerende pakket, is de totale verandering van de grondwaterstroming van of naar het oppervlaktewater berekend, als sommatie van de veranderingen in de afzonderlijke deelmodellen. Om de situatie na de verandering van de grondwateronttrekking te verkrijgen, moet de berekende kwel, c.q. infiltratieverandering worden gesuperponeerd op de situatie van de basisrun (de situatie van 1988).

3.5 Grondwateronttrekking

Binnen een opdracht van het RIVM heeft IGG-TNO geohydrologische informatie verzameld (Pastoors, 1992) Daarbij zijn ook alle grondwaterwinningen, waarvan de onttrekking in 1988 groter dan of gelijk aan 50.000 m³ per jaar was, verzameld.

Per winning zijn de navolgende attributen verzameld:

- de x- en y-coördinaat van de grondwaterwinning als gemiddelde van het puttenveld;
- de boven- en onderkant van het pompfilter ten opzichte van N.A.P. als gemiddelde van het puttenveld;
- de grootte van onttrekking, cq infiltratie van de grondwaterwinning in 1988;
- type winning, onderscheiden in:
 - * grondwateronttrekkingen ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening;
 - * grondwaterwinningen door industrie e.d.;
 - * koelwater winningen (> 50 % koelwater);
 - * bemalingen (tijdelijk);
 - * overig;
- waterkwaliteit van het opgepompte water (zoet/zout grondwater);
- aantal putten, dat tot de inrichting behoort.

In tabel 3.3 is het aantal grondwaterwinningen opgenomen dat binnen het modelgebied is gelegen, verdeeld naar gebruik, met de totale onttrekking cq infiltratie over 1988. Voor de openbare drinkwatervoorziening gaat het om 197 van de ca. 220 in Nederland aanwezige grondwaterwinningen.

Tabel 3.3

Aantal, onttrekking en infiltratie van de lokaties uit 1988, verdeeld naar type winning.

Type winning	Aantal		Onttrekking		Infiltratie	
		[%]	[10 ⁶ m ³ /jr]	[%]	[10 ⁶ m ³ /jr]	[%]
Drinkwater	197	24	730	72	7	54
Industrie	289	34	124	12	1	8
Koelwater(> 50 %)	237	28	124	12	3	23
Bemaling (tijdelijk)	68	8	16	2	0	0
Overig	49	6	17	2	2	15
Totaal	840	100	1011	100	13	100

Naar verwachting is de informatie over (tijdelijke) (retour)bemalingen verre van compleet. Hierdoor zal de grootte van deze grondwaterwinningen zijn onderschat.

Tabel 3.4 geeft een indruk omtrent de verdeling van de winningen naar grootte van de onttrekking. De winningen ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening zijn geringer in aantal, maar de omvang van de winningen is groter.

Daarnaast zijn de grondwaterwinningen voor de openbare drinkwatervoorziening ook nog eens onderscheiden in freatische, semi-spannings en oever-grondwaterwinningen (bron RIVM). Met freatische grondwaterwinningen zijn in dit verband ook bedoeld onttrekkingen onder een zeer plaatselijk voorkomende weerstandbiedende laag of onder een laag waarvan de weerstand afhangt van het waterlopenstelsel cq de drainageweerstand.

In tabel 3.5 is de verdeling van de 197 grondwaterwinningen voor de openbare drinkwatervoorziening opgenomen met per type grondwaterwinning de totale onttrekking (onttrekking verminderd met de infiltratie).

Tabel 3.4

Aantal grondwateronttrekkingen, verdeeld naar grootte en type.

klassegrootte onttrekking [in 10 ⁶ m ³ /jr]	aantal grondwateronttrekkingen t.b.v.				
	drinkwater- voorziening	industrie	koelwater	bemaling	overig
$Q \geq 10$	11	0	0	0	0
$10 < Q \leq 5$	40	1	3	0	0
$5 < Q \leq 2$	67	10	8	1	1
$2 < Q \leq 1$	44	17	18	1	3
$1 < Q \leq 0,5$	18	35	32	4	4
$0,5 < Q \leq 0,05$	17	226	176	62	41

Tabel 3.5

Het aantal en de totale onttrekking van de grondwaterwinningen t.b.v. drinkwatervoorziening, verdeeld naar type winning.

type winning	aantal	totale onttrekking [10 ⁶ m ³ /jr]
freatische winning	70	219
semi-spanningswater winning	120	480
oeverwaterwinning	7	24

4. BEREKENINGSRESULTATEN SCENARIO'S

4.1 Algemeen

Met behulp van het LGM zijn 8 scenario's doorgerekend. De berekeningen zijn uitgevoerd om de verandering van grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket en de verandering van de grondwaterstroming vanuit, c.q. naar het oppervlaktewater te bepalen ten gevolge van een verandering in de grootte van de grondwateronttrekking.

Als referentiescenario (scenario 0), de "huidige" situatie waarmee de andere scenario's zijn vergeleken, geldt de situatie van 1988, waarbij tijdsafhankelijke parameters zijn gemiddeld over het jaar.

De scenario's zijn onderling onafhankelijk te beschouwen, d.w.z. een volgend scenario voegt geen extra maatregelen toe aan de beschouwde scenario's. Het scala aan varianten omvat zowel de grondwateronttrekkingen ten behoeve van de drinkwatervoorziening als industriële winningen. Ook zijn scenario's doorgerekend, waarbij de grondwateronttrekkingen t.b.v. de drinkwatervoorziening zijn onderscheiden in freatische, semi-spanningswater en oevergrondwaterwinningen.

De acht scenario's plus het basisscenario zijn in tabel 4.1 gerangschikt.

Tabel 4.1

Beschrijving van de scenario's met type winning en de verandering in de onttrekking (ΔQ) in $10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$.

Scenario nummer	type winning	ΔQ
0.	winningen 1988	0
1.	drinkwatervoorziening : 1988 + 25 %	+182
2.	drinkwatervoorziening : 1988 - 25 %	-182
3.	drinkwatervoorziening : 1988 - 50 %	-363
4.	industrie, koelwater en overig (COAR) : 1988 - 50 %	-129
5.	industrie, koelwater en overig (COAR) : 1988 - 100 %	-259
6.	drinkwatervoorziening (freatische winningen) : 1988 - 100 %	-219
7.	drinkwatervoorziening (semi-spanningswater winningen) : 1988 - 100 %	-480
8.	drinkwatervoorziening (oevergrondwaterwinningen) : 1988 - 100 %	-24

De industriële onttrekkingen hebben betrekking op de typen industrie, koelwater en overige onttrekkingen, dus zonder de (tijdelijke) bemalingen. In het model is, indien van toepassing, gerekend met een netto grondwateronttrekking per winning (onttrekking - infiltratie). De veranderingen van de grondwateronttrekking hebben betrekking op de huidige winplaatsen. Er heeft geen reallocatie van grondwaterwinningen plaats gevonden.

De resultaten van de scenarioberekeningen zijn op een aantal wijzen gepresenteerd.

- . In de eerste plaats is er de weergave in de vorm van een ruimtelijk beeld van de gemiddelde verandering van de freatische grondwaterstand in een gridcel. De berekening maakt gebruik van één van de invoergegevens van DEMNAT-2, namelijk het voorkomen van de grondwaterklassen (LKN-GWK) binnen een gridcel (uitgedrukt in percentages). De gemiddelde verandering van de freatisch grondwaterstand in een gridcel is berekend met de navolgende formule:

$$\Delta\bar{\varphi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=5} \Delta\varphi_i * opp_i}{100} \quad (3.1)$$

waarin :

$\Delta\bar{\varphi}$ = gemiddelde verandering van de freatische grondwaterstand [m];

$\Delta\varphi_i$ = verandering van de freatische grondwaterstand voor grondwaterklasse i [m];

opp_i = percentage van voorkomen van grondwaterklasse i.

- . In de tweede plaats is er de weergave in de vorm van een kaart waarop de ruimtelijke verbreiding van de verandering van de kwel is aangegeven. Op deze kaarten zijn de gridcellen weergegeven waar de kwel afneemt (scen 1) c.q. toeneemt (scen 2 t/m 8). In het bijzonder is aandacht geschonken aan die gridcellen waar de kwel omslaat in infiltratie (scen 1) c.q. infiltratie omslaat in kwel (scen 2 t/m 8). Deze gridcellen zijn op de kaarten met een aparte legenda aangegeven.

De gridcellen waar het model in de huidige situatie en in de situatie na de ingreep in het hydrologische systeem infiltratie heeft berekend, zijn niet in de bijlagen opgenomen, omdat van de grondwaterstroming naar het oppervlaktewater de kwel en de verandering van de kwel als dosis voor DEMNAT-2 geldt.

- . De derde weergave is in de vorm van tabellen, waarin de verandering van zowel de freatische grondwaterstand of de kwel is opgenomen. Hierbij zijn de gridcellen (km²) geteld, waarvan de verandering van de kwel c.q. van de freatische grondwaterstand is gelegen binnen klassegrenzen.

In de navolgende paragrafen zijn de resultaten per scenario aangegeven en worden kort besproken.

4.2 Het referentiescenario

In het onderzoek is uitgegaan van een situatie, die representatief is voor het jaar 1988. Voor tijdsafhankelijke parameters (polderpeilen, grondwaterstijghoogten, neerslag etc) zijn gemiddelde waarden berekend voor dat jaar. Verder is ervan uitgegaan, dat de grondwaterstroming stationair is.

Voor de grondwaterstroming naar het oppervlaktewater is het van belang, dat DEMNAT-2 zowel de grootte van de kwel voor als na de ingreep nodig heeft als invoerparameter. Aan de kwel/infiltratiekaart van 1988 is om die reden extra aandacht besteed.

Op bijlage 2 is de grootte van de kwel, cq de infiltratie weergegeven, die met het LGM is berekend, uitgaande van de gegevens van 1988. De kaart is beschreven in het rapport over het modelconcept van LGM (Pastoors, 1992). In de hoge zandgebieden is de infiltratie gelijk aan de grondwateraanvulling. In de vrij afwaterende gebieden begrenst de in het model opgegeven grondwaterstand-afvoerrelatie de infiltratie, cq de kwel. Voor de poldergebieden is de grondwaterstroming naar het oppervlaktewater niet aan een maximale, cq minimale waarde gebonden. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de kwel c.q. infiltratie, weergegeven als het aantal km² per klasse. Hierbij is de kwelstroming aangegeven met een negatieve waarde.

Tabel 4.2

Het aantal km² met kwel, c.q. infiltratie naar klassen.

q_0 [mm/dag]	km ²
$\leq -2,00$	542
-2,00 - -1,00	1126
-1,00 - -0,50	2100
-0,50 - -0,25	2135
-0,25 - -0,10	2019
-0,10 - 0,00	1848
0,00 - 0,10	1580
0,10 - 0,25	1954
0,25 - 0,50	2887
0,50 - 1,00	4752
1,00 - 2,00	4597
$\geq 2,00$	460

De oppervlakte van het gebied, waarin het model voor de situatie van 1988 kwel berekent, is 9770 km² groot. Het infiltratiegebied bedraagt 16230 km².

4.3 Scenario 1 : grondwateronttrekking t.b.v drinkwatervoorziening 1988 + 25 %

Scenario 1 komt overeen met een groei in de bestaande winplaatsen met 25 %. De onttrekking op de 197 winplaatsen van de openbare drinkwatervoorziening is in totaal met ca. 182 miljoen m³ per jaar verhoogd tot ca. 903 miljoen m³ per jaar.

Bijlage 3 geeft de ruimtelijke verdeling van de gemiddelde verlaging van de freatische grondwaterstand weer. Het gebied, waarbinnen een verlaging optreedt, is bijna 6900 km² groot. In gebieden waarin de afdekkende slechtdoorlatende laag redelijk tot goed ontwikkeld is, is de verlaging gering. Dit is onder meer het geval in het westelijk veen-weidegebied van Utrecht, in Friesland en de Centrale Slenk in Brabant. In tabel 4.3 is de verlaging gerangschikt naar klassen.

Tabel 4.3

Aantal km² per gemiddelde verlaging van de freatische grondwaterstand.

$\Delta\phi_0$ [m]	km ²
0,00 - 0,10	5039
0,10 - 0,25	1350
0,25 - 0,50	347
0,50 - 1,00	138
1,00 - 2,50	9
$\geq 2,50$	0
totaal	6883

Van de 9770 km², waarin het model een kwelstroming berekent voor de situatie van 1988, is de ruimtelijke verbreiding van de kwelvermindering op bijlage 4 weergegeven. In 3070 km² treedt ook daadwerkelijk een kwelvermindering op. In tabel 4.4 staat aangegeven het aantal km² waarin een afname van de kwel optreedt. In een aparte kolom zijn de gegevens opgenomen van die gridcellen (het gaat in dit scenario om 142 gridcellen), waar de kwel omslaat in infiltratie. Deze gridcellen zijn op de bijlage 4 ook apart weergegeven.

Tabel 4.4

Aantal km² per afname van de kwel en het aantal km² waar kwel omslaat in infiltratie.

q ₀ [mm/dag]	km ² met afname van de kwel	km ² waar kwel om- slaat in infiltratie
0,00 - 0,10	2810	109
0,10 - 0,25	99	28
0,25 - 0,50	19	4
0,50 - 1,00	0	1
≥ 1,00	0	0
totaal	2928	142

4.4 Scenario 2 : grondwateronttrekking t.b.v. drinkwatervoorziening 1988 - 25 %

In dit scenario is de grondwateronttrekking ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening met 25 % verminderd. De totale onttrekking op de 197 winplaatsen is met ca. 182 miljoen m³ per jaar terug gebracht tot 543 miljoen m³ per jaar.

Het gebied, waarbinnen een verhoging van de freatische grondwaterstand optreedt is ruim 6800 km² groot. Bijlage 5 geeft een ruimtelijk beeld van de gemiddelde freatische grondwaterstandsverhoging binnen het onderzoeksgebied. In tabel 4.5 is deze verhoging geclassificeerd.

In de scenario's 1 en 2 is de absolute verandering in de grondwateronttrekking gelijk. Desondanks zijn er verschillen in de verandering van de freatische grondwaterstand te onderscheiden. Met uitzondering van de klasse 0,00 - 0,10 m is het aantal km² in elke klasse voor scenario 2 lager dan voor scenario 1 (zie tabel 4.3). Naar alle waarschijnlijkheid komt dit door het in werking treden van het topsysteem bij een verhoging van de freatische grondwaterstand, waardoor de verhoging, in tegenstelling tot de verlaging, wordt afgevlakt.

Tabel 4.5

Aantal km² per gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand.

$\Delta\phi_0$ [m]	km ²
0,00 - 0,10	5261
0,10 - 0,25	1149
0,25 - 0,50	300
0,50 - 1,00	116
1,00 - 2,50	7
$\geq 2,50$	0
totaal	6833

Een vermindering van de grondwateronttrekking zal tot gevolg hebben dat de infiltratie vanuit het oppervlaktewater afneemt of dat de kwel naar het oppervlaktewater toeneemt. In tabel 4.6 is de kweltoename getabelleerd voor de gridcellen, waarin het model een toename van de kwel berekent. Het gebied is ruim 3200 km². In 162 gridcellen vindt een omslag plaats van infiltratie naar kwel. Bijlage 6 toont het ruimtelijke beeld van de toename van de kwel binnen het modelgebied.

Tabel 4.6

Aantal km² per toename van de kwel en aantal km² waar infiltratie omslaat in kwel.

Δq_0 [mm/dag]	km ² met toename van de kwel	km ² waar infiltratie omslaait in kwel
0,00 - 0,10	2895	133
0,10 - 0,25	147	27
0,25 - 0,50	24	1
0,50 - 1,00	1	1
$\geq 1,00$	0	0
totaal	3067	162

4.5 Scenario 3 : grondwateronttrekking t.b.v. drinkwatervoorziening 1988 - 50 %

Scenario 3 laat zien wat de hydrologische effecten zijn als de grondwateronttrekking ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening met de helft wordt gereduceerd. De verandering in de omvang van de grondwateronttrekkingen bedraagt op jaarbasis ca. 363 miljoen m³.

Op bijlage 7 zijn de ruimtelijke verbreiding en de grootte van gemiddelde freatische grondwaterstandsverhogingen weergegeven. Het geheel is in tabel 4.7 samengevat.

Tabel 4.7

Aantal km² per gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand.

$\Delta\phi_0$ [m]	km ²
0,00 - 0,10	5993
0,10 - 0,25	1366
0,25 - 0,50	826
0,50 - 1,00	305
1,00 - 2,50	111
$\geq 2,50$	0
totaal	8601

Het gebied, waarin een freatische grondwaterstandsverhoging optreedt, is ca. 8600 km² groot. Opmerkelijk is de toename van het aantal gridcellen in de hogere klassen ($\geq 0,25$ m). Dit zijn gridcellen nabij freatische grondwaterwinningen, waarin de verhoging van de freatische grondwaterstand nagenoeg gelijk is aan de verhoging van de grondwaterstijg-hoogte in het eerste watervoerende pakket.

Het ruimtelijke beeld van de kweltoename is weergegeven op bijlage 8. Tabel 4.8 toont het aantal km² per klasse. In ruim 4200 km² vindt een toename van de kwel plaats. In 329 km² slaat de infiltratie om in kwel. Slechts 15 % van de ruim 4200 gridcellen geeft een kweltoename te zien van meer dan 0,1 mm/dag.

Tabel 4.8

Aantal km² per toename van de kwel en aantal km² waar infiltratie omslaat in kwel.

Δq_0 [mm/dag]	km ² met toename van de kwel	km ² waar infiltratie omslaait in kwel
0,00 - 0,10	3386	186
0,10 - 0,25	413	91
0,25 - 0,50	72	45
0,50 - 1,00	23	6
1,00 - 2,00	1	1
$\geq 2,00$	0	0
totaal	3895	329

4.6 Scenario 4 : industriële grondwateronttrekkingen 1988 - 50%

In dit scenario gaat het om 575 industriële onttrekkingslokaties (de typen industrie, koelwater en overig uit tabel 3.3) met een totale netto grondwateronttrekking (onttrekking - infiltratie) van 259 miljoen m³ per jaar. Alle industriële winningen zijn gehalveerd, hetgeen betekent dat bijna 130 miljoen m³ minder grondwater wordt onttrokken ten opzichte van de situatie in 1988.

Bijlage 9 geeft een ruimtelijk beeld van de gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand. Op deze bijlage zijn tevens de lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen aangegeven. Delen van de Veluwe, met een aantal grote industriële onttrekkingen, komen duidelijk naar voren als gebieden waarbinnen de freatische grondwaterstand met meer dan 10 cm stijgt.

Tabel 4.9 geeft een overzicht omtrent het aantal beïnvloede km².

Bijlage 10 toont het ruimtelijke beeld van de kweltoename binnen het modelgebied. Het beeld is wat minder geprononceerd dan dat van de gemiddelde freatische grondwaterstandsverhoging. De randgebieden van de Veluwe, met name rond Ede, zijn gebieden waarin de kwel aan verandering onderhevig is. Verder zijn het westelijke deel van West Brabant, Utrecht en een deel van Friesland en Groningen ondanks het geringe aantal winningen duidelijk terug te vinden in dit beeld.

Tabel 4.10 geeft het aantal gridcellen per klasse. Het totale gebied waarin de kwel toeneemt bedraagt bijna 2150 km². In 96 km² verandert de infiltratie in kwel.

Tabel 4.9

Aantal km² per gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand.

$\Delta\phi_0$ [m]	km ²
0,00 - 0,10	4371
0,10 - 0,25	565
0,25 - 0,50	223
0,50 - 1,00	36
1,00 - 2,50	4
≥ 2,50	0
totaal	5199

Tabel 4.10

Aantal km² per toename van de kwel en aantal km² waar infiltratie omslaat in kwel.

Δq_0 [mm/dag]	km ² met toename van de kwel	km ² waar infiltratie omslaait in kwel
0,00 - 0,10	2068	77
0,10 - 0,25	67	16
0,25 - 0,50	8	2
0,50 - 1,00	0	1
≥ 1,00	0	0
totaal	2143	96

4.7 Scenario 5 : stoppen van industriële grondwateronttrekkingen

De grondwateronttrekking, c.q. infiltratie van de 575 industriële winningen is in dit scenario uitgezet. Dit resulteert in een afname van de grondwateronttrekking met 259 miljoen m³ per jaar. Het gebied, waarbinnen de freatische grondwaterstand verandert is ruim 7000 km² groot. De ruimtelijke verbreiding van de gemiddelde freatische grondwaterstandsverhoging is weergegeven op de bijlage 11. Ten opzichte van scenario 4 is de freatische grondwaterstand op de Veluwe qua areaal het meest toegenomen. Vergelijk daarvoor tabel 4.9 met tabel 4.11.

Tabel 4.11

Aantal km² per gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand.

$\Delta\phi_0$ [m]	km ²
0,00 - 0,10	5547
0,10 - 0,25	801
0,25 - 0,50	416
0,50 - 1,00	230
1,00 - 2,50	36
$\geq 2,50$	0
totaal	7030

Het gebied waarbinnen een toename van de kwel optreedt is ruim 3300 km² groot. In 226 gridcellen gaat de infiltratie over in kwel. Bijlage 12 geeft de ruimtelijke verbreiding en de grootte van de kweltoename weer. Tevens zijn de gridcellen aangegeven waarin de infiltratie omslaat in kwel. In tabel 4.12 is de toename van de kwel geklassificeerd.

Tabel 4.12

Aantal km² per toename van de kwel en aantal km² waar infiltratie omslaat in kwel.

Δq_0 [mm/dag]	km ² met toename van de kwel	km ² waar infiltratie omslaet in kwel
0,00 - 0,10	2866	127
0,10 - 0,25	202	61
0,25 - 0,50	38	26
0,50 - 1,00	7	11
1,00 - 2,00	0	1
$\geq 2,00$	0	0
totaal	3113	226

4.8 Scenario 6 : stoppen van freatische grondwateronttrekkingen t.b.v drinkwater-voorziening

In dit scenario zijn de 70 grondwateronttrekkingen, die de typering freatische grondwaterwinning hebben meegekregen, stop gezet. Het gaat om een totale grondwateronttrekking van 219 miljoen m³ per jaar. De winningen zijn vooral gelegen in de zandgebieden van Drenthe, Overijssel, Gelderland en Utrecht. De lokaties van de winningen zijn aangegeven op bijlage 13, waarop ook de ruimtelijke verbreiding van de gemiddelde freatische grondwaterstandsverhoging is weergegeven. De Veluwe, de Utrechtse en Gooise Heuvelrug, Emmen en Nijmegen zijn gebieden waarin de gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand duidelijk tot uiting komt. Het gebied, waarbinnen de freatische grondwaterstand omhoog komt, is 4400 km² groot. In tabel 4.13 is het areaal aangegeven. Uit de vergelijking van de freatische grondwaterstandsbeelden uit de scenario's 1 en 2 met die van scenario 6 blijkt dat de toename van de freatische grondwaterstand vooral rond de winningen aanmerkelijk is. Dit verklaart eveneens het grote aantal km² in de hogere klassen van tabel 4.13.

Tabel 4.13

Aantal km² per gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand.

$\Delta\phi_0$ [m]	km ²
0,00 - 0,10	2119
0,10 - 0,25	717
0,25 - 0,50	776
0,50 - 1,00	535
1,00 - 2,50	223
≥ 2,50	30
totaal	4400

Een dergelijk beeld is eveneens te zien bij de toename van de kwel. Het beïnvloede gebied is ca. 1650 km² groot. Maar ook hier is het aantal km² in de hogere klassen toegenomen. Bijlage 14 toont het ruimtelijke beeld van de kweltoename in het onderzoeksgebied. In tabel 4.14 is deze toename getabelleerd naar klassen.

Tabel 4.14

Aantal km² per toename van de kwel en aantal km² waar infiltratie omslaat in kwel.

Δq_0 [mm/dag]	km ² met toename van de kwel	km ² waar infiltratie omslaait in kwel
0,00 - 0,10	1094	60
0,10 - 0,25	225	55
0,25 - 0,50	82	50
0,50 - 1,00	26	30
1,00 - 2,00	16	14
$\geq 2,00$	1	1
totaal	1444	210

4.9 Scenario 7 : stoppen van semi-spanningswater winningen t.b.v drinkwatervoorziening

Het gaat in dit scenario om 120 winningen met een totale jaarlijkse onttrekking van 480 miljoen m³. Het zijn winningen, die grondwater onttrekken uit watervoerende pakketten onder een slechtdoorlatende laag. Dit scenario omvat de grootste verandering in de grondwateronttrekking. De geohydrologische situatie, winning onder slechtdoorlatende lagen, zorgt voor een afvlakking en grote verbreiding van de hydrologische effecten. Dat blijkt eveneens uit het gebied, waarbinnen de freatische grondwaterstand is beïnvloed. Met een oppervlakte van ruim 8600 km² is dit groter dan in de scenario's 1 en 2. Opvallend is wel dat het beïnvloede gebied slechts een fractie hoger is dan in scenario 3, waarin de grondwateronttrekking voor de drinkwatervoorziening is gehalveerd. De ruimtelijke verbreiding van de gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand is weergegeven op bijlage 15. Tevens zijn op de bijlage de lokaties van de grondwaterwinningen aangegeven, waarvan de onttrekking is uitgezet.

In tabel 4.15 is de gemiddelde freatische grondwaterstandsverhoging getabelleerd.

Tabel 4.15

Aantal km² per gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand.

$\Delta\phi_0$ [m]	km ²
0,00 - 0,10	6869
0,10 - 0,25	1042
0,25 - 0,50	435
0,50 - 1,00	172
1,00 - 2,50	80
≥ 2,50	18
totaal	8616

Voor de toename van de kwel ontstaat een vergelijkbaar beeld. Het beïnvloede gebied is bijna 4500 km² groot, dat wil zeggen een fractie groter dan bij scenario 3. Tabel 4.16 bevat de verdeling naar klassen. Bijlage 16 laat de grootte en de ruimtelijke verbreiding van de kweltoename zien.

Tabel 4.16

Aantal km² per toename van de kwel en aantal km² waar infiltratie omslaat in kwel.

Δq_0 [mm/dag]	km ² met toename van de kwel	km ² waar infiltratie omslaet in kwel
0,00 - 0,10	3332	199
0,10 - 0,25	364	134
0,25 - 0,50	149	100
0,50 - 1,00	28	39
1,00 - 2,00	4	18
≥ 2,00	0	0
totaal	3877	490

4.10 Scenario 8 : stoppen van de oevergrondwaterwinningen t.b.v. drinkwatervoorziening

Het scenario omvat 7 winlokaties met een grondwateronttrekking van 24 miljoen m³ per jaar. Omdat de winningen dichtbij grotere waterlopen zijn gelegen, is de invloed op de freatische grondwaterstand geringer dan bij andere grondwaterwinningen. De gemiddelde freatische grondwaterstandsverhogingen, behorend bij scenario 8 zijn weergegeven op bijlage 17. Tevens zijn de 7 winlokaties op deze bijlage aangegeven.

Tabel 4.17 geeft een beeld van het aantal beïnvloede km². Met een totaal van 66 km² is dit gering in vergelijking met de andere scenario's.

Tabel 4.17

Aantal km² per gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand.

$\Delta\phi_0$ [m]	km ²
0,00 - 0,10	57
0,10 - 0,25	7
0,25 - 0,50	1
$\geq 0,50$	0
totaal	65

In 116 km² neemt de kwel in waarde toe. 80 % ligt in de klasse kleiner 0,00 - 0,10 mm/dag. Tabel 4.18 bevat de verdeling van de kweltoename naar klassen. De ruimtelijke verbreiding van de kweltoename staat op bijlage 18 aangegeven.

Tabel 4.18

Aantal km² per toename van de kwel en aantal km² waar infiltratie omslaat in kwel.

Δq_0 [mm/dag]	km ² met toename van de kwel	km ² waar infiltratie omslaat in kwel
0,00 - 0,10	90	3
0,10 - 0,25	13	2
0,25 - 0,50	1	3
0,50 - 1,00	1	2
1,00 - 2,00	0	1
$\geq 2,00$	0	0
totaal	105	11

4.11 Conclusies met betrekking tot de scenario's

Het is niet eenvoudig, de hydrologische effecten voor de verschillende scenario's onder één noemer te brengen. Daarvoor verschilt de geohydrologische gesteldheid van de ondergrond ter plaatse van de grondwaterwinningen te veel. De resultaten zullen daarom niet gebruikt worden om op grond van de berekende hydrologische effecten een oordeel uit te spreken over deze scenario's. Nu behoeft dat geen bezwaar te zijn, omdat het primaire doel van dit onderzoek niet was het zo goed mogelijk voorspellen van de concrete hydrologische effecten op een bepaalde plaats, maar het op uniforme wijze en landsdekkend berekenen van hydrologische doses voor DEMNAT-2. In tabel 4.19 staan vermeld de verandering in de grondwateronttrekking en het totale oppervlak van het gebied, waarin de gemiddelde verhoging, resp. verlaging van de freatische grondwaterstand, de toe- resp. afname van de kwel en de omslag van kwel naar infiltratie resp. infiltratie naar kwel plaats vinden.

Tabel 4.19

De verandering in de grondwateronttrekking (ΔQ), het oppervlak met de verandering van de freatische grondwaterstand ($\Delta\phi_0$), van de kwel (Δq_0) en met de omslag van de grondwaterstroming naar het oppervlaktewater (q_0) per scenario.

scenario	ΔQ [10 ⁶ m ³ /jr]	aantal km ² met		
		$\Delta\phi_0$	Δq_0	omslag van q_0
1	+182	6883	2928	142
2	-182	6833	3067	162
3	-363	8601	3895	329
4	-129	5199	2143	96
5	-259	7030	3113	226
6	-219	4400	1444	210
7	-480	8616	3877	490
8	-24	65	105	11

De resultaten geven aanleiding tot de volgende conclusies:

- De invloed van de oevergrondwaterwinningen (scenario 8) op de freatische grondwaterstand is zowel in relatieve als in absolute zin gering. Scenario 8 omvat slechts 7 winlocaties met een totale onttrekking van 24 miljoen m³ per jaar. Daarnaast is dit type winning dichtbij grote waterlopen gelegen, waardoor het beïnvloede gebied geringer is dan bij andere grondwaterwinningen.

- Voor de overige scenario's varieert het beïnvloede gebied van de freatische grondwaterstand, als gevolg van de verandering van de grondwateronttrekking, van 17 % (scenario 6) tot 33 % (scenario 7) van het totale modelgebied van 26000 km². Voor de verandering van de kwel varieert de grootte van het beïnvloede gebied van 6 % (scenario 6) tot 17 % (scenario 7).
- Het beïnvloede gebied van de freatische grondwaterstand uit de scenario's 1 en 2, waarbij de verandering in de grondwateronttrekking dezelfde grootte heeft maar tegengesteld van teken is, is ongeveer gelijk. Desondanks zijn er verschillen in de hydrologische effecten te onderscheiden. Bij het verminderen van de grondwateronttrekking stijgt de grondwaterstijghoogte, terwijl ook de drainage afvoer toe neemt. Op zijn beurt beperkt dit de stijging van het freatische grondwater. De grootte van de verandering van de freatische grondwaterstand is in scenario 2 geringer dan in scenario 1, terwijl de grootte van de kwelverandering juist toeneemt.
- Ondanks een verdubbeling van de verandering in de grondwateronttrekking neemt de invloed van de grondwaterwinning op de freatische grondwaterstand in scenario 3 met 26 % toe ten opzichte van scenario 2. Het gebied, waarbinnen de kwel toeneemt, wordt 31 % groter.

Ook bij de industriële winningen is een dergelijke vergelijking te maken. In scenario 5 is het gebied, waarbinnen de freatische grondwaterstand stijgt en de kwel toeneemt, resp. 35 % en 49 % groter dan in scenario 4. Dat de percentages bij de industriële winningen hoger zijn dan bij de winningen t.b.v. openbare watervoorziening is mogelijk te verklaren uit de verdeling van de grondwateronttrekking over freatische en semi-spanningswaterwinningen. Voor de openbare watervoorziening is de verdeling 219 miljoen m³ per jaar uit freatische en 480 miljoen m³ per jaar uit semi-spanningswater pakketten. Voor de industriële winningen is dit niet onderzocht, maar wellicht dat verhoudingsgewijze meer grondwater uit semi-spanningswater pakketten wordt onttrokken dan bij de onttrekkingen t.b.v. de openbare watervoorziening. Dit zou tevens een verklaring kunnen zijn waarom het beïnvloede gebied van scenario 5 bijna even groot is als bij scenario 2, ondanks een verschil in de grondwateronttrekking van bijna 80 miljoen m³ per jaar.

- De scenario's 3 en 7 leveren het grootste oppervlak waar een verandering in de freatische grondwaterstand optreedt. Aangezien deze scenario's ook betrekking hebben op de grootste wijzigingen in het debiet ligt een dergelijke uitkomst voor de hand. Niettemin is het opvallend, dat bij scenario 3 sprake is van een groter gebied met een grotere stijging ($> 0,25$ m), terwijl scenario 7 een groter gebied met geringere stijging ($< 0,25$ m) laat zien. De verklaring hiervoor is dat in scenario 7 alleen de winningen uit semi-spanningswater pakketten onderdeel van het scenario uitmaken. Door de afdekkende semi-permeabele lagen worden de hydrologische effecten naar boven gedempt, maar wel over een groter gebied gespreid.

In scenario 3 daarentegen zijn zowel freatische winningen als winningen uit semi-spanningswaterpakketten betrokken.

- Het gebied, waarbinnen de kwel verandert, is in de scenario's 3 en 7 ongeveer gelijk. In scenario 7 daarentegen is het gebied waarbinnen de kwel toe neemt met meer dan 0,10 mm/dag ca. 45 % groter dan in scenario 3. Dit resultaat wekt geen verwondering aangezien de semi-spanningswater winningen in scenario 7 zijn beëindigd.
- Opvallend is dat de scenario's 5 en 6 ondanks het geringe verschil in de verandering in de grondwateronttrekking een groot verschil in het beïnvloede gebied laten zien voor zowel de freatische grondwaterstands- als de kwelverandering. Ook hier geldt dat in scenario 6 alleen de freatische winningen in beschouwing zijn genomen, terwijl bij de industriële winningen ook onttrekkingen onder slechtdoorlatende lagen onderdeel uitmaken van het scenario.

In tabel 4.20 is het oppervlak aangegeven, waarin de gemiddelde verandering van de freatische grondwaterstand meer dan 10 cm bedraagt. In dezelfde tabel zijn kolommen opgenomen met het oppervlak, waarin de kwelverandering groter is dan 0,10 mm/dag. Ook van de gridcellen waarin de infiltratie omslaat naar kwel en waarvan de toename van de kwel groter is dan 0,10 mm/dag zijn in deze tabel opgenomen. Het beeld verschilt op onderdelen met tabel (4.19).

Tabel 4.20

De verandering in de grondwateronttrekking (ΔQ), het oppervlak met een verandering van de freatische grondwaterstand ($\Delta \phi_0$) > 0,10 m, van de kwel (Δq_0) > 0,10 mm/dag en met de omslag van de grondwaterstroming naar het oppervlaktewater (q_0) > 0,10 mm/dag per scenario.

scena- rio	ΔQ [$10^6 \text{ m}^3/\text{jr}$]	aantal 1 km ² met		
		$\Delta \phi_0 > 0,10 \text{ m}$	$\Delta q_0 > 0,10$ mm/dag	omslag van q_0 > 0,10 mm/dag
1	+182	1844	118	33
2	-182	1572	172	29
3	-363	2608	509	143
4	-129	828	75	19
5	-259	1483	247	99
6	-219	2281	350	150
7	-480	1747	545	291
8	-24	9	15	8

- Als scenario 8 buiten beschouwing wordt gelaten is het opvallend dat de onderlinge verschillen tussen de scenario's met betrekking tot het aantal km² met een gemiddelde freatische grondwaterstandsverandering absoluut kleiner, maar relatief groter zijn dan in tabel 4.19.
- Scenario 6, het beëindigen van de freatische winningen met een totaal debiet van 219 miljoen m³ per jaar, heeft een groot oppervlak, waarbij de verandering meer dan 10 cm bedraagt. Ten opzichte van het totale beïnvloede gebied van 4400 km² (tabel 4.19) bedraagt het oppervlak met een freatische grondwaterstandsverhoging > 10 cm maar liefst 52 %. Dit resultaat wekt geen verwondering, omdat bij freatische winningen een slechtdoorlatende afdekkende laag ontbreekt. De verandering van de freatische grondwaterstand is in dat geval gelijk aan de verandering van de grondwaterstijghoogte in het eerste watervoerende pakket.
- Bij scenario 7 daarentegen, waarin alleen de semi-spanningswater winningen in beschouwing zijn genomen, is in 20 % van het beïnvloede gebied de freatische grondwaterstandsverhoging groter dan 10 cm.
- De invloed van de freatische grondwaterwinningen is eveneens terug te vinden in scenario 3, waarbij de winningen ten behoeve van de openbare watervoorziening met 50 % zijn terug gebracht. Scenario 3 geeft het grootste gebied waar een stijging van de freatische grondwaterstand optreedt van meer dan 10 cm.
- Scenario 7 levert het grootste gebied, waarbinnen de kwel met meer dan 0,10 mm/dag toe neemt. Het oppervlak van 836 (545 + 291) km² is gelijk aan 19 % van het totale beïnvloede gebied van 4367 km².
- In scenario 6 daarentegen is het oppervlak met een toename van de kwel van meer dan 0,10 mm/dag absoluut kleiner, maar in verhouding tot het totale beïnvloede gebied groter (30 %) dan bij scenario 7.

5. AANBEVELINGEN VOOR HET LANDELIJK GRONDWATER MODEL (LGM)

Het onderhavige onderzoek is gericht geweest op het landsdekkend beschikbaar krijgen van de hydrologische effecten, die optreden als gevolg van een verandering in de bestaande grondwaterwinningen. Deze doelstelling tezamen met de beschikbare tijd waarin het onderzoek moest worden uitgevoerd, alsmede de tijd die gemoeid was met het landsdekkend beschikbaar krijgen van de waarden van de (geo)hydrologische parameters, heeft ertoe geleid dat is gekozen voor een globale aanpak van de modelstudie.

Het uitgevoerde onderzoek draagt een regionaal karakter met een resolutie van ca. 1 km² in het tweedimensionale horizontale vlak, waarbij de resultaten op landelijke schaal mogen worden toegepast.

In deze toepassing van het Landelijk Grondwater Model (LGM) is weinig ruimte gereserveerd voor een analyse van de betrouwbaarheid van de berekeningsresultaten. Er was weinig tijd beschikbaar om een uitgebreide ijking uit te voeren. Verder is de mathematische kant van de betrouwbaarheidsbepalingen nog volop in ontwikkeling. Ook zij gememooreerd dat het in dit onderzoek niet ging om het zo goed mogelijk voorspellen van concrete hydrologische effecten op een bepaalde plaats. Voor wat betreft de hydrologische effecten van de winningen had het onderzoek een vergelijkend karakter, waarbij de resultaten qua nauwkeurigheid en betrouwbaarheid onderling vergelijkbaar moesten zijn.

Dat neemt niet weg, dat de verkregen kennis van het regionaal hydrologisch systeem in het onderzoeksgebied goed gebruikt kan worden als uitgangspunt bij verdere beschouwingen en berekeningen in het kader van het kwantitatieve en kwalitatieve grondwateronderzoeken. Bij toekomstige toepassingen zal echter meer tijd moeten worden ingeruimd om de berekeningsresultaten te toetsen aan de werkelijkheid. Op deze wijze kunnen gemaakte aannamen, zoals de schematisering, vereenvoudiging, gebruikte parameterwaarden e.d., geverifieerd worden. Er is bij het RIVM een onderzoek gestart naar technieken, waarmee gemeten en berekende waarden van de grondwaterstijghoogten op systematische wijze kunnen worden vergeleken en waarmee op grond van deze vergelijking en weging van de verschillen waarden van de grondconstanten kunnen worden berekend.

Daarnaast zal het LGM worden ingezet bij het voorspellen van de ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit en de daarmee samenhangende ruwwaterkwaliteit op grondwaterwinplaatsen. Derhalve dient het LGM in staat te zijn concentraties in het grondwater te berekenen op basis van de beschrijving van het transport en gedrag van opgeloste stoffen in het grondwater. De uitbreiding van de bestaande programmatuur van het LGM richt zich allereerst op uitbreiding met de mogelijkheid om snelheidsberekeningen van het grondwater, stroombanen en verblijftijden, en transportberekeningen uit te voeren. De modules hiervoor zijn in principe beschikbaar, maar de koppeling met de huidige versie van het

LGM moet nog tot stand worden gebracht. Verder zal het LGM worden uitgebreid met de mogelijkheid om de effecten van zoet/zout grondwater in rekening te kunnen brengen, zodat ook berekeningen kunnen worden uitgevoerd, waarbij deze effecten een rol kunnen spelen (bijv de kuststreken van Nederland).

Het Landelijk Grondwater Model (LGM) is derhalve een model, dat nog aanmerkelijk kan en zal worden aangevuld en verbeterd. De uitbreiding van het LGM alsmede het verzamelen van aanvullende gegevens, met name wat betreft de waarden van (geo)hydrologische parameters, vergroot niet alleen de voorspellende waarde van het model, maar tevens de toepasbaarheid ervan.

6. LITERATUURLIJST

6.1 Geraadpleegde literatuur

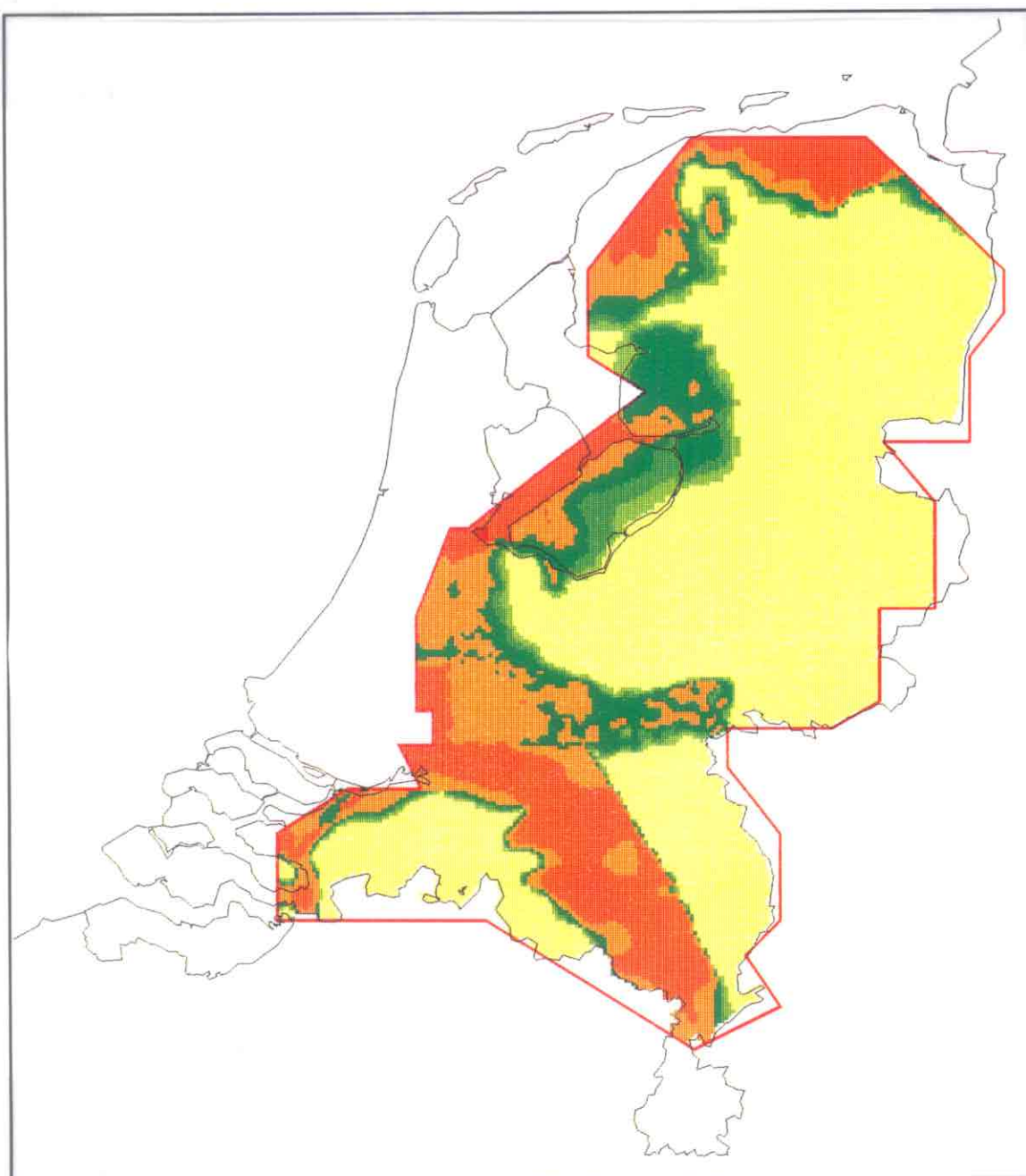
1. Ernst L.F., 1962 : Grondwaterstroming in de verzadigde zône en hun berekeningen bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen.
Proefschrift, R.U. Utrecht.
2. Iwaco, 1990 : Hydrologische effecten van een grondwaterwinning van 4,25 miljoen m³/jaar door Fuji Photo Film b.v.
3. Klijn F., A. ten Harmsel, C.L.G. Groen, april 1992 : Ecoseries 2.0. Naar een ecoserie-classificatie, ten behoeve van het eco-hydrologisch voorspellingsmodel DEMNAT-2.
CML-rapport nr.85
4. Pakes, U., R.H.van Waveren, F.A.M.Claessen, november 1992 : Berekening invloed systeemvreemd water met DEMGEN
RIZA; werkdocument 92-117X
5. Pastoors M.J.H., 1992 : Landelijk Grondwater Model : conceptuele modelbeschrijving
RIVM-rapport 714305004
6. VROM, 1990 : Beleidsplan Drink- en Industriewatervoorziening "Naar een Glasheldere Toekomst"
VROM, nota 90353/5-90.
7. Waal R.W. de, 1992 : Landschapsecologische kartering van Nederland : Bodem en grondwater; toelichting bij het databestand BODEMGT van het LKN-project (fase III).
DLO-SC Rapport 132. Wageningen.
8. Projectgroep "West-Utrecht", oktober 1982 : Mogelijke lokaties voor diepe grondwaterwinning in West-Utrecht.

6.2 Rapporten, uitgebracht in kader van onderzoek "Effecten Grondwaterwinning"

- rapport nr.1: Het ecohydrologisch voorspellingsmodel DEMNAT-2;
 conceptuele modelbeschrijving
 Witte, J.P.M., C.L.G.Groen, J.G.Nienhuis
 november 1992
 CML-rapport nr.89
 RIVM-rapport 714305007
 ISBN nr:90-6960-030-7
- rapport nr.2: Het ecohydrologisch voorspellingsmodel DEMNAT-2;
 technische modelbeschrijving
 Nienhuis, J.G., J.B.S.Gan, R.Lieste
 december 1992
 RIVM-rapport 714305008
 ISBN nr:90-6960-032-3
- rapport nr.3: Het gebruik van een Geografisch Informatie Systeem ten behoeve van
 het ecohydrologisch voorspellingsmodel DEMNAT-2
 Nienhuis, J.G.
 december 1992
 RIVM-rapport 714305006
 ISBN nr:90-6960-028-5
- rapport nr.4: FLORBASE; een bestand van de Nederlandse flora, periode 1975 - 1990
 Groen, C.L.G., M.Gorree, R.van der Meijden, R.Huele, M.van 't Zelfde
 december 1992
 CML-rapport nr.91
 ISBN nr:90-6960-037-4
- rapport nr.5: Ecoseries 2.0. Naar een ecoserieclassificatie, ten behoeve van
 het ecohydrologisch voorspellingsmodel DEMNAT-2
 Klijn, F., A.ten Harmsel, C.L.G.Groen
 april 1992
 CML-rapport nr.85
 ISBN nr:90-6960-036-6

- rapport nr.6: Verspreiding en natuurwaarden van ecotoopgroepen in Nederland
Witte, J.P.M., R.van der Meijden
november 1992
ISBN nr:90-6960-040-4
- rapport nr.7: Effecten van ingrepen in de waterhuishouding op vegetaties van natte en
vochtige standplaatsen
Linden, M.v.d., J.Runhaar, M.v.'t Zelfde
november 1992
CML-rapport nr.86
ISBN nr:90-6960-034-X
- rapport nr.8: Berekening invloed systeemvreemd water met DEMGEN
Pakes, U., R.H.van Waveren, F.A.M.Claessen
november 1992
RIZA; werkdocument 92-117X
ISBN nr:90-6960-039-0
- rapport nr.9: Groundwater Model for the Netherlands.
Mathematical Model Development and User's Guide
Kovar, K., A.Leijnse, J.B.S.Gan
november 1992
RIVM-rapport 714305002
ISBN nr:90-6960-027-7
- rapport nr.10: Landelijk Grondwater Model; conceptuele modelbeschrijving
Pastoors, M.J.H.
november 1992
RIVM-rapport 714305004
ISBN nr:90-6960-026-9
- rapport nr.11: Het gebruik van een Geografisch Informatie Systeem ten behoeve van
het Landelijk Grondwater Model
december 1992
Lieste, R., J.G.W.Verlouw
RIVM-rapport 714305003
ISBN nr:90-6960-024-2

- rapport nr.12: Landelijk Grondwater Model; berekeningsresultaten
Pastoors, M.J.H.
november 1992
RIVM-rapport 714305005
ISBN nr:90-6960-025-0
- rapport nr.13: Het ecohydrologisch voorspellingsmodel DEMNAT-2;
interpretatie van de rekenresultaten
Groen, C.L.G., R.van der Meijden, J.G.Nienhuis, U.Pakes, J.P.M.Witte
november 1992
CML-rapport nr.90
RIVM-rapport 714305009
RIZA-nota nr. 92-058
ISBN nr:90-6960-029-3
- rapport nr.14: Toetsing van de verspreiding van ecotoopgroepen aan het LKN-bestand
Groen, C.L.G., J.P.M.Witte
december 1992
CML-rapport nr.92
ISBN nr:90-6960-033-1
- rapport nr.15: Effecten van grondwaterstandsveranderingen op de landbouwproductie;
een methodiek
Grakist, G., H.van Veldhuijzen
maart 1992
RIVM-rapport 714305001
ISBN nr:90-6960-035-8
- rapport nr.16: Effecten op natuur van grondwaterwinning ten behoeve van Beleidsplan
Drink- en Industrierwatervoorziening en MER
Beugelink, G.P., F.A.M.Claessen, J.H.C.Mülschlegel
november 1992
RIVM-rapport 714305010
RIZA-nota nr.92.059
ISBN nr:90-6960-038-2



c_0 -waarde in dagen.

□ c_0 -waarde niet berekend.

■ c_0 -laag afwezig.

■ $c_0 \leq 250$

■ 250 - 500

■ 500 - 1000

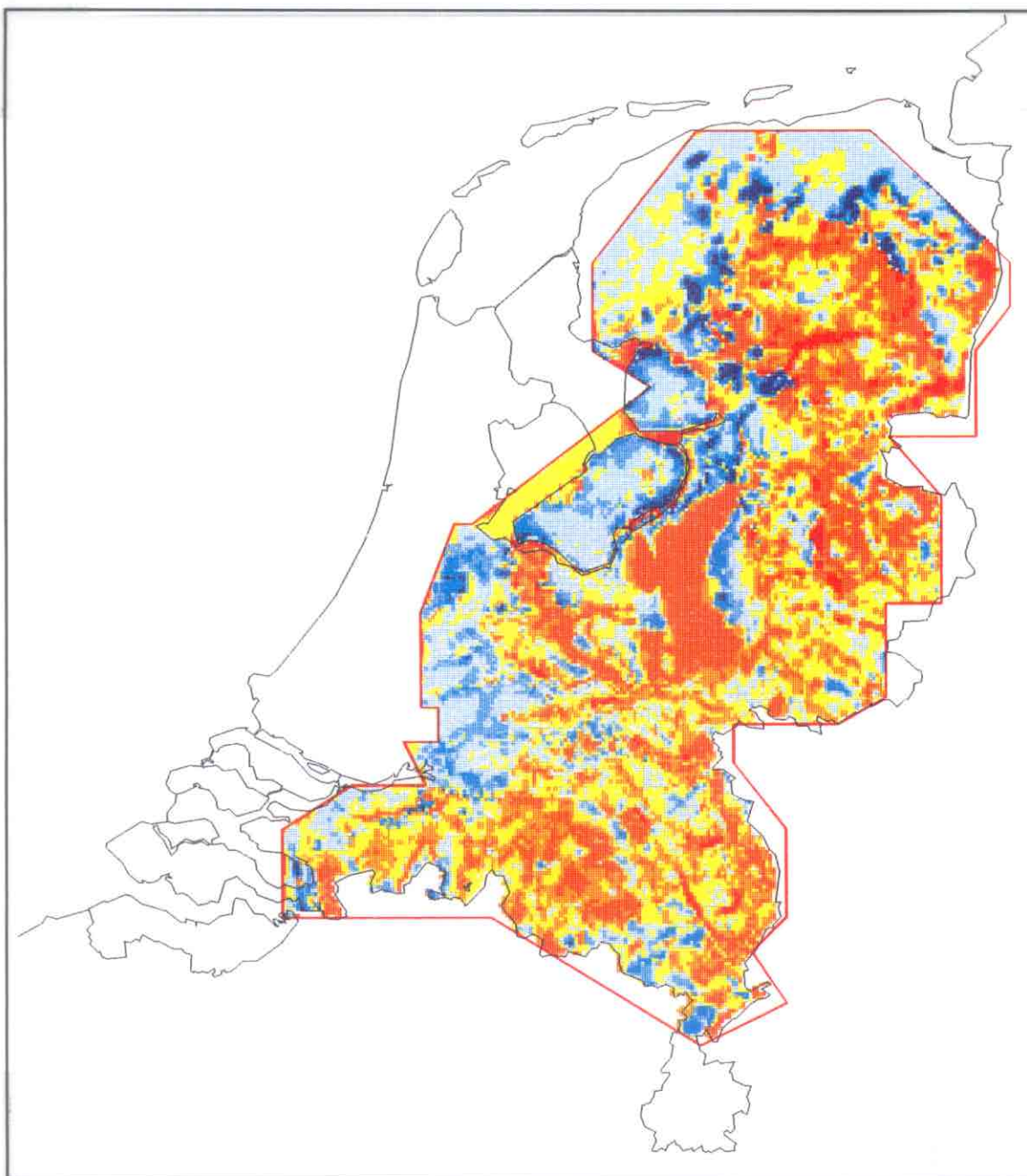
■ 1000 - 2500

■ 2500 - 5000

■ $c_0 > 5000$

Bijlage 1.

Waarden van de verticale weerstand c_0 van de slechtdoorlatende afdekkende laag [dagen].



Gebieden met kwel [mm/dag].

	0,00	-	0,50
	0,50	-	1,00
	1,00	-	2,00
	>		2,00

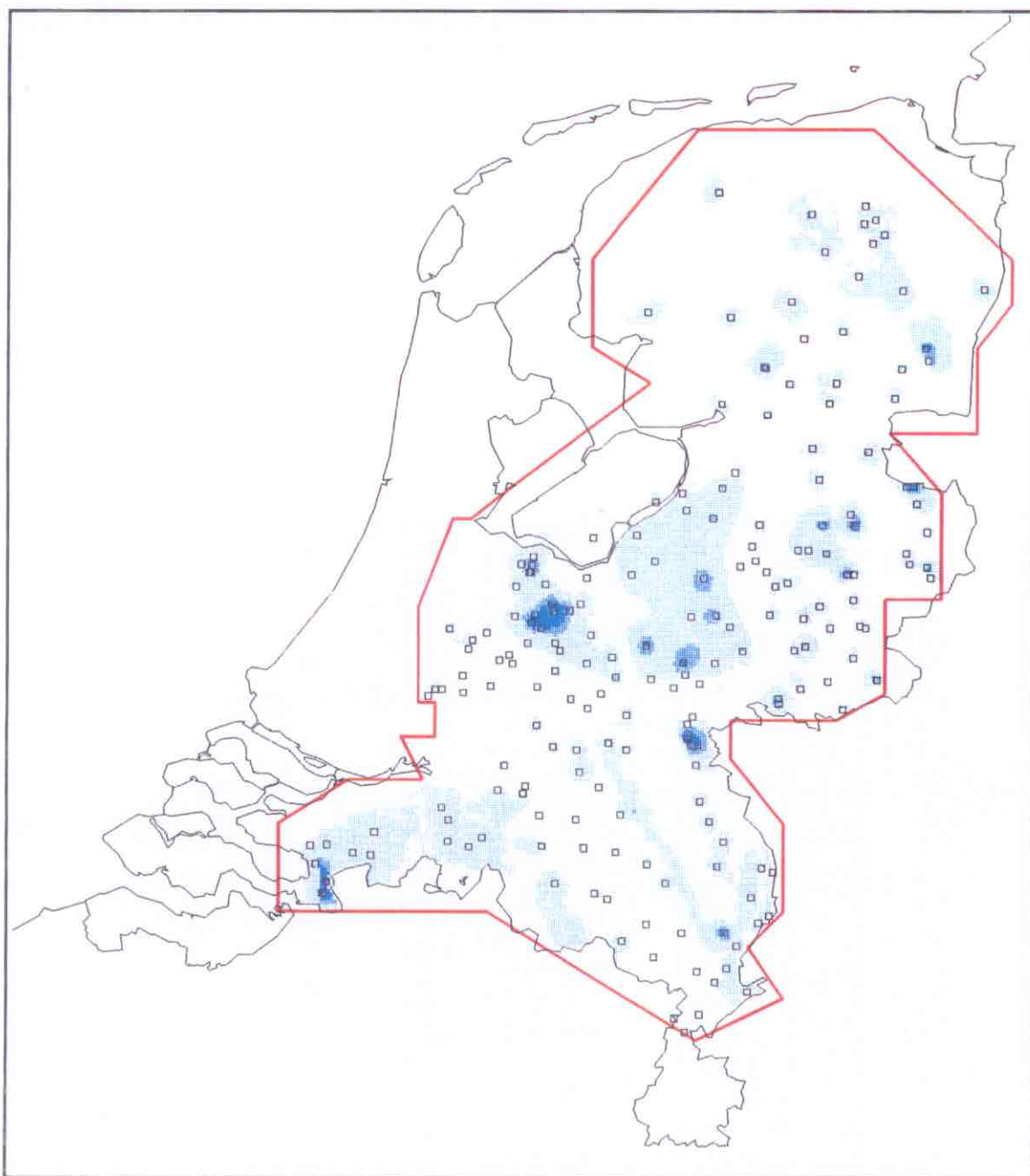
Gebieden met infiltratie [mm/dag].

	0,00	-	0,50
	0,50	-	1,00
	1,00	-	2,00
	>		2,00

Bijlage 2.

Gebieden met kwel of infiltratie, berekend met het LGM.

(gemiddelde situatie 1988)



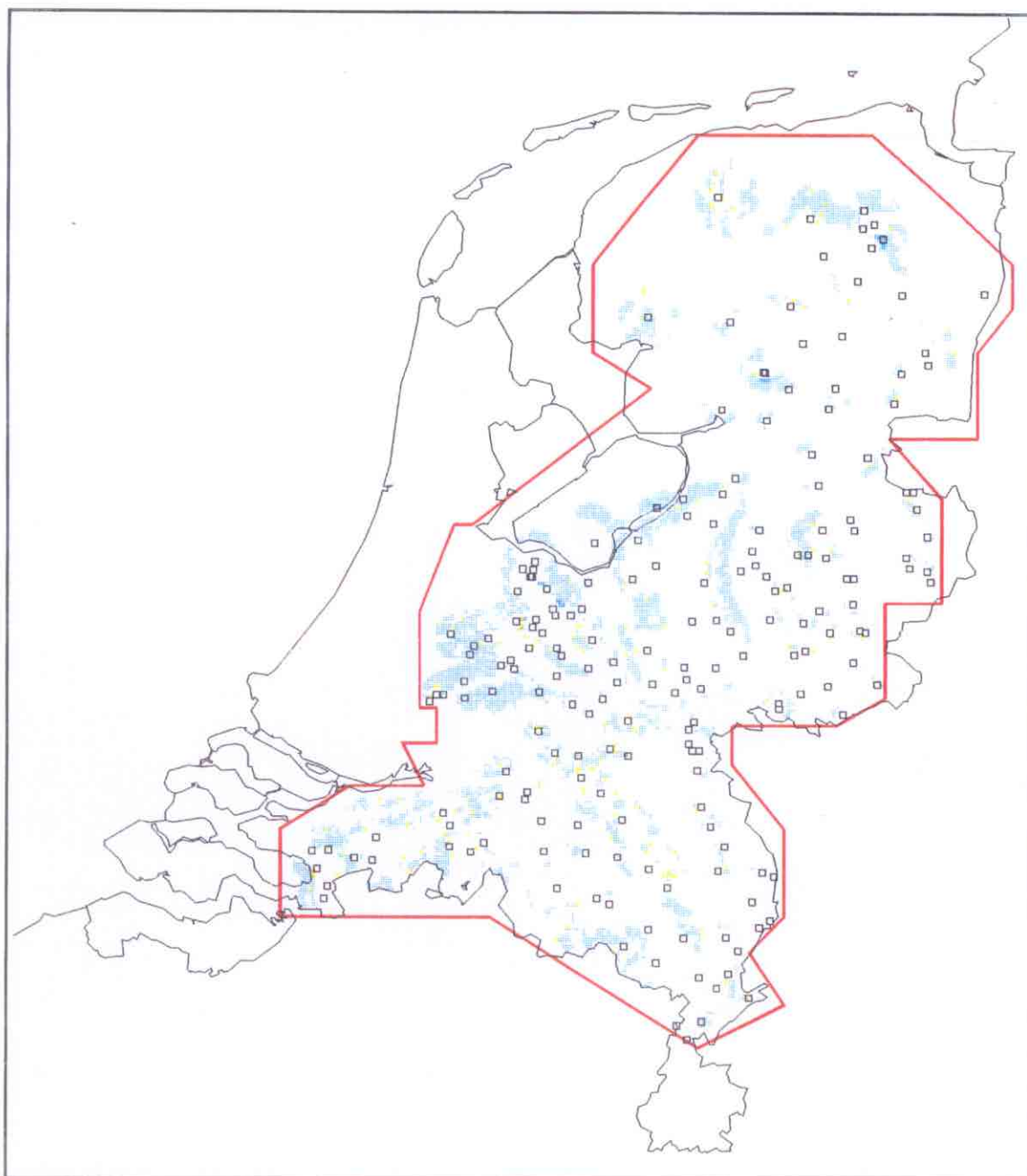
Gebieden met verlaging van de freatische grondwaterstand [m].

	0,00 - 0,25
	0,25 - 0,50
	0,50 - 1,00
	> 1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 3.

Gebieden met een gemiddelde verlaging van de freatische grondwaterstand [m], bij een toename van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 25 % (scenario 1).



**Gebieden met afname van de kwel
[mm/dag].**

	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

**Gebieden waarin de kwel omslaat
naar infiltratie [mm/dag].**

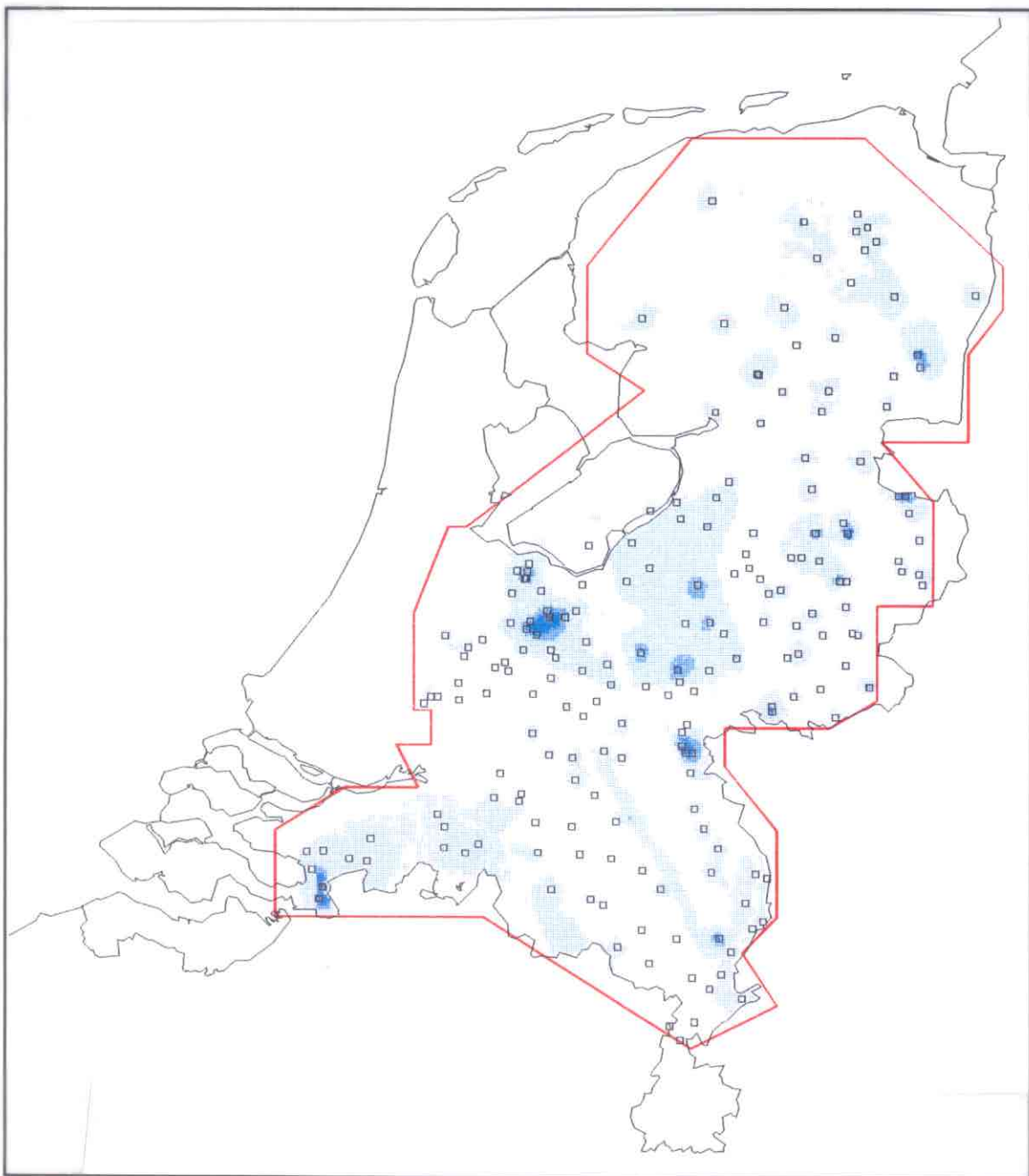
	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 4.

***Gebieden met een afname van de kwel, bij een toename van de grondwaterwinningen
t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 25 %.***

(scenario 1)



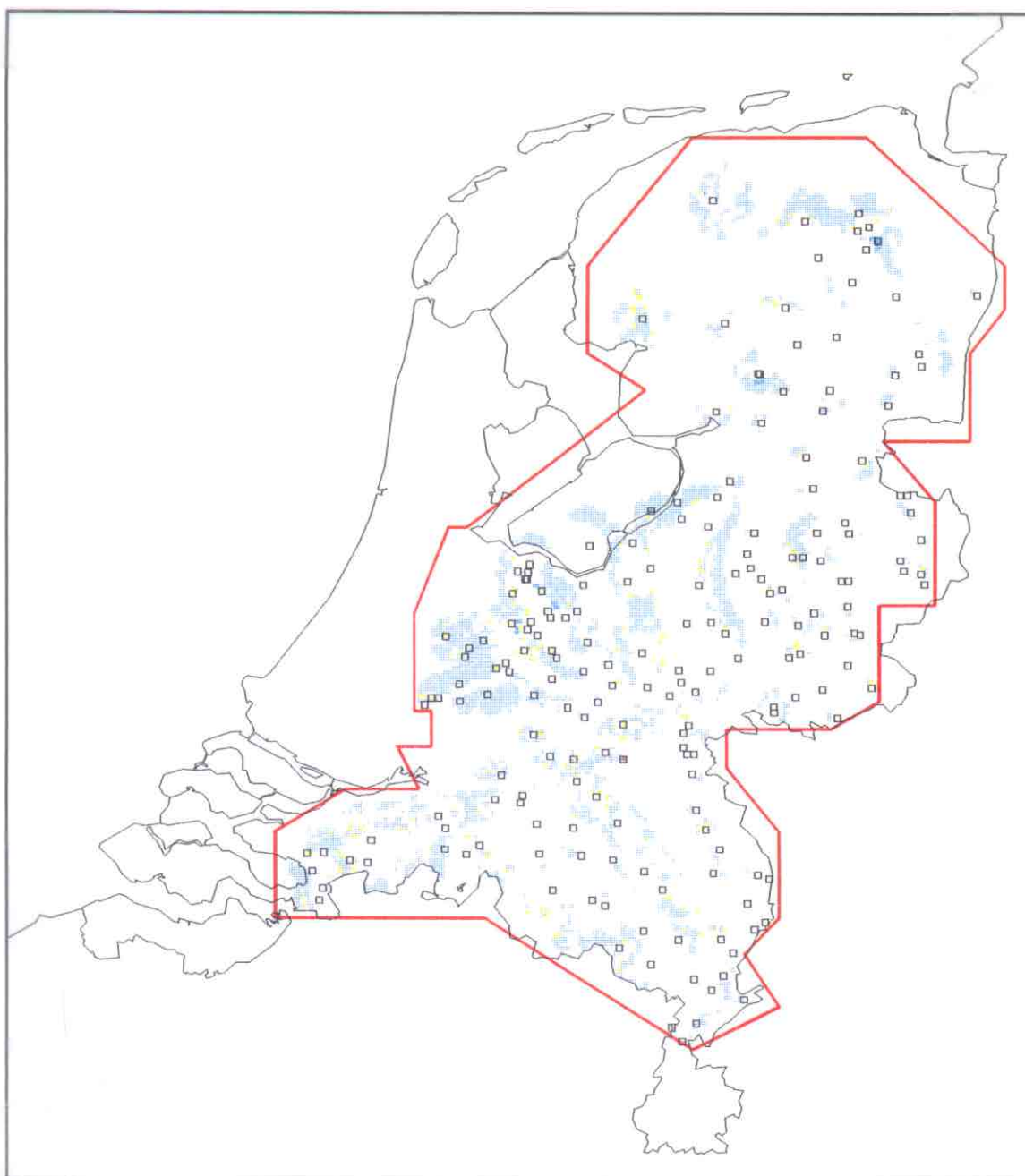
**Gebieden met een verhoging van de
freatische grondwaterstand [m].**

	0,00 - 0,25
	0,25 - 0,50
	0,50 - 1,00
	> 1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 5.

Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 25 % (scenario 2).



**Gebieden met toename van de kwel
[mm/dag].**

	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

**Gebieden waarin de infiltratie om-
slaat naar kwel [mm/dag].**

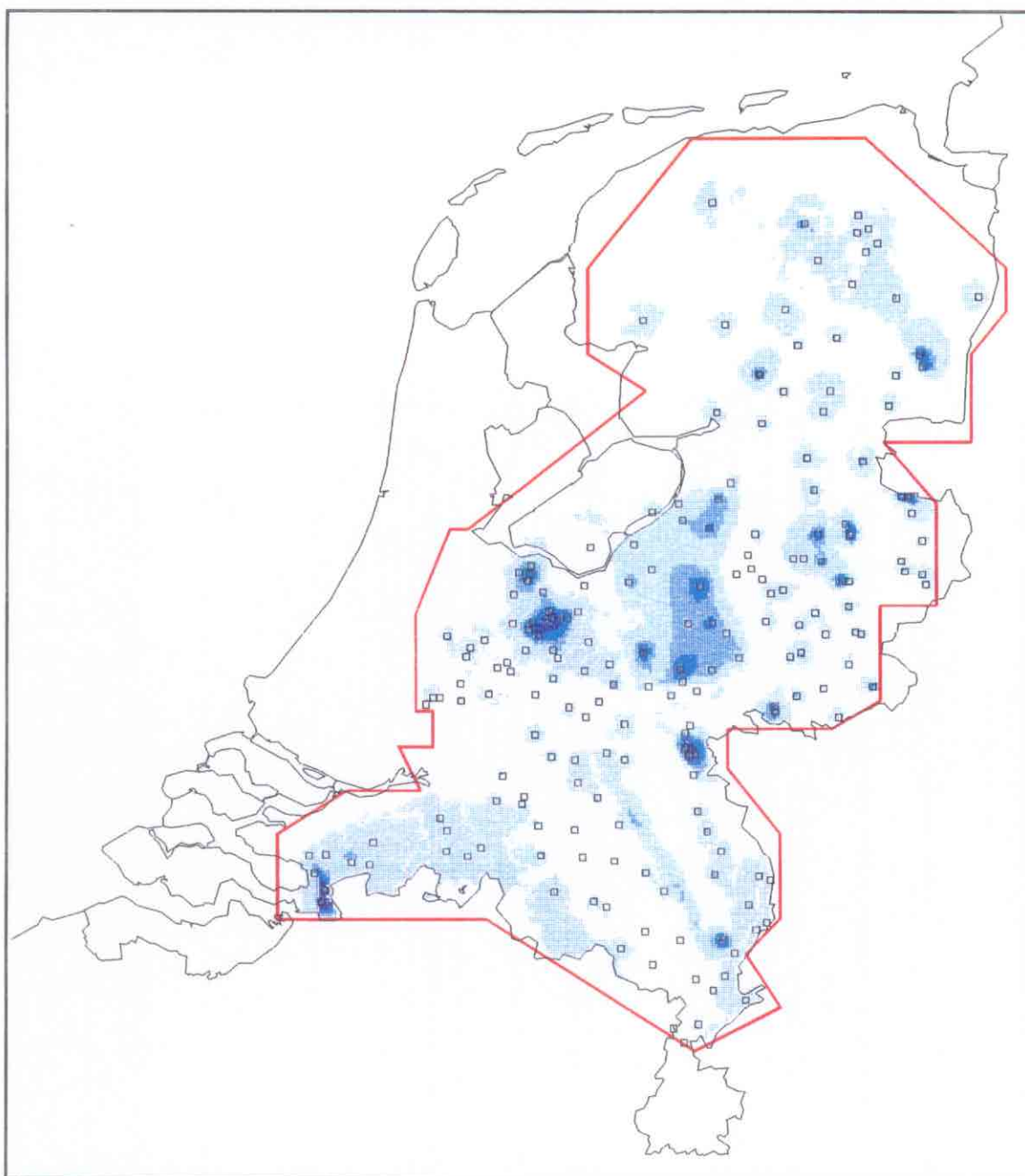
	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 6.

*Gebieden met een toename van de kwel, bij een afname van de grondwaterwinningen
t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 25 %.*

(scenario 2)



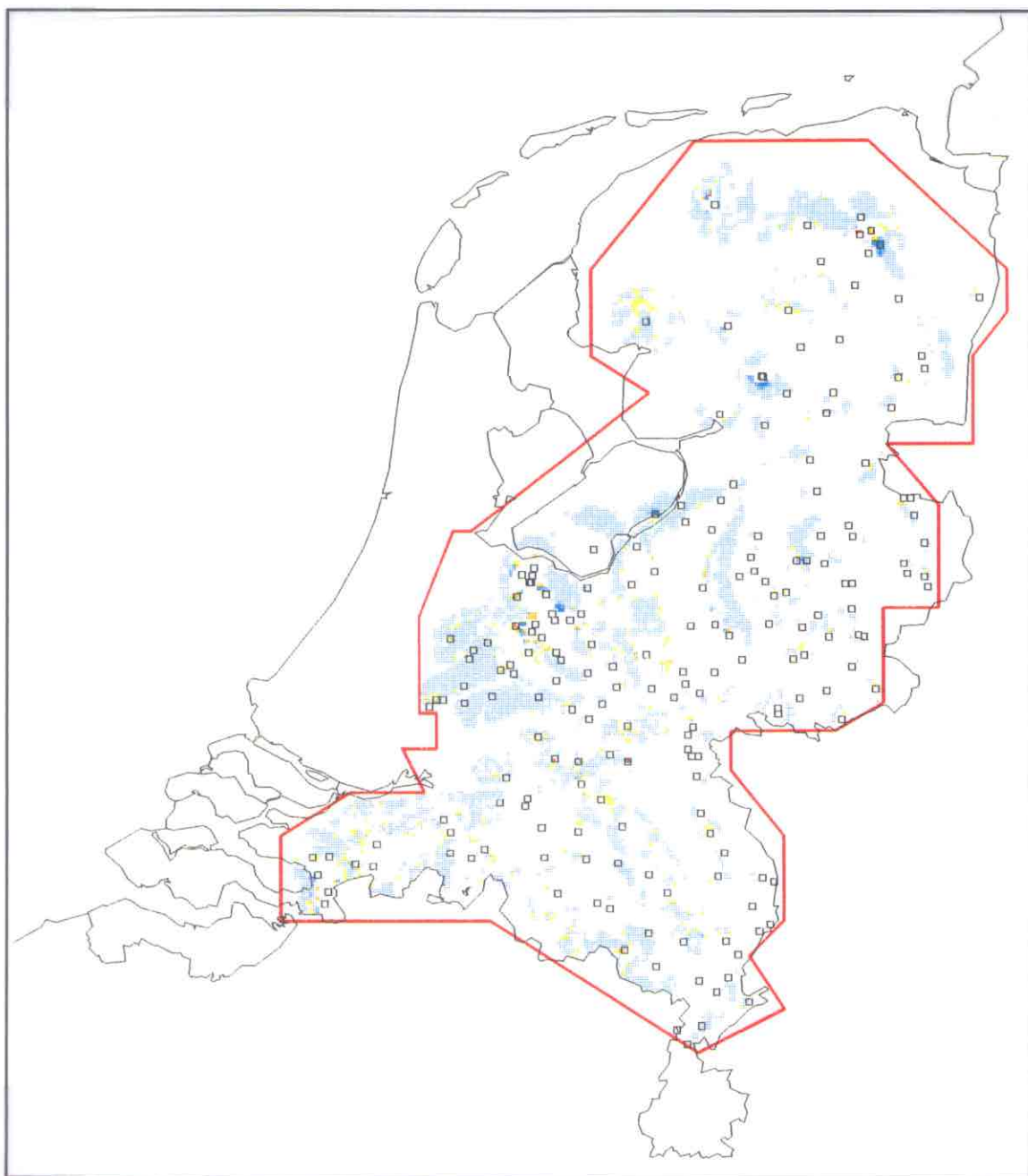
**Gebieden met een verhoging van de
freatische grondwaterstand [m].**

	0,00 - 0,25
	0,25 - 0,50
	0,50 - 1,00
	> 1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 7.

Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 50 % (scenario 3).



**Gebieden met toename van de kwel
[mm/dag].**

	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

**Gebieden waarin de infiltratie om-
slaat naar kwel [mm/dag].**

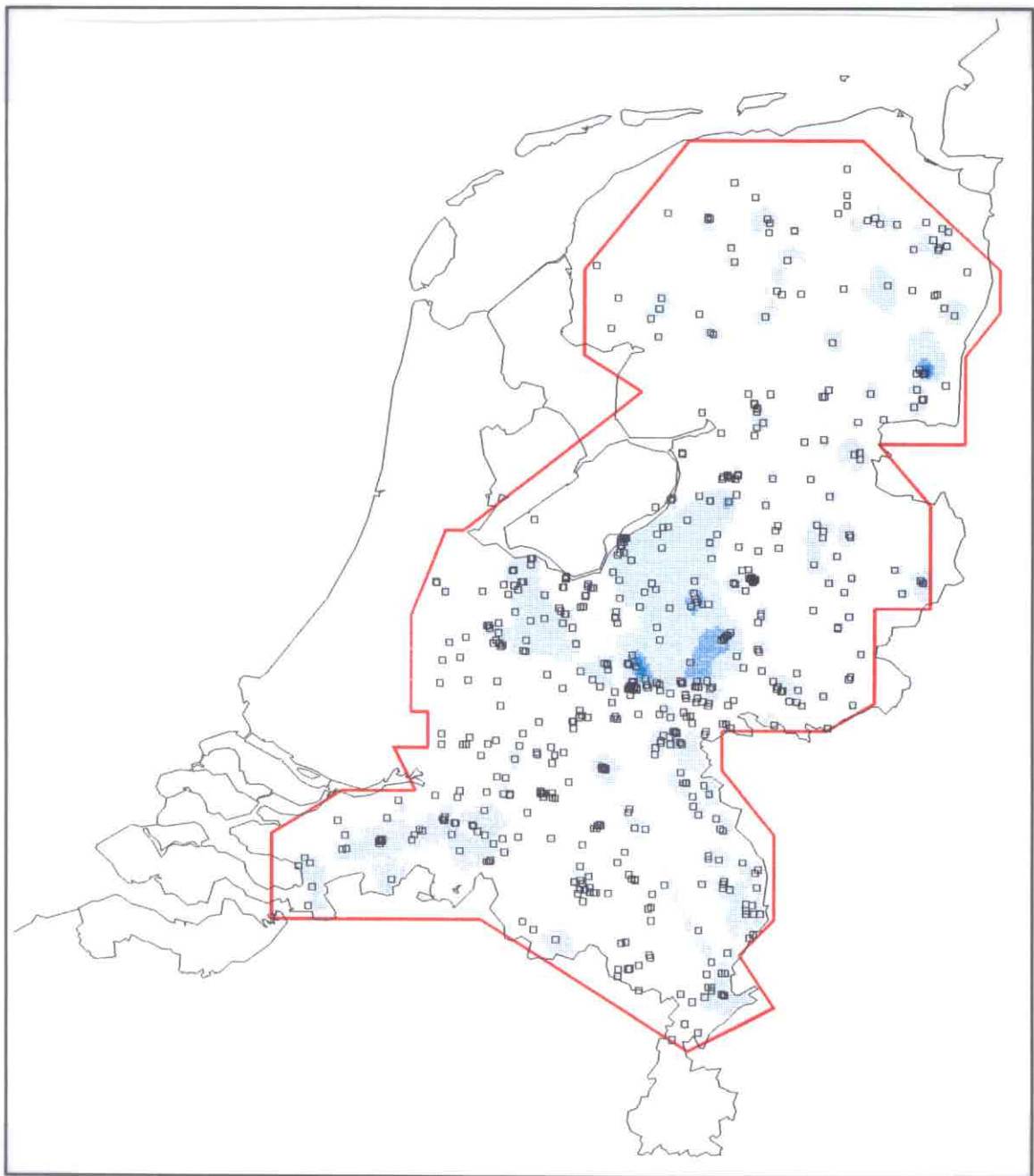
	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 8.

*Gebieden met een toename van de kwel, bij een afname van de grondwaterwinningen
t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening met 50 %.*

(scenario 3)



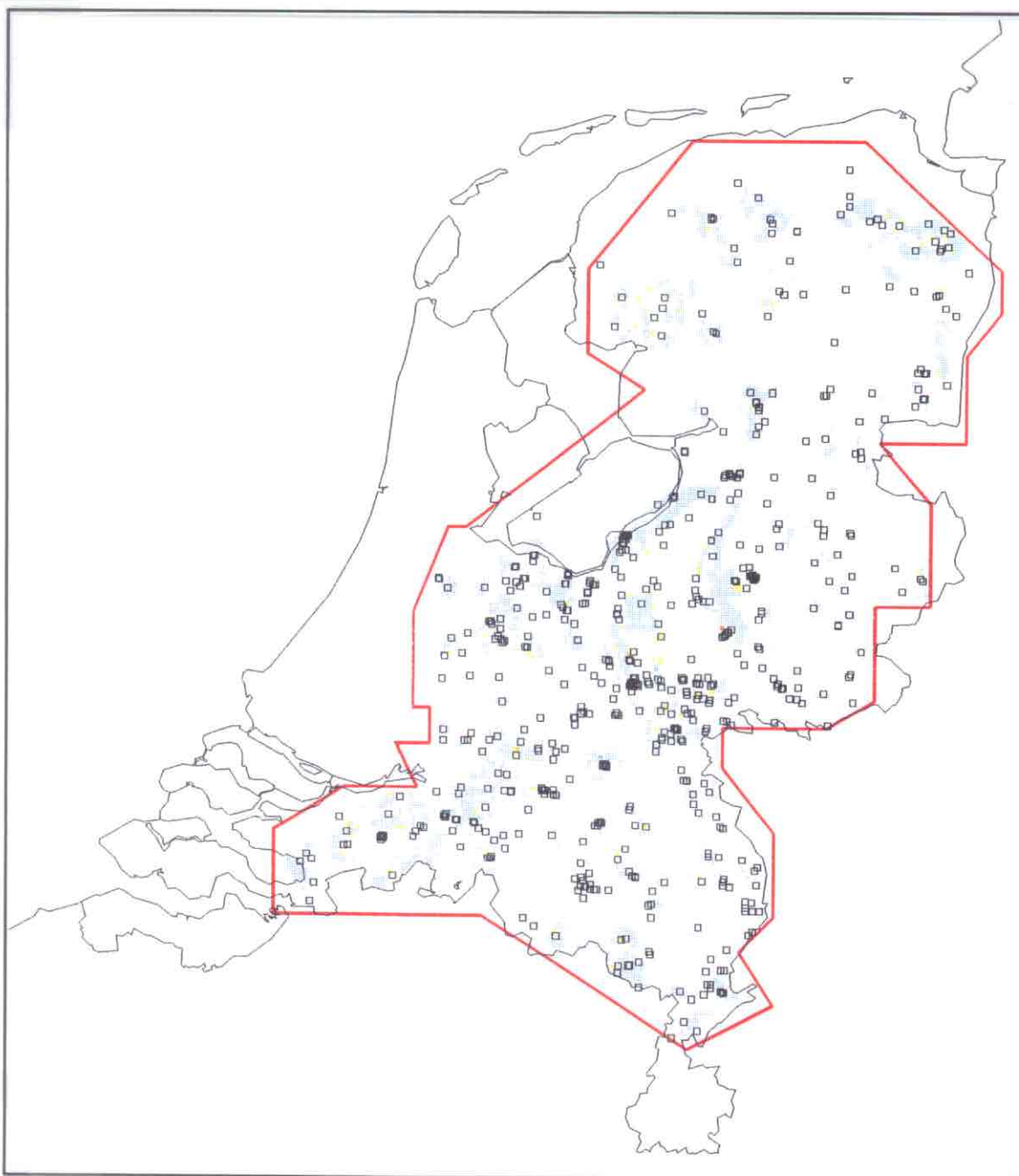
**Gebieden met een verhoging van de
freatische grondwaterstand [m].**

	0,00 - 0,25
	0,25 - 0,50
	0,50 - 1,00
	> 1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 9.

*Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij een afname van de grondwaterwinningen t.b.v. de industrie met 50 %.
(scenario 4).*



**Gebieden met toename van de kwel
[mm/dag].**

	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

**Gebieden waarin de infiltratie om-
slaat naar kwel [mm/dag].**

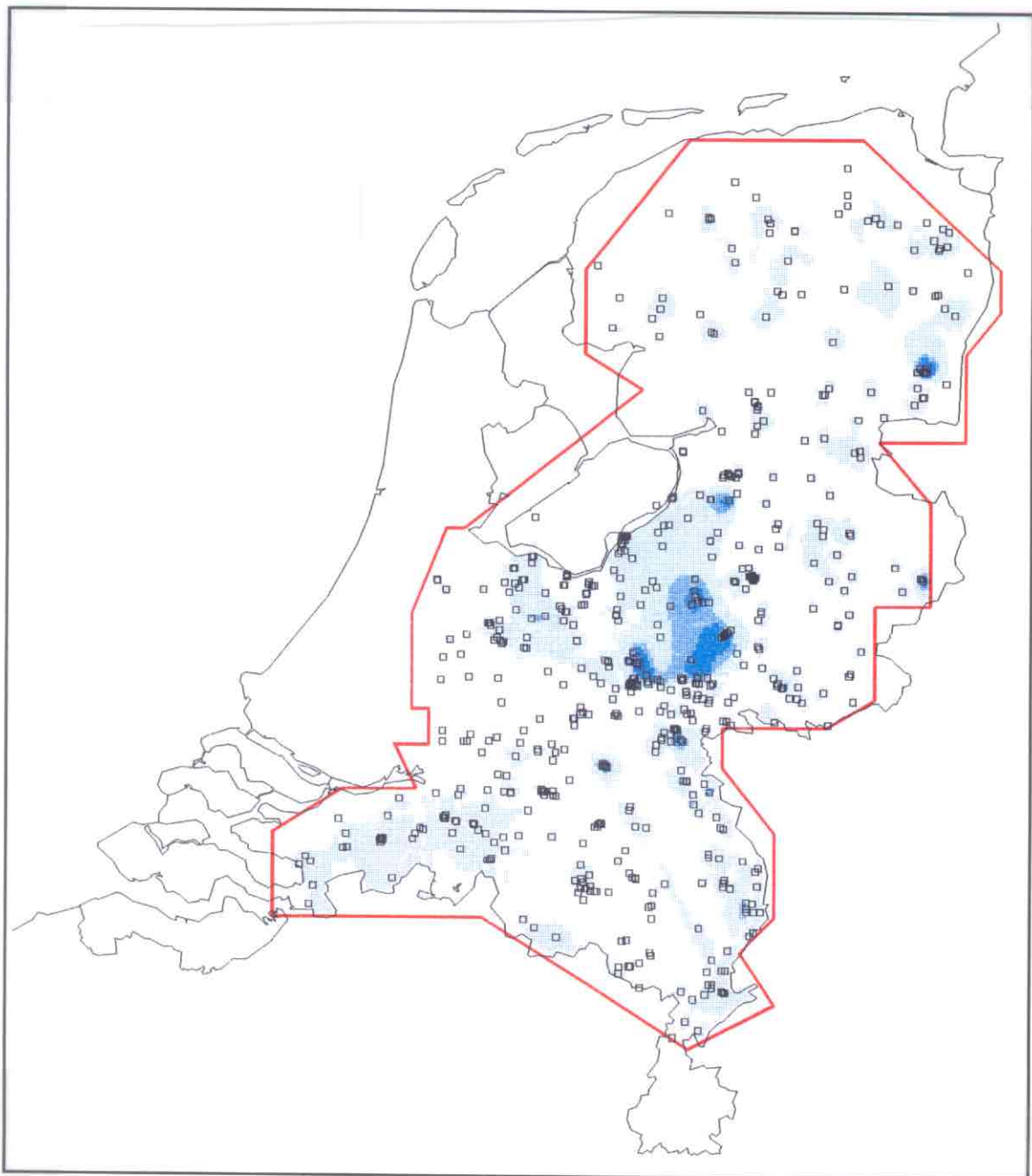
	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 10.

*Gebieden met een toename van de kwel, bij een afname van de grondwaterwinningen
t.b.v. de industrie met 50 %.*

(scenario 4)



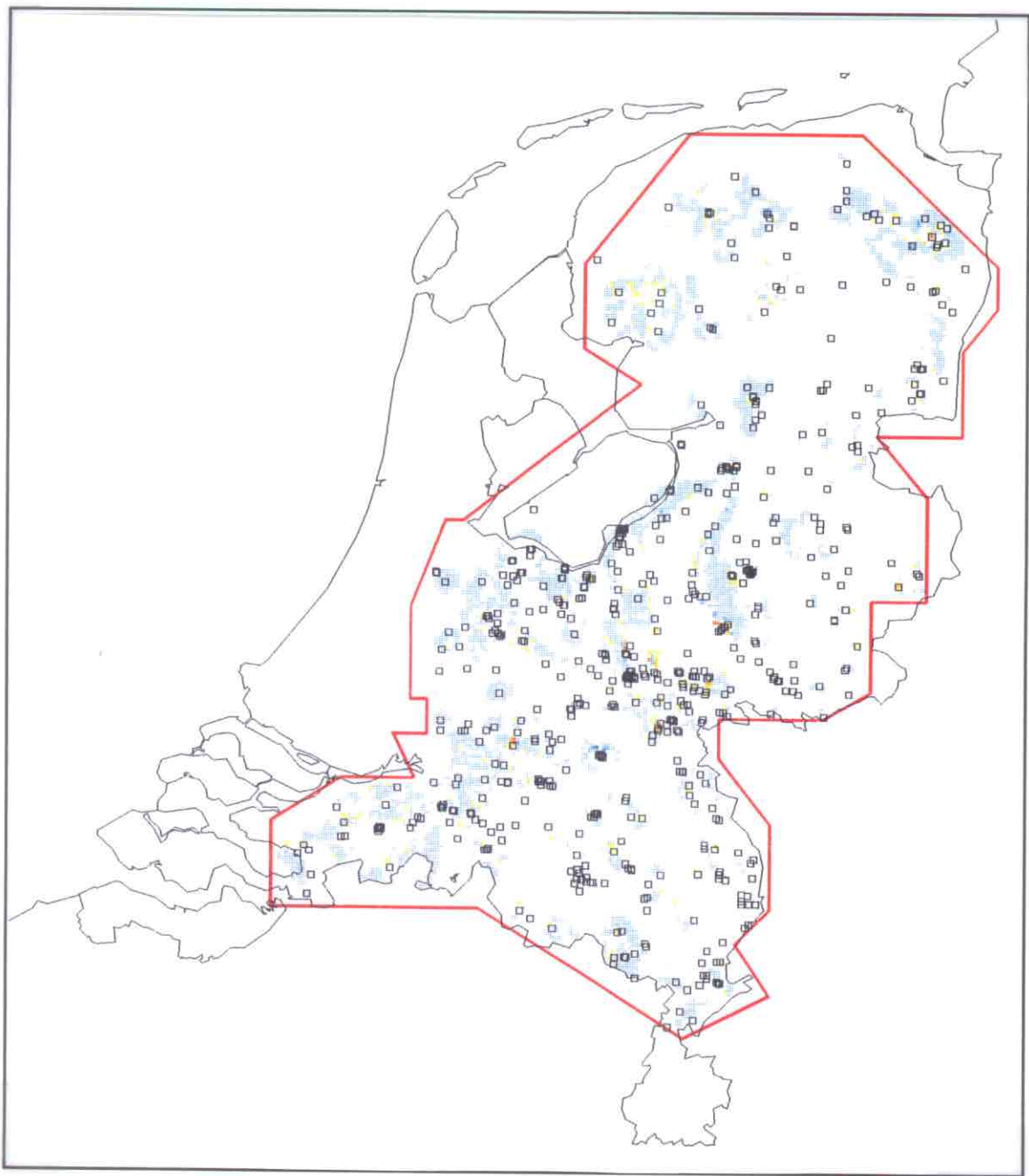
**Gebieden met een verhoging van de
freatische grondwaterstand [m].**

	0,00 - 0,25
	0,25 - 0,50
	0,50 - 1,00
	> 1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 11.

*Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij het beëindigen van de grondwaterwinningen t.b.v. de industrie.
(scenario 5).*



**Gebieden met toename van de kwel
[mm/dag].**

	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

**Gebieden waarin de infiltratie om-
slaat naar kwel [mm/dag].**

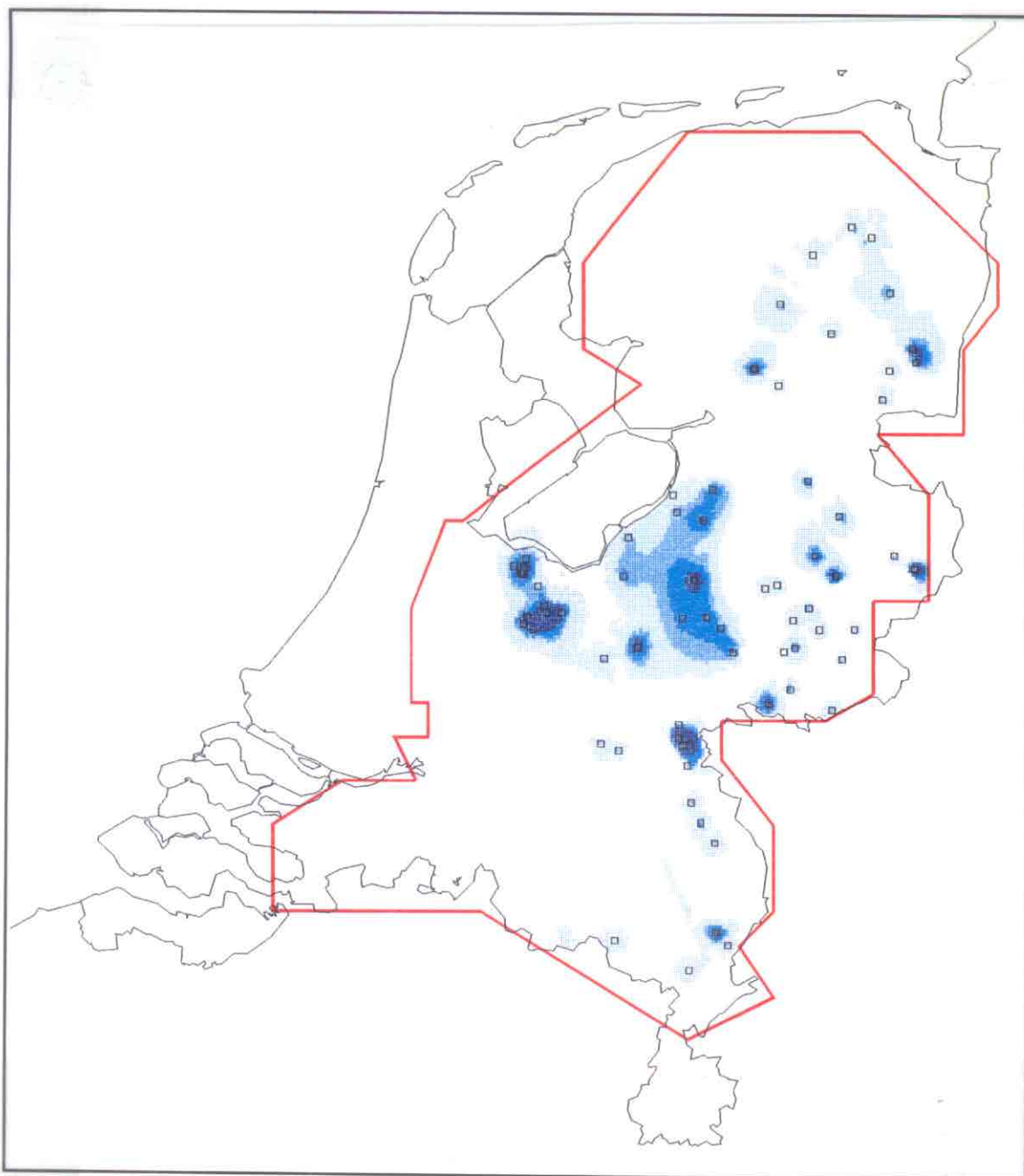
	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 12.

Gebieden met een toename van de kwel, bij het beëindigen van de grondwaterwinningen t.b.v. de industrie.

(scenario 5)



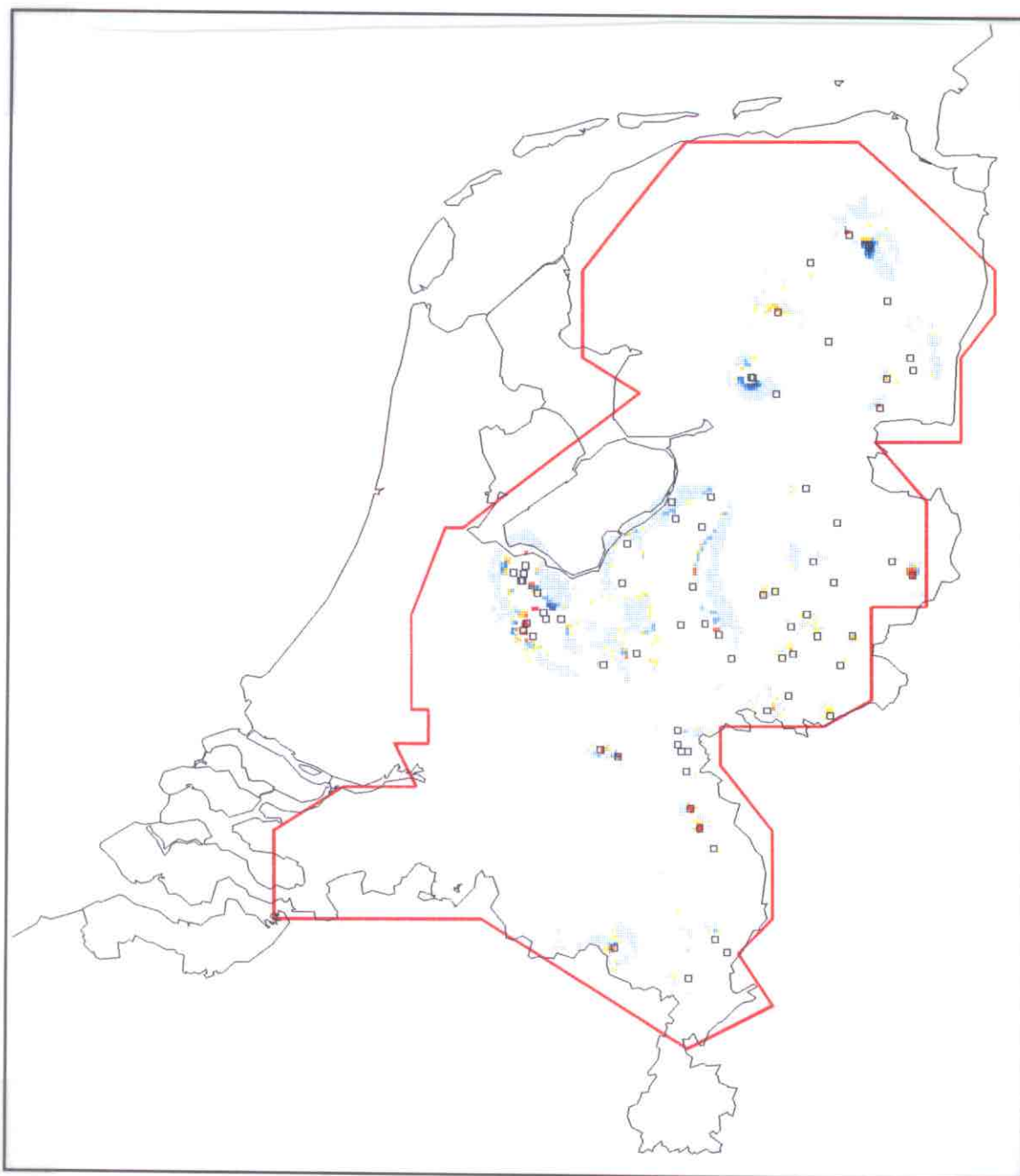
**Gebieden met een verhoging van de
freatische grondwaterstand [m].**

	0,00 - 0,25
	0,25 - 0,50
	0,50 - 1,00
	> 1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 13.

Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij het beëindigen van de freatische grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening (scenario 6).



**Gebieden met toename van de kwel
[mm/dag].**

	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

**Gebieden waarin de infiltratie om-
slaat naar kwel [mm/dag].**

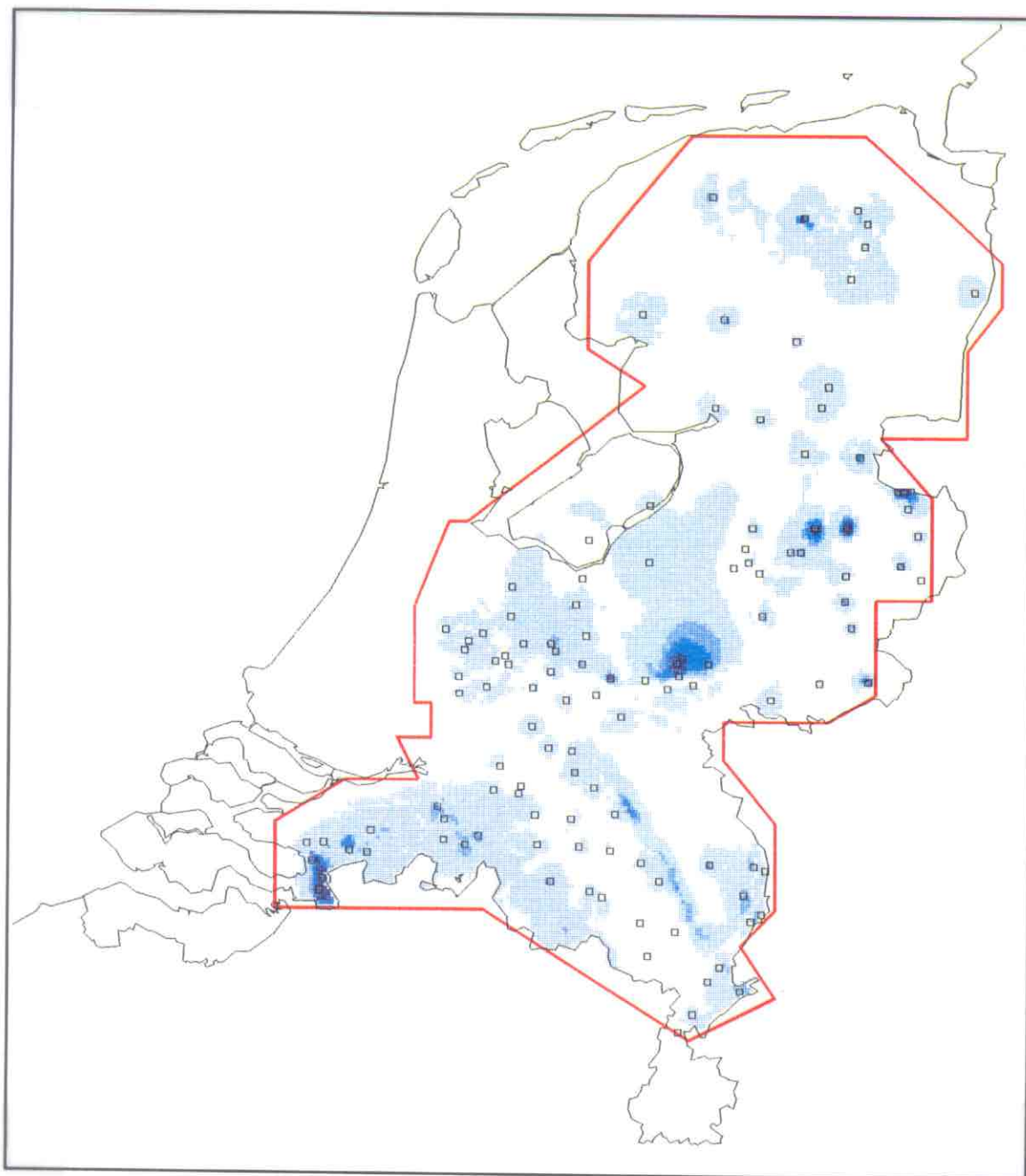
	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 14.

Gebieden met een toename van de kwel, bij het beëindigen van de freatische grondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening.

(scenario 6)



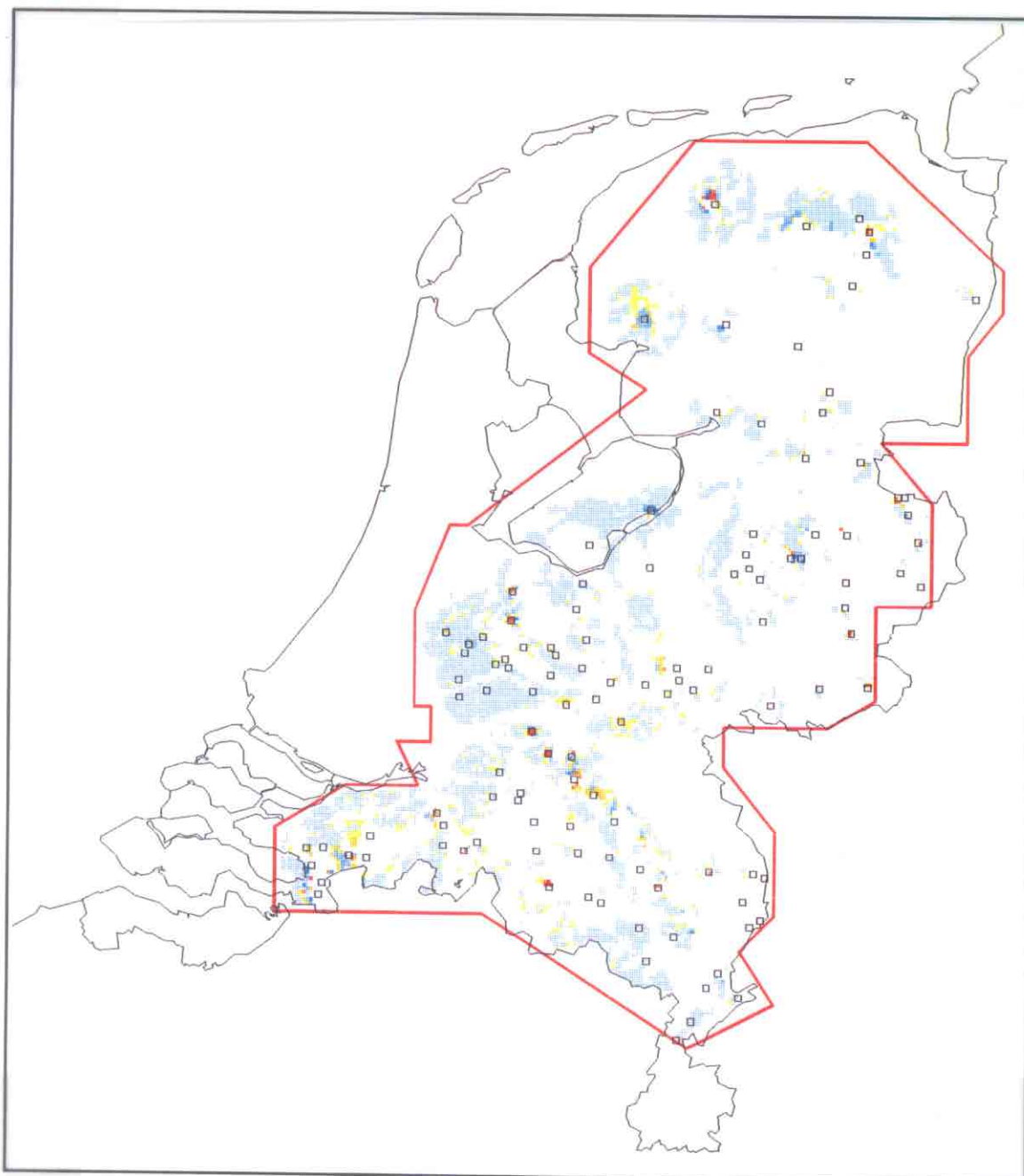
**Gebieden met een verhoging van de
freatische grondwaterstand [m].**

	0,00 - 0,25
	0,25 - 0,50
	0,50 - 1,00
	> 1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 15.

Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij het beëindigen van de semi-spanningswaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening (scenario 7).



**Gebieden met toename van de kwel
[mm/dag].**

	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
	>		1,00

**Gebieden waarin de infiltratie om-
slaat naar kwel [mm/dag].**

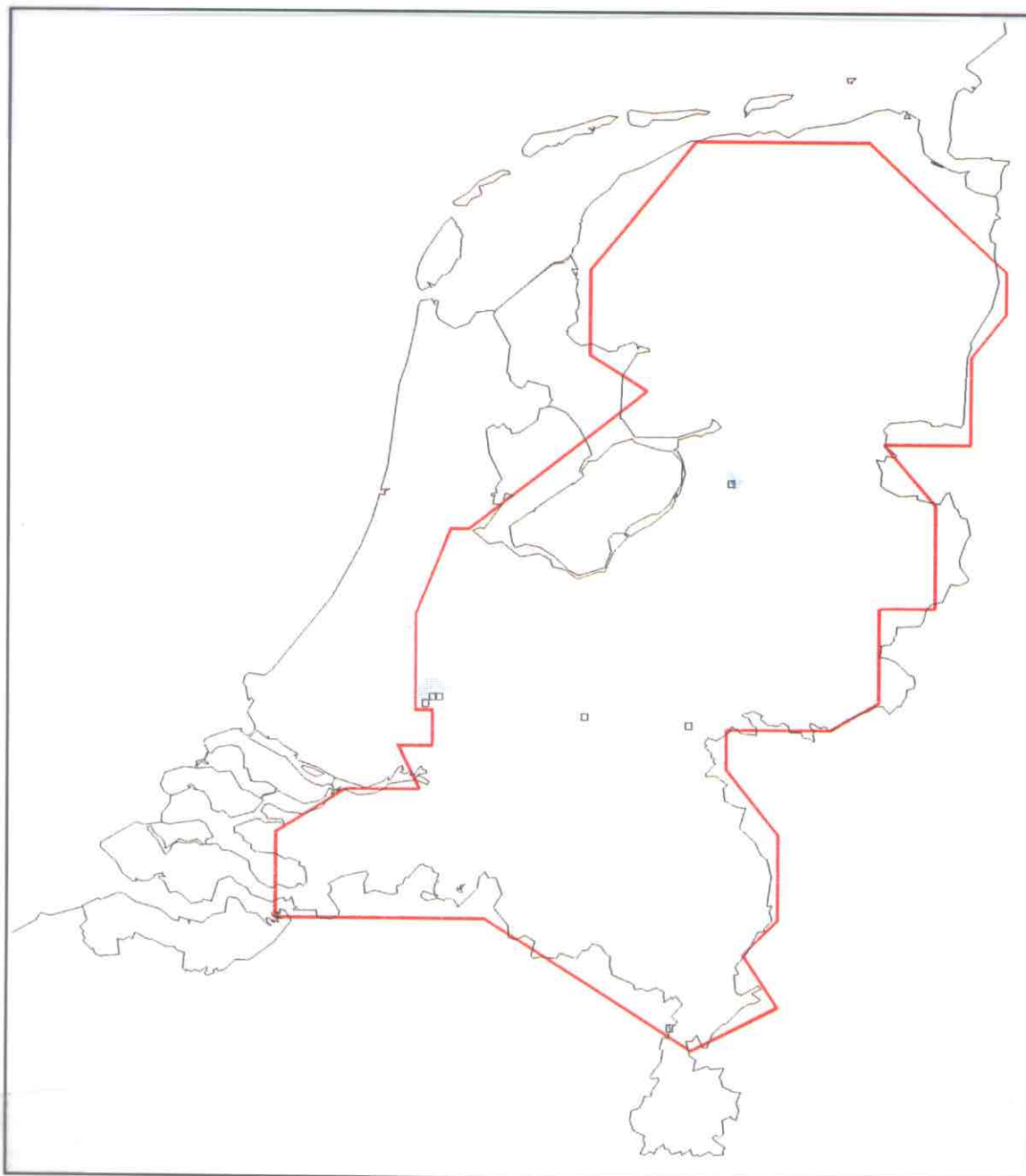
	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
	>		1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 16.

*Gebieden met een toename van de kwel, bij het beëindigen van de semi-spanningswa-
terwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening.*

(scenario 7)



**Gebieden met een verhoging van de
freatische grondwaterstand [m].**

	0,00 - 0,25
	0,25 - 0,50
	0,50 - 1,00
	> 1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

Bijlage 17.

Gebieden met een gemiddelde verhoging van de freatische grondwaterstand [m], bij het beëindigen van de oevergrondwaterwinningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening (scenario 8).



**Gebieden met toename van de kwel
[mm/dag].**

	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

□ : lokaties van de beschouwde grondwaterwinningen.

**Gebieden waarin de infiltratie om-
slaat naar kwel [mm/dag].**

	0,00	-	0,25
	0,25	-	0,50
	0,50	-	1,00
		>	1,00

Bijlage 18.

*Gebieden met een toename van de kwel, bij het beëindigen van de oevergrondwater-
winningen t.b.v. de openbare drinkwatervoorziening.*

(scenario 8)