

De ontwikkeling van het brak-zout grondwatersysteem in West-Utrecht

M. GRIFFJOEN, TU-DELFT/WMN

R. H. BOEKELMAN, TU DELFT

P. J. LUBBERS, WMN

Het in cultuur nemen van de lagere delen van Nederland betekende een verregaande beheersing van de waterhuishouding. Door de aanleg van kunstwerken en waterlopen kon overtollig water afgevoerd en gebiedsvreemd water aangevoerd worden. Naast de gewenste controle hebben deze activiteiten het hydrologische systeem dusdanig beïnvloed, dat er regionale verschuivingen in de grondwaterstroming zijn opgetreden. Ook is de grondwaterstroming beïnvloed doordat in de afgelopen decennia grondwateronttrekkingen ontstaan zijn die de toenemende vraag naar drinkwater zijn gaan dekken [1].

De bovengenoemde ingrepen leiden tot het veranderen van de ligging van grondwatervoorkomens, zoals het brak-zout grond-

watersysteem dat in geheel Nederland voorkomt. Het merendeel van dit brak-zout watertype is zeer lang geleden geïnfiltriseerd, toen het gebied onder de zeespiegel lag. Naar het westen van Nederland toe is het watertype minder lang geleden geïnfiltriseerd en staat het via de ondergrond in verbinding met de Noordzee [2].

Naar de diepteligging van het brak-zoute grondwater is in de jaren 1971 tot en met 1975 geo-elektrisch onderzoek verricht. Dit onderzoek heeft geresulteerd in een kaart van het 'grensvlak tussen zoet en brak/zout grondwater', behorende bij de Grondwaterkaart van Nederland uit 1978 [3].

De top van het brak-zout grondwatersysteem wordt beschreven door de grensvlakken met een gehalte aan chloride-ionen van 150

en 800 mg/l. Deze ionen typeren brak-zout grondwater. Daarnaast is het chloridegehalte een beperkende factor binnen de drinkwater-norm (150 mg/l).

Om de duurzaamheid van diepe grondwaterwinningen in West-Utrecht te beoordelen heeft NV Waterleidingbedrijf Midden-Nederland opnieuw onderzoek gedaan naar de ligging van het brak-zout grondwatersysteem. Zodoende verkrijgt men inzicht in de gevolgen van de ingrepen op het hydrologische systeem voor het brak-zout grondwatersysteem.

In het navolgende zal eerst het onderzoeksgebied worden beschreven en daarna aandacht worden besteed aan de waarnemingen die voor dit onderzoek relevant waren. Vervolgens komt, in een beschrijving van de huidige situatie, de kartering van de top van het systeem aan de orde. Tenslotte wordt een voorspelling gemaakt van de ruwwaterkwaliteit van een grote drinkwaterwinning, om zodoende een indruk van de toekomstige ontwikkeling van het brak-zout grondwatersysteem te krijgen.

Onderzoeksgebied West-Utrecht

Het brak-zout grondwatersysteem bevindt zich ten westen van het Amsterdam-Rijnkanaal in de provincie Utrecht op een zeer variabele diepte. Ten zuid-westen van de stad Utrecht wordt dit watertype aangetroffen op een diepte van meer dan 200 meter onder NAP. Dit water bevindt zich minimaal vanaf het Vroeg-Pleistocene in de ondergrond. In het noord-westen van de provincie Utrecht komt het watertype op een geringere diepte voor (100 tot 5 meter onder NAP). Dit water is veel later geïnfiltriseerd tijdens transgressies van de zee in het Holoceen.

West-Utrecht wordt sinds de Middeleeuwen actief ontwaterd en vooral gebruikt voor weidebouw. Vanaf de tweede helft van deze eeuw vindt hier diepe grondwateronttrekking als grondstof voor drinkwater plaats.

Het hydrologische systeem in West-Utrecht wordt in 'De landelijke hydrologische systeemanalyse. Deelgebied Midden-Nederland' geschematiseerd in twee belangrijke zoete grondwatersystemen [4].

De regionale grondwaterstroming wordt beheerst door de Utrechtse en Gooise Heuvelrug. Hierin hebben zich, door infiltratie van regenwater, grote zoete grondwatersystemen gevormd, die vrij afstromen naar de flanken en de dieper gelegen poldergebieden in het noorden en westen. In afbeelding 1 is dit systeem als stuwwal-complex grondwater-



Samenvatting

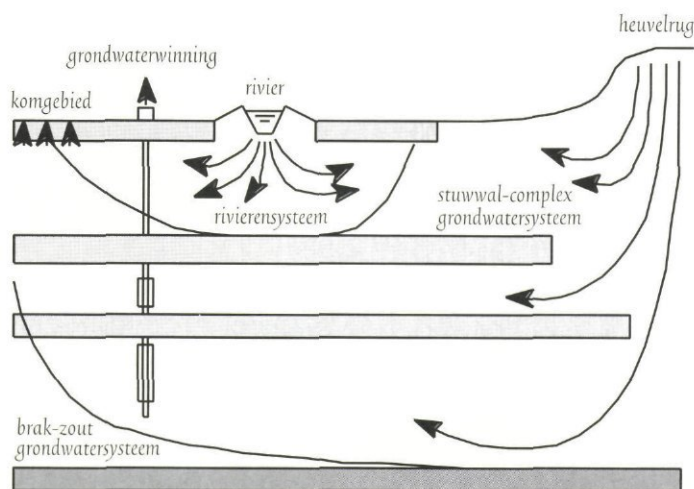
Antropogene invloeden hebben belangrijke verschuivingen in de grondwaterstroming van het westelijke gedeelte van de provincie Utrecht veroorzaakt. Hierdoor is de natuurlijke ligging van de aanwezige grondwatersystemen veranderd. De manier waarop deze activiteiten het brak-zout grondwatersysteem hebben beïnvloed is, in relatie tot landbouw, natuurbeheer en drinkwaterwinning, een belangrijk punt van onderzoek.

TNO heeft in de jaren zeventig geo-elektrisch onderzoek uitgevoerd om de ligging van het brak-zout grondwatersysteem te bepalen. Dit onderzoek heeft geresulteerd in de kaart van het 'grensvlak tussen zoet en brak/zout grondwater', behorende bij de Grondwaterkaart van Nederland.

De huidige ligging (1996) van het brak-zout grondwatersysteem is beschreven op basis van geo-elektrische metingen, chemische analyses van waarnemingsputten en metingen van zoutwachterkabels. Door koppeling van deze gegevens is de diepteligging van de grensvlakken met het chloridegehalte 150 mg/l en 800 mg/l opnieuw in kaart gebracht.

Uit analyse van de beschikbare tijdreeksen en enkele geo-elektrische metingen blijkt dat er de laatste 20 jaar weinig veranderingen in het brak-zout grondwatersysteem zijn opgetreden. Alleen ter plaatse van grote (6-10 miljoen m³/jaar) grondwaterwinningen is een lichte optrekking van brak water waargenomen.

Om de gevolgen van een (grote) grondwaterwinning (10 miljoen m³/jaar) voor het brak-zout grondwatersysteem beter in beeld te krijgen, is met behulp van een analytisch grondwaterstromingsmodel een voorspelling van de toekomstige ruwwaterkwaliteit gemaakt. Uit deze modelsimulatie blijkt, dat het chloridegehalte in het ruwwater door optrekking van brak-zout grondwater beneden 90 mg/l blijft. Deze optrekking blijft beperkt tot de onderkant van de pompfilters. De invloed van de winning lijkt zich te beperken tot de brak-waterzone.



Afb. 1 Schematische weergave van de grondwatersystemen in West-Utrecht.

systeem weergegeven. In de afbeelding is ook één van de meer lokale systemen weergegeven die gevoed worden vanuit de infiltrerende rivieren en opkwellen in de lager gelegen komgebieden.

Deze zoetwatersystemen hebben in het gebied geleid tot verdringing van het brak-zout grondwatersysteem. De antropogene invloeden van de laatste eeuwen gaan, door het oppervlaktewaterbeheer en de onttrekking van grondwater, deze verdringing tegen.

Waarnemingen

Om de huidige ligging en de verandering ten opzichte van 1970 van de top van het brak-zout grondwatersysteem te beschrijven is informatie verzameld over de diepteligging van het grondwater met een chloridegehalte van 150 en 800 mg/l. Dit is verkregen met behulp van drie soorten waarnemingen: chemische analyses van bemonsterde waarnemingsputten, zoutwachterkabelmetingen en geo-elektrische metingen.

Er zijn 36 waarnemingsputten met waarnemingsfilters tot in het brak-zout grondwatersysteem in West-Utrecht beschikbaar. Deze filters zijn sinds de plaatsing van de putten tot in de tweede helft van 1996, veelal jaarlijks bemonsterd en geanalyseerd op diverse parameters. Voor deze studie zijn vooral de chloridegehalten verzameld.

Tien putten zijn ook uitgevoerd met een zoutwachterkabel. Bij deze putten wordt 1 à 2 keer per jaar, op verschillende dieptes, de elektrische weerstand van de bodem gemeten. Deze weerstandsmetingen zijn gerelateerd aan het chloridegehalte [5].

Met behulp van waarnemingsreeksen is getoetst of het chloridegehalte trendmatig verandert [6]. Deze reeksen bestaan uit jaarlijkse chloridemetingen behorende bij waarnemingsfilters of elektrische weerstandsmetingen behorende bij zoutwachterkabels

die over langere tijd gemeten zijn. In totaal zijn 38 reeksen beschouwd, verdeeld over 9 locaties.

Op slechts twee locaties is een significante toename van het chloridegehalte te constateren. Het betreft diepe waarnemingsfilters en zoutwachterkabelmetingen in de centra van grotere grondwateronttrekkingen (6-10 miljoen m³/jaar).

Bij pompstation Tull en 't Waal (zie afb. 3) wordt op een diepte van 227-229 meter een lichte toename van het chloridegehalte in de tijd geconstateerd. Deze trend wordt op een grotere diepte van 247-249 meter echter niet waargenomen. Het chloridegehalte blijft hier constant rond de 1700 mg/l. Dit lijkt te duiden op het aantrekken van de brak-waterzone waarbij de positie van het zwaardere zoute grondwater niet verandert. Dit kan verklaard worden door aan te nemen dat het lichte brakke grondwater over het zwaardere zoute grondwater stroomt.

In de jaren zeventig is in West-Utrecht de ligging van het brak-zoute grondwater in kaart gebracht door een netwerk van geo-elektrische metingen. Met behulp van geo-elektrische metingen wordt de laagopbouw met de bijbehorende specifieke formatieweerstanden van de diepere ondergrond bepaald [7,8].

Vooral de diepteligging van de bovenkant van de diepste geïnterpreteerde laag is van belang; deze heeft een specifieke formatieweerstand van 5 Ohm-m.

Om te beoordelen of in de afgelopen 20 jaar een verandering in de ligging van het brak-zout grondwatersysteem is opgetreden, zijn in de zomer van 1996 acht nieuwe geo-elektrische metingen uitgevoerd. Deze metingen zijn op dezelfde locaties en volgens dezelfde methode (Schlumberger-opstelling)

als in het verleden verricht. De nieuwe metingen zijn uitgevoerd op posities waar het grensvlak tussen zoet en brak-zout grondwater, volgens de grondwaterkaart uit 1978, een relatief sterke gradiënt heeft. Dit, omdat langs deze sterke helling in het grensvlak, de ligging van het brak-zoute grondwater het minst stabiel lijkt.

Bij vergelijking tussen de oude en nieuwe metingen blijkt de gemiddelde verandering in de diepteligging van het genoemde grensvlak gering te zijn. Daarom worden de overige 78 (oude) metingen in het onderzoeksgebied ook gebruikt.

De specifieke formatieweerstand van 5 Ohm-m is te relateren aan het chloridegehalte. Uit een vergelijking tussen geo-elektrische metingen en nabij gelegen waarnemingsputten is afgeleid dat in het onderzoeksgebied de bovenkant van deze 5 Ohm-m laag overeenkomt met een chloridegehalte van gemiddeld 325 mg/l van het grondwater.

Om de gegevens van geo-elektrische metingen en waarnemingsputten te integreren tot een bruikbaar bestand worden beide gegevenssoorten vergeleken. Daarvoor zijn bij elke waarnemingsput de afstanden bepaald tussen de diepte van [Cl⁻] = 325 mg/l en de dieptes van [Cl⁻] = 150 en 800 mg/l. Vervolgens is deze relatie gekoppeld aan de dichtstbijzijnde geo-elektrische metingen. Het resultaat is een dataset van in totaal 122 beschikbare locaties en de daarbij behorende dieptes van het grondwater met een chloridegehalte van 150 en 800 mg/l.

Beschrijving van de huidige situatie (1996)

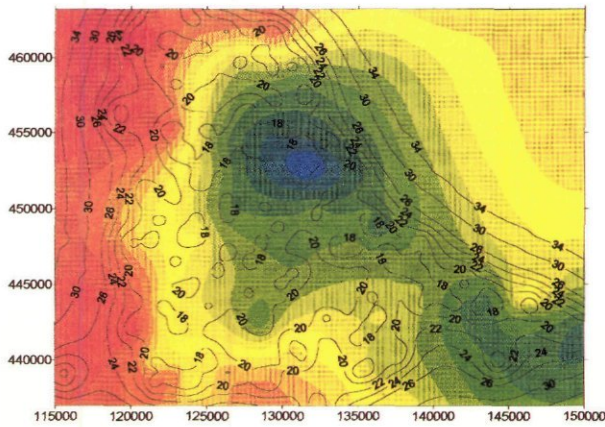
Kartering m.b.v. Kriging

Door analyse van de dataset met de gegevens van 122 locaties is de ruimtelijke variatie van de diepte van het grondwater met [Cl⁻] = 150 en 800 mg/l vastgelegd in logaritmische variogrammen [9]. Met behulp van Kriging-interpolatie zijn contourkaarten afgeleid. Afbeelding 2 geeft de kaart met de diepteligging van het grondwater met [Cl⁻] = 150 mg/l weer. Een indicatie van de nauwkeurigheid van de kaart is aangegeven door tevens de Kriging-error te plotten.

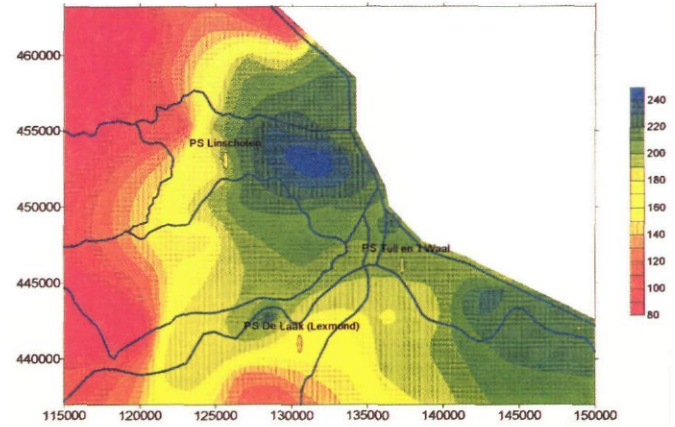
De diepteligging van het grondwater met [Cl⁻] = 800 mg/l lijkt qua patroon op deze kaart. Dit grensvlak ligt ongeveer 10 à 20 meter dieper.

Toevoegen van gebiedskennis aan de interpolatie

Het rekenkundig verwerken van de metingen tot een kaart geeft nauwelijks gelegenheid voor het toevoegen van morfologische kennis. Om tot een resultaat te



Afb. 2 Kaart van de diepteligging in 1996 van het grondwater met een chloridegehalte van 150 mg/l in kleur met daarbij de Kriging-error in contouren (in m-NAP).



Afb. 3 Diepteligging van de top van het brak-zout grondwatersysteem in 1996; grondwater met een chloridegehalte van 150 mg/l (in m-NAP).

komen waarin naast de gemeten gegevens ook de systeem- en procesgegevens opgenomen zijn is de kaart handmatig aangepast. Hierbij is vooral gelet op de sedimentologische en tektonische ontwikkeling van de ondergrond, de ligging van kwel- en infiltratiegebieden, de sequenties van marine en fluviale invloeden en de verschillende transportprocessen van brak-zout grondwater [10].

In afbeelding 3 is deze handmatig aangevulde kaart weergegeven. Deze interpretatie geeft enigszins een te vloeiend beeld van de situatie. Waarschijnlijk is het werkelijke beeld onregelmatiger, gelet op de grilligheid van het afzettingpatroon en de wisselende grondwaterstromingssituatie.

Wanneer we deze kaart vergelijken met de kaart uit 1978 bevestigt dit het vermoeden dat er over het algemeen weinig veranderingen zijn opgetreden in de ligging van het brak-zout grondwatersysteem in de afgelopen 20 jaar. Alleen ter plaatse van grote grondwaterwinningen; de pompstations Linschoten (10 mln m³/jaar), Tull en 't Waal (6 mln m³/jaar) en De Laak, Lexmond (8 mln m³/jaar) is een lichte optrekking van brak grondwater waargenomen. Deze verandering blijft beperkt tot de onderkant van de pompputfilters (dieper dan 100 m-NAP).

Om inzicht te verkrijgen in de toekomstige effecten van een grondwaterwinning is een voorspelling van de ruwwaterkwaliteit van pompstation Linschoten gemaakt voor een periode van 500 jaar. Met een onttrekking van 10 miljoen m³/jaar is pompstation Linschoten de grootste grondwaterwinning in het onderzoeksgebied en mag aangenomen worden dat de invloed van het brak-zout grondwatersysteem hier het grootst zal zijn.

Voorspelling ruwwaterkwaliteit pompstation Linschoten

Methode

Voor de voorspelling van het chloridegehalte in het ruwwater wordt de grondwaterstroming gesimuleerd met behulp van het computerprogramma FLOPZN [11]. Hiermee kunnen stroombanen en verblijftijden in een systeem van watervoerende pakketten, slecht-doorlatende lagen en put-onttrekkingen berekend worden.

De voorspelling van het chloridegehalte in het ruwwater van pompstation Linschoten is gemaakt, door het koppelen van het chloridegehalte aan de herkomst (=diepte) van een bepaalde hoeveelheid water op een bepaald moment.

Per pompfilter is een groot aantal stroombanen berekend. Deze stroombanen zijn hierbij gelijkmatig verdeeld over de lengte van het filter. Door aan te nemen dat elke stroombaan een evenredig aandeel in de onttrekking vertegenwoordigt kan de herkomst van een bepaalde hoeveelheid water op een bepaald moment berekend worden.

Ook is, aan de hand van diepe nabij gelegen waarnemingsfilters, de relatie bepaald tussen de diepte en het chloridegehalte. Aangenomen is dat het chloridegehalte over de dikte van één of meerdere lagen lineair toeneemt in de diepte. Deze schematisering is aangehouden gezien de verschillende waarnemingsputten die dit beeld bevestigen en de relatief lage chloridegehalten.

In afbeelding 4 is de schematisering van het modelgebied weergegeven. Ook is

in de afbeelding het verloop van het chloridegehalte in de diepte opgenomen en zijn er enkele stroombanen getekend. De verschillende symbolen op de stroombanen geven verblijftijden van het grondwater tot in de winning weer.

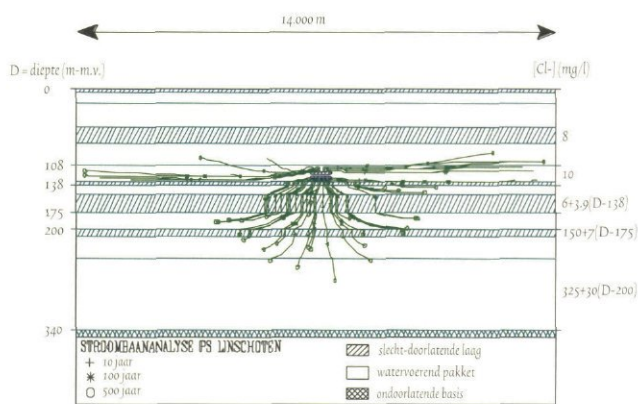
Doorbraakcurves

Voor alle 22 pompfilters is het verloop van het chloridegehalte in de tijd berekend. Bij de bepaling van de doorbraakcurve van chloride in de totale winning, is de procentuele bijdrage van elk filter in rekening gebracht.

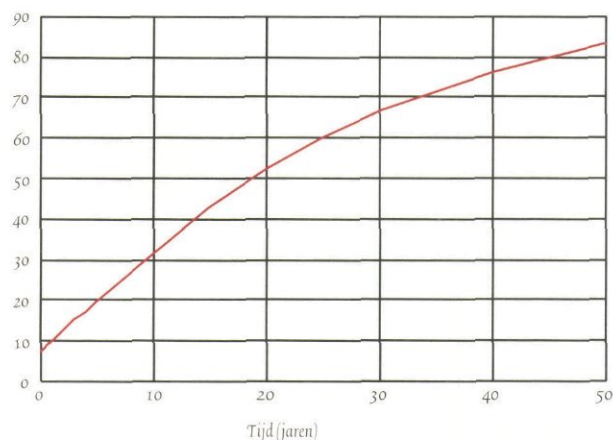
Uit afbeelding 5 blijkt, dat het chloridegehalte na 500 jaar beneden 90 mg/l blijft. Uiteraard doet deze schematisering de werkelijkheid enigszins geweld aan. In de ondiepere pakketten treedt ook een verhoging van het chloridegehalte op, door antropogene invloeden. Door de infiltratie van gebiedsvreemd oppervlaktewater bijvoorbeeld, kunnen chloridegehalten voorkomen van 20 tot 130 mg/l. Uit al eerder verricht onderzoek blijkt echter, dat de minimale verblijftijd van het oppervlaktewater tot in de winning 50 jaar is. Bovendien duurt het langer dan 300 jaar, voordat dit water een aandeel van 35% in de totale winning heeft.

Het ruwwater van de totale winning krijgt door aantrekking van antropogeen vervuild water, een maximale verhoging van het chloridegehalte van 43 mg/l.

De veranderingen in de ligging van het brak-zout grondwatersysteem lijken gering te zijn en voor de drinkwaterwinning vooralsnog weinig bedreigend. De berekening van de uiteindelijke doorbraakcurve voor de totale



Afb. 4 Schematisering van het modelgebied.



Afb. 5 Doorbraakcurve diepe grondwaterwinning 10 miljoen m³/jaar.

winning van 10 miljoen m³/jaar in pompstation Linschoten ging echter gepaard met de nodige schematiseringen en vereenvoudigingen. Een verificatie van de rekenresultaten is niet mogelijk, omdat er nog geen representatieve metingen aanwezig zijn. Het resultaat wordt daarom als een kwantitatieve verkenning beschouwd die mogelijk door een voortgaande monitoring van de grondwaterkwaliteit in de toekomst onderbouwd kan worden.

Deze monitoring zal ook een beter inzicht verschaffen in de processen die, naast grondwateronttrekking, de ligging van het brak-zout grondwatersysteem beïnvloeden. Het

blijkt namelijk dat over een tijdsperiode van 20 jaar nauwelijks een verandering kan worden waargenomen in West-Utrecht. Een optimalisering van de huidige monitoringsfrequentie lijkt daarbij wel van belang.

Verantwoording

Het onderzoek naar de ontwikkeling van het brak-zout grondwatersysteem in West-Utrecht is een afstudeerproject voor de studie Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft, bij de vakgroep Waterbeheer, Milieu- en Gezondheidstechniek. Het project is uitgevoerd in de tweede helft van 1996 bij

de sector Productie van NV Waterleidingbedrijf Midden-Nederland (WMN). Dit heeft geresulteerd in een rapport met als titel 'Ontwikkeling Brak-Zout Grondwatersysteem West-Utrecht'.

THE DEVELOPMENT OF THE BRACKISH-SALINE GROUNDWATER SYSTEM IN WESTERN UTRECHT

In the western part of the province of Utrecht, anthropogeneous influences have caused important changes in the groundwater flow. This has disturbed the natural position of some groundwater systems. The way in which these activities influenced the brackish-saline groundwater system is in relation to agriculture, nature conservation and drinking water withdrawal, an important research-issue.

The state of this system has, for the last time, been investigated by means of geo-electrical surveys in the seventies, by TNO. This has resulted in the map 'Interface between fresh and brackish-saline groundwater', which is part of the groundwater map of the Netherlands. The present position (1996) of the brackish-saline groundwater system has been determined by geo-electrical soundings, chemical analyses of deep observation wells and readings from permanent electrode systems in deep wells. Data have been collected and matched in order to show the positions of chlorid concentrations of 150 mg/l and 800 mg/l.

Analyses of the available timeseries and some geo-electrical soundings showed little changes in the brackish-saline groundwater system during the last 20 years. Only underneath large groundwater abstractions (6-10 million m³/year), slight updrawing of brackish-saline groundwater has been observed.

To achieve better notion of the effects on the brackish-saline groundwater system due to a (large) groundwater abstraction (10 million m³/year), a prediction of future raw water quality has been made by applying an analytical groundwater flowmodel. Simulation shows that the chlorid concentration in the raw water, due to attraction of the brackish-saline groundwater system, remains less than 90 mg/l. This upcoming still remains below the position of the pumping-screens. The influence of the abstraction seems to be limited to the attraction of brackish water.

LITERATUUR

1. Heij, G.J. (1979). Beschrijving van het geohydrologische systeem in West-Utrecht. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.
2. Stuyfzand, P.J. en Stuurman, R.J. (1994). Recognition and genesis of various brackish to hypersaline groundwaters in the Netherlands. Kiwa NV Onderzoek en Advies, Nieuwegein.
3. Gun, J.A.M. van der (1978). Grondwaterkaart van Nederland. Utrecht, kaartblad 31 oost, 32 west, 38 oost, 39 west (ten noorden van Lek en Neder-Rijn). Dienst grondwaterverkenning TNO, Delft.
4. Kloosterman, F.H. (1993). De landelijke hydrologische systeemanalyse. Deelgebied Midden-Nederland. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO, Delft.
5. TNO (1992). Inleiding in geofysisch boorgatmeten. Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO, Delft.
6. Zhou, Y. (1992). Sampling Frequency for Monitoring the Actual State of Groundwater Systems. International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), Delft.
7. Dam, J.C. van (1967). De theoretische grondslagen van het geo-elektrisch onderzoek. Water, 51e jaargang.
8. Koefoed, O. (1979). Geosounding Principles. 1. Resistivity Sounding Measurements. TU Delft, Faculteit der Mijnbouwkunde, Geofysisch Laboratorium.
9. Webster, R. en Oliver, M.A. (1990). Statistical Methods in Soil and Land Resource Survey. Oxford University Press, New York.
10. Maas, C. (1989). Het voorkomen van zout grondwater in Nederland. H₂O (22), nr.7.
11. Veling, E.J.M. (1988). Computer program FLOPZ; Partlines in a Quasi-Three-Dimensional Groundwater Flow in a System of Layered Homogeneous Aquifers. Report nr. 728520005. National Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), Bilthoven.