Grondwater als bron voor de openbare watervoorziening en voor de beregening in de landbouw



H. A. J. VAN LANEN
RID

Inleiding

Voor de openbare watervoorziening wordt in Nederland van oudsher in belangrijke mate gebruik gemaakt van grondwater. In 1976 werd bijvoorbeeld 66 % van het drinkwater bereid uit grondwater. Ook in de toekomst zal, vooral vanuit het oogpunt van de volksgezondheid, zoveel mogelijk de voorkeur worden gegeven aan grondwater. Grondwater heeft, ondanks de vele in de afgelopen jaren geconstateerde verontreinigingen, in algemene zin nog altijd gunstigere kwalitatieve karakteristieken dan oppervlaktewater. Behalve voor de drink- en industriewatervoorziening wordt grondwater in toenemende mate, met name in droge jaren, gebruikt door de land- en tuinbouw voor de kunstmatige beregening van gewassen. Dit wordt veroorzaakt door de intensivering van het landbouwbedrijf waardoor het 'bedrijfsrisiko' vooral in droge jaren is toegenomen. In het uitzonderlijke droge jaar 1976 bedroeg in geheel Nederland de grondwaterwinning door de land- en tuinbouw 40 % van de onttrekking door de waterleidingbedrijven, gerekend over het gehele jaar. In 1973 was dit percentage nog maar 4 %. Deze enorme toename kan men niet alleen terugvoeren op klimatologische omstandigheden, want in dezelfde periode groeide namelijk de beregende oppervlakte met 600 %. [De Wilde en Linthorst, lit. 9.] Grondwater wordt als bron voor de kunstmatige beregening voornamelijk gebruikt op die landbouwgronden waar niet, of slechts tegen hoge kosten uit het oppervlaktewater kan worden beregend. Het betreft hier over het algemeen de hogere, vaak droogtegevoelige, gronden in het oostelijk, centraal en zuidelijk zandgebied van Nederland. Volgens de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (SWLT) zal de beregende oppervlakte in deze gebieden op de middellange termijn met gemiddeld nog ongeveer 250 % toenemen ten opzichte van het areaal dat in 1976 is beregend. Verder wordt grondwater ook nog gebruikt in gebieden waar gewassen worden verbouwd, die hoge eisen stellen aan de kwaliteit van het water (bijvoorbeeld in de tuinbouw). In de toekomst wordt dus voor droge jaren een grote behoefte verwacht aan grondwater voor kunstmatige beregening, met name in genoemde zandgebieden. Zoet grondwater komt in Nederland in aanzienlijke hoeveelheden voor (500 - 1000 miljard m^3), terwijl de jaarlijkse aanvulling varieert van 3 tot 10 miljard m^3, afhankelijk van de klimatologische omstandigheden. Ondanks deze enorme hoeveelheden en de grote aanvulling zijn de winningsmogelijkheden van grondwater beperkt. Deze beperking vloeit voort uit de wens van verschillende bij het grondwater betrokken belangen om bepaalde grondwaterstandsverlagingen niet te overschrijden. Tevens mag uit het oogpunt van sommige belangen de richting van de grondwaterstroming niet teveel veranderen, dit mede in verband met de kwaliteit van het grondwater.

Voor de planning van de drink- en industriewatervoorziening, maar ook voor de watervoorziening van de land- en tuinbouw, is het derhalve belangrijk een zo goed mogelijk inzicht te hebben in de waterbehoefte en in de winningsmogelijkheden van grondwater. Deze beide belangrijke elementen voor de planning zijn ten aanzien van de openbare watervoorziening opgenomen in het Structuurschema Drink- en Industriewatervoorziening [lit. 10]. In het Structuurschema wordt per regio een raming gegeven van de winbare hoeveelheid grondwater. De ramingen zijn gedaan tegen de achtergrond dat het grondwater wordt gewonnen op een wijze die van oudsher gebruikelijk is voor waterleidingbedrijven en de industrie. Men zou deze kunnen aanduiden met *geconcentreerde permanente grondwateronttrekking.*

In het kader van de planning van de watervoorziening van de land- en tuinbouw is in 1980 het rapport verschenen van de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw [lit. 11]. Hierin wordt onder meer per regio aangegeven hoe groot de behoefte aan grondwater is op de middellange termijn voor klimatologisch verschillende typen jaren. Behalve op de behoefteprognose wordt ook op de mogelijkheden van de watervoorziening vanuit het grondwater ingegaan. In dit verband zijn de toekomstige waterbehoeften van de openbare watervoorziening en van de land- en tuinbouw per regio opgeteld en vergeleken met de winbare hoeveelheid grondwater die geldt voor geconcentreerde permanente grondwateronttrekkingen. Aan de hand van de uitkomst van de optelsom worden dan per regio binnen Nederland uitspraken gedaan over de haalbaarheid van de voorgestelde uitbreiding van de grondwateronttrekking, ongeacht het doel. Cramer [lit. 2] waarschuwt reeds voor deze eenvoudige benadering. De wijze van grondwateronttrekking door de land- en tuinbouw ten behoeve van beregening verschilt namelijk aanzienlijk van die door de waterleidingbedrijven en de industrie (zie tabel I). Men zou dit type van winning kunnen aanduiden als *verspreide niet-permanente grondwateronttrekking.* In dit artikel zal worden nagegaan in welke mate de hydrologische effekten van geconcentreerde permanente en verspreide niet-permanente grondwaterwinningen vergelijkbaar zijn. Uitgangspunt bij deze vergelijking is de onttrekking van eenzelfde hoeveelheid grondwater. Daarnaast wordt nog ingegaan op het buiten beschouwing blijven in de behoefteprognose van de watervoorziening in de land- en tuinbouw van verliezen die optreden bij beregening en op het verschil in jaarlijkse behoefte tussen de grondwaterwinning door de land- en tuinbouw en de grondwateronttrekking ten behoeve van de drink- en industriewatervoorziening. Allereerst zal echter de rekenmethode worden behandeld die is gebruikt om de eventuele verschillen in hydrologische effekten te kunnen kwantificeren.

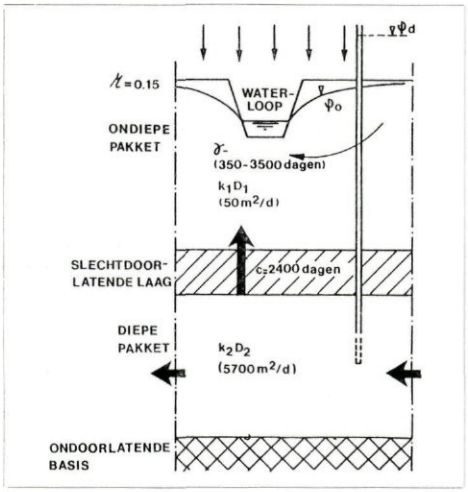
TABEL 1 - *Verschillen tussen de huidige winningsmethode van de landbouw en die van de waterleidingbedrijven (ontleend aan lit. 1 en 9).*

Aspekten	landbouw	waterleiding-bedrijven
aantal winplaatsen	7.200 [1]	229
gemiddelde onttrekkings-intensiteit (m^3/h)	12 [2]	320
diepte onttrekking	ondiep	diep (ca. 44 %)
onttrekkingsperiode	mei t/m augustus	gehele jaar
jaarlijkse vraag	grote fluktuatie	vrij konstant

[1]) aantal winplaatsen = produkt van aantal installaties en % van het water dat afkomstig is uit het grondwater.
[2]) gemiddelde onttrekkingsintensiteit = hoeveelheid gebruikt grondwater gedeeld door aantal winplaatsen. Onttrekkingsperiode is gesteld op 120 dagen.
Ter vergelijking de gemiddelde pompkapaciteit bedroeg in 1976: 64 m^3/h.

Rekenmethode

Voor het berekenen van de hydrologische effekten van verspreide niet-permanente grondwateronttrekkingen is het noodzakelijk een niet-stationaire oplossingsmethode te gebruiken. Ernst en Feddes [lit. 3] geven een dergelijke oplossing voor een homogeen gebied met één watervoerend pakket, dat aan de onderkant wordt begrensd door een ondoorlatende laag. Dit pakket mag eventueel afgedekt zijn door een laag met een geringe hydraulische weerstand (bijvoorbeeld dekzand op grofzandige fluviatiele sedimenten). De geldigheid



Afb. 1 - De geschematiseerde geohydrologische opbouw van het centrale deel van de Gelderse Vallei.

van genoemde oplossingsmethode neemt af bij een toenemende hydraulische weerstand van de boven het watervoerend pakket liggende lagen. Indien het grondwater niet wordt onttrokken aan een pakket met freatisch water, maar aan een pakket dat wordt afgedekt door slechtdoorlatende lagen waarin overwegend vertikale stroming plaatsvindt, kan men beter een andere methode gebruiken. De aanvulling van het opgepompte grondwater komt, in het geval van een verspreide grondwaterwinning, dan niet meer alleen uit het gebied waar wordt gewonnen, maar uit een veel groter gebied. Een dergelijke situatie doet zich in Nederland bijvoorbeeld voor in de Gelderse Vallei (Afb. 1). Grondwaterwinning uit het watervoerende pakket resulteert in een verlaging van de stijghoogte in een uitgestrekt gebied. Hierdoor verandert de stroming door de slechtdoorlatende laag (afname van de kwel of een toename van de wegzijging). Deze verandering wordt in het bovenliggende pakket met een gering doorlaatvermogen gekompenseerd door een afname van de oppervlaktewater-afvoer, een afname van de grondwaterberging en een afname van de verdamping. Analoog aan de vergelijking zoals die door Van Lanen en Heij [lit. 7] zijn afgeleid, kan hiervoor de onderstaande vergelijking worden geschreven.

Hierin zijn $\Delta \varphi_0{}^t$ en $\Delta \varphi_0{}^{t-1}$: grondwaterstandsverlagingen in tijdstap t en t-1, (m), $\Delta \varphi_d$: stijghoogteverlaging in het watervoerende pakket (m); c: hydraulische weerstand van de slechtdoorlatende laag (dag), μ: bergingscoëfficiënt (dimensieloos), δ (Δt): drainageweerstand, afhankelijk van de tijd (dag), Δt: tijdstaplengte (dag) en ΔE: verdampingsreduktie (m/dag).

De vergelijking wordt stap voor stap opgelost en kan zowel voor de berekening van de verlaging van de grondwaterstand ten gevolge van een geconcentreerde permanente grondwateronttrekking als voor de verlaging ten gevolge van een verspreide niet-permanente onttrekking worden gebruikt. In principe bestaat de mogelijkheid om per tijdstap de randvoorwaarden en de gebiedseigenschappen te variëren. Van deze mogelijkheid wordt in dit kader alleen voor wat betreft de drainageweerstand gebruik gemaakt.

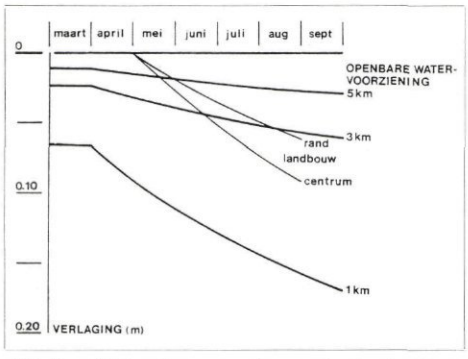
In de vergelijking komen twee randvoorwaarden voor, namelijk de verdampingsreduktie (ΔE) en de verlaging van de stijghoogte in het watervoerende pakket ($\Delta \varphi_d$). De verdampingsreduktie is een funktie van de grondwaterstandsverlaging ($\Delta \varphi_0$) en is vooraf dus niet bekend. De oplossing wordt daarom op een iteratieve manier verkregen. Door Van Holst en Bouma [lit. 6] wordt voor een aantal bodemtypen de relatie gegeven tussen de grondwaterstandsverlaging en de verdampingsreduktie. De tweede randvoorwaarde die in de vergelijking voorkomt is de verlaging van de stijghoogte in het pakket dat wordt bepompt. Deze verlaging kan worden berekend met verzadigde grondwaterstromingsmodellen. Dit kan onafhankelijk gebeuren van de berekening van de grondwaterstandsverlaging zolang de laatstgenoemde verlaging niet al te groot wordt. Wanneer deze wel groot is moet de verlaging van de grondwaterstand en de verlaging van de stijghoogte met een geïntegreerd model worden bepaald. In de Gelderse Vallei kan men tot vrij grote onttrekkingshoeveelheden een gescheiden aanpak volgen [Van Lanen en Heij, lit. 7]. In dit kader is de verlaging van de stijghoogte in het watervoerende pakket ten gevolge van één (openbare watervoorziening) of veel onttrekkingen (landbouw) dan ook bepaald met een eenvoudig analytisch model, namelijk de formule van De Glee [lit. 5]. Voor een gedetailleerde beschrijving van de randvoorwaarden wordt verwezen naar Van Lanen [lit. 8].

Verschillen tussen permanente geconcentreerde en niet-permanente verspreide grondwaterwinningen

Met behulp van de hiervoor aangegeven rekenmethodiek kan worden nagegaan in welke mate er verschillen bestaan tussen de hydrologische effekten van permanente geconcentreerde grondwaterwinning en niet-permanente verspreide grondwateronttrekkingen. Voor de vergelijking wordt uitgegaan van eenzelfde onttrekkingshoeveelheid op jaarbasis binnen een bepaald gebied. Dit gebied heeft een oppervlakte van 10 x 10 km². Voor 1681 punten binnen dit gebied wordt de verlaging van de grondwaterstand berekend. De punten liggen op een onderlinge afstand van 250 m. Ten behoeve van de simulatie van de grondwaterwinning door de landbouw bestaat in principe de mogelijkheid om in elk van deze punten ook grondwater te winnen. Aangenomen wordt dat het gebied eigenschappen heeft die overeenkomen met de situatie in het centrale deel van de Gelderse Vallei; de waarden daarvan staan in afb. 1 [lit. 14]. Het verloop van de verlaging van de grondwaterstand wordt bepaald voor de maanden januari tot en met september. De tijdstaplengte (Δt) bedraagt 5 dagen.

Voor de situatie dat het grondwater op permanente basis wordt gewonnen wordt aangenomen dat de onttrekking uit één punt plaatsvindt en het gehele jaar konstant is ($\Delta \varphi_d$ = konstant). Voor het winterhalfjaar wordt de verdampingsreduktie gelijk aan nul gesteld, daarna, vanaf april, wordt ΔE berekend met de relaties gegeven door Van Holst en Bouma [lit. 6]. Voor de niet-permanente grondwaterwinning wordt aangenomen dat deze gelijkmatig over het gebied verspreid is en plaatsvindt in de maanden mei t/m augustus. Gedurende deze periode wordt de verlaging in het watervoerende pakket konstant verondersteld, in de maanden daarvoor is deze nul. De onttrekking vindt plaats in de helft van de punten: met andere woorden indien het opgepompte grondwater voor beregening zou worden gebruikt, bedraagt het beregeningspercentage 50 %. Ter illustratie, in het oostelijk, centraal en zuidelijk zandgebied zal in de toekomst gemiddeld ca. 44 % van de oppervlakte met grasland en snijmaïs worden beregend volgens de prognose van de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw. De verlaging van het freatische vlak ($\Delta \varphi_0$) wordt, in het geval van niet-permanente grondwaterwinning, aan het begin van de onttrekkingsperiode op nul gesteld. Dit betekent dat, indien het grondwater voor beregening wordt gebruikt, grondwateronttrekkingen uit voorafgaande jaren geen invloed meer hebben. Dit is niet onder alle omstandigheden het geval [Van der Giessen, lit. 4]. Zowel voor de permanente als de niet-permanente grondwaterwinning worden de hydrologische effekten van een onttrekking

$$\Delta \varphi_0{}^t = \Delta \varphi_0{}^{t-1} + \frac{\Delta t.\,(\delta\,(\Delta t).\,\Delta \varphi_d - \Delta \varphi_0{}^{t-1}.\,(\delta\,(\Delta t) + c) - c.\,\delta\,(\Delta t)\,.\,\Delta E)}{c\,.\,\mu\,.\,\delta\,(\Delta t)}$$



Afb. 2. - Het verloop van de grondwaterstandsverlaging ten gevolge van de winning van dezelfde hoeveelheid grondwater volgens de huidige methode van twee gebruikers.

van 40 mm nader beschouwd. Voor de permanente geconcentreerde grondwaterwinning betekent dit een onttrekking van ca. 11.000 m^3/dag het gehele jaar door. Het onttrekkingsdebiet per put voor de situatie dat het grondwater niet-permanent verspreid wordt gewonnen, bedraagt 40 m^3/dag gedurende vier maanden.

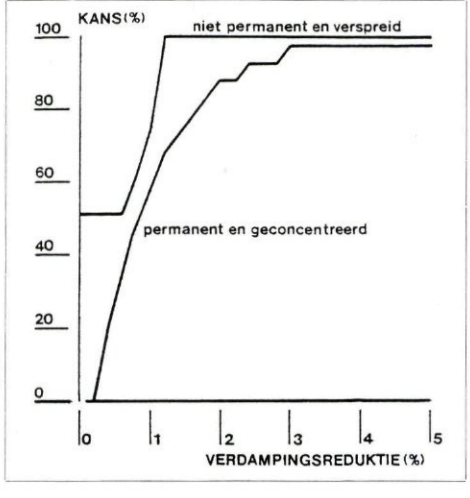
Grondwaterstandsverlagingen

In afb. 2 worden de berekende verlopen van de grondwaterstandsverlaging gegeven voor de beide winningstypen. Voor de situatie dat het grondwater niet-permanent verspreid wordt gewonnen worden twee verlopen gegeven. Een geldt voor het midden, de ander voor de rand van het gebied. Voor het weergeven van de hydrologische effekten van een in een punt geconcentreerde grondwateronttrekking worden, vanwege het concentrische verlagingenbeeld, meerdere verlopen op verschillende afstanden van de put gegeven. Uit afb. 2 kan men konkluderen dat in het beschouwde gebied de hydrologische effekten nergens gelijk zijn. In het winterhalfjaar zijn uiteraard de verlagingen van de grondwaterstand ten gevolge van de permanente grondwateronttrekking groter dan de verlagingen ten gevolge van de niet-permanente grondwaterwinning. In het zomerhalfjaar is er daarentegen een gebied dat, indien het grondwater niet-permanent wordt onttrokken, grotere verlagingen kent dan wanneer het grondwater permanent uit een punt wordt onttrokken. Dit gebied neemt gedurende het zomerhalfjaar in oppervlakte toe.
Bovengenoemde konklusies gelden voor de situatie dat door beide winningsmethoden op jaarbasis dezelfde hoeveelheid grondwater wordt gewonnen.
Het lokale hydrologische effekt van de winning van een bepaalde hoeveelheid grondwater hangt dus af van de wijze waarop het grondwater wordt gewonnen. Dit betekent ook dat de eventuele voor- en/of nadelen voor de bij het grondwater betrokken belangen zullen verschillen. Dit kan worden aangetoond met de verdampingsreduktie, die vaak als maat wordt gebruikt voor de nadelige gevolgen van grondwaterwinning voor de groei van kultuurgewassen.

Verdampingsreduktie

Met de rekenmethode wordt behalve de verlaging van de grondwaterstand ook de reduktie van de verdamping bepaald. In het onderhavige voorbeeld is dit gebeurd voor een gebied dat geheel wordt ingenomen door veldpodzolgronden met grondwatertrap V. Globaal gesproken hebben deze gronden een gemiddeld hoogste grondwaterstand van 0.30 m - m.v. en een gemiddeld laagste van 1.40 m - m.v. Deze zandgronden zijn ten aanzien van de verdamping erg gevoelig voor verlagingen van de grondwaterstand [Van Holst en Bouma, lit. 6].
Per punt binnen het modelgebied is op een iteratieve manier de verdampingsreduktie bepaald. Deze berekening is zowel uitgevoerd voor de situatie dat het grondwater permanent uit een put wordt onttrokken als voor het geval dat het water niet-permanent en verspreid over een groot aantal putten wordt gewonnen. Voor het laatste geval is aangenomen dat in de punten waar grondwater wordt gewonnen het water wordt aangewend voor de beregening zodat daar geen reduktie optreedt (50 % van de oppervlakte). De resultaten van de berekening zijn weergegeven in de vorm van een verband tussen de onderschrijdingskans en de verdampingsreduktie (afb. 3). Deze kumulatieve

Afb. 3. - De kumulatieve frekwentieverdeling (onderschrijdingskans) van de verdampingsreduktie ten gevolge van de winning van dezelfde hoeveelheid grondwater volgens twee verschillende methoden.



frekwentieverdeling geldt voor een raai midden door het gebied.
Uit deze afbeelding kan men afleiden dat ten aanzien van de situatie dat het grondwater niet-permanent en verspreid wordt gewonnen in de helft van het gebied een reduktie optreedt die ligt tussen de 0.7 en 1.2 %. Deze getallen gelden onder gemiddelde omstandigheden; voor een 10 % droog zomerhalfjaar ligt de reduktie tussen 1,6 en 2,4 % [Van Lanen, lit. 8]. Het kumulatieve verloop voor de situatie dat het grondwater permanent uit één punt wordt onttrokken kent een veel geleidelijker verloop dan de relatie voor de niet-permanente en verspreide grondwaterwinningen. Voor het gekozen voorbeeld is de kans, dat een bepaalde verdampingsreduktie wordt onderschreden, voor de situatie dat het grondwater permanent uit één put wordt onttrokken groter dan voor het geval dat het niet-permanent uit veel putten wordt gewonnen. De verdampingsreduktie, die als maat wordt gebruikt voor de nadelige gevolgen van grondwaterwinning voor de groei van kultuurgewassen, hangt samen met de wijze waarop het grondwater wordt gewonnen. De oorzaak voor het verschil in verdampingsreduktie tussen beide typen van winning ligt bij het verschil in grondwaterstandsverlaging. Het ligt dus voor de hand dat beïnvloeding van bij het grondwater betrokken belangen ahangt van de wijze waarop het grondwater wordt gewonnen.

Het buiten beschouwing laten van verliezen

De Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw [lit. 11] heeft de prognoses voor de watervoorziening gebaseerd op regionale gegevens van het klimaat, de bodemgesteldheid en het bodemgebruik. In de praktijk zal de boer voor de kunstmatige beregening echter meer water gebruiken. Bij kunstmatige beregening treden namelijk verliezen op. Het betreft hier voornamelijk perkolatieverliezen ten gevolge van een ongelijkmatige waterverdeling door de sproeiers en het toedienen van een watergift vlak voordat een onverwachte aanvulling door de neerslag plaatsvindt. Deze verliezen, die volgens de commissie tot een ca. 18 % hogere onttrekking leiden, zijn niet in de prognoses verdiskonteerd. Datzelfde geldt ook voor de hoeveelheid water die al wordt toegediend voordat de grond volledig is uitgedroogd. Bij het opstellen van de prognoses is de Studiecommissie er namelijk van uitgegaan dat de totale hoeveelheid beschikbaar vocht in de grond tot verwelkingpunt door de plant wordt opgenomen alvorens men start met kunstmatige beregening. In de praktijk