

Hydrologische effecten van beregening in Noord-Brabant berekend met modellen voor onverzadigde en verzadigde grondwaterstroming

Inleiding

Dit is het tweede artikel in een reeks van drie over de hydrologische effecten van beregening uit het grondwater. Het onderzoek werd verricht door het RIVM in samenwerking met DBW/RIZA. De probleemstelling, het doel en de aanpak van het onderzoek en de gebruikte modellen zijn beschreven in het eerste artikel [Thunnissen en Arnold, 1989]. In het onderhavige artikel worden de resultaten beschreven van een door het RIVM uitgevoerde modelstudie naar de



IR. H. A. M. THUNNISSEN
Rijksinstituut voor Volks-
gezondheid en Milieuhygiëne
thans Staring Centrum



M. P. SIEMONSMA
Rijksinstituut voor Volks-
gezondheid en Milieuhygiëne,
thans Dienst Water en
Milieuhygiëne, prov. Drenthe

hydrologische effecten van beregening uit het grondwater met behulp van de modellen MUST en TRINS. De modelberekeningen zijn uitgevoerd voor een strook met een lengte van 70 km en een breedte van 500 m in het zandgebied van west en midden Noord-Brabant [Thunnissen en Arnold, 1989]. Met het doel resultaten te krijgen die representatief zijn voor een groot deel van het desbetreffende zandgebied zijn invoergegevens verzameld voor een strook met een breedte van minimaal 5 km. De studie is uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal Milieubeheer van het Ministerie van VROM. Wie geïnteresseerd is in meer gedetailleerde informatie dan in dit artikel kan worden beschreven wordt verwezen naar de onderzoeksrapporten [Mülschlegel en Thunnissen, 1986 en Thunnissen en Siemonsma, 1987].

Aannamen en invoergegevens

Het modelgebied is verdeeld in driehoekige elementen. De hoekpunten van de elementen vormen de knooppunten. De afstand tussen de knooppunten bedraagt 500 of 350 m. Aan ieder knooppunt is een representatieve combinatie van bodemgebruik, bodemfysische eigenschappen en grondwatertrap toegekend. Hierbij is er voor gezorgd dat de oppervlakten van de verschillende combinaties in het geschematiseerde studiegebied overeenkomen met de in werkelijkheid aanwezige oppervlakten.

Samenvatting

De hydrologische effecten van grondwateronttrekking ten behoeve van beregening van landbouwgewassen zijn berekend voor een studiegebied in het zandgebied van west- en midden-Noord-Brabant met behulp van modellen voor verzadigde en onverzadigde grondwaterstroming. Het blijkt dat met name in jaren met een droogtegraad van 10% of meer de grondwateronttrekkingen ten behoeve van beregening een groot uitstralingseffect hebben. De resulterende grondwaterstandsverlagingen zijn plaatselijk zeer groot en vertonen een sterke variatie over het gebied. In de meeste gebieden is in het volgende voorjaar de grondwaterstandsverlaging echter verdwenen, zelfs na een extreem droge zomer. Tijdens perioden van grondwateronttrekking kunnen de veranderingen in de kwel- en wegzijgingsintensiteiten, die onafhankelijk zijn van de droogtegraad van het desbetreffende jaar, aanzienlijk zijn. Deze veranderingen verdwijnen echter nagenoeg zodra met de onttrekkingen wordt gestopt. Met name in droge jaren kunnen zelfs op de lage gronden, waar weinig of niet wordt beregend, nog verdampingsreducties van enige betekenis optreden als gevolg van de optredende grondwaterstandsverlagingen.

De volgende gewassen kunnen worden beregend: gras, aardappelen, bieten, vollegrondstuinbouwgewassen, pit- en steenvruchten en boomkwekerijgewassen. Maïs en granen worden niet beregend. Er is verondersteld dat een boer overgaat tot beregening wanneer een bepaalde kritieke drukhoogte in de wortelzone wordt overschreden. Onder zeer droge omstandigheden kunnen maximaal twee beregeningsgiften per tien dagen worden toegediend. Iedere (netto) beregeningsgift heeft een grootte van 20 mm. Aangenomen wordt dat tijdens de toepassing van beregening een verlies optreedt van ca. 5% als gevolg van randeffecten (water dat buiten de beteelde oppervlakte terecht komt bijvoorbeeld op wegen en sloten) en verdamping. Aan ieder knooppunt zijn representatieve gegevens toegekend wat betreft de geohydrologische constanten, de freatische beregeningscoëfficiënt en de weerstanden die het (grond)water ondervindt bij stroming naar en uit het oppervlaktewater. Aangenomen wordt dat de oppervlaktewaterpeilen niet veranderen als gevolg van beregening.

De hoeveelheden onttrokken grondwater zijn gelijk aan de met het model voor de onverzadigde zone berekende beregeningsgiften plus de optredende verliezen.

In het gehele studiegebied wordt het grondwater onttrokken uit het 2e watervoerende pakket. Wat betreft de randvoorwaarden is aangenomen dat loodrecht op de rand van het modelgebied geen verandering van de onttrekkingsgroottes optreedt. Dit betekent dat de fluxen over de rand van het modelgebied niet veranderen. De berekeningen zijn uitgevoerd voor de periode 1971-1980 en het jaar 1949. In de periode 1971-1980 komen zowel natte als droge jaren voor. De gemiddelde vochttekorten en beregeningsgiften over deze periode komen nagenoeg overeen met de langjarig gemiddelde waarden [Thunnissen en Siemonsma, 1987]. Het jaar 1949 is een 10% droogjaar. De berekeningen zijn uitgevoerd voor een tijdstaplenge van 10 dagen.

Beregeningsscenario's

Wat betreft de beregeningsomvang worden drie scenario's onderscheiden, te weten een minimum-, een tussen- en een maximum-scenario (zie tabel I). Als uitgangspunt voor het minimum-scenario is de oppervlakte cultuurgrond genomen die in 1983 kon worden beregend [CBS, meitelling 1983]. Bij het tussen-scenario is aangenomen dat alle graslandpercelen met een langjarig gemiddeld vochttekort van meer dan 50 mm kunnen worden

TABEL I – Schatting van de oppervlakte open grond met beregening in het studiegebied in 1983 (minimum-scenario) en volgens het tussen- en maximum-scenario, uitgedrukt in % van de oppervlakte open grond per produktierichting en van de totale oppervlakte open grond. Tevens is aangegeven welke percentage van de totale oppervlakte open grond uit het grond- en uit het oppervlaktewater wordt beregend.

Minimum-scenario				Tussen-scenario				Maximum-scenario			
gras- land + maïs	vollegr. tuin- bouw	akker- bouw	totaal	gras- land + maïs	vollegr. tuin- bouw	akker- bouw	totaal	gras- land + maïs	vollegr. tuin- bouw	akker- bouw	totaal
32	64	22	34	34	90	50	38	50	90	50	53
grondwater			27				30				44
oppervlaktewater			7				8				9

beregend. Bij het maximum-scenario wordt het percentage van de oppervlakte grasland en maïs dat kan worden beregend gelijkgesteld aan 50%. Dit komt overeen met het tussen-scenario van de Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw [SWLT, 1980]. Dit betekent dat bij het maximum-scenario in het studiegebied alle graslandpercelen met een langjarig gemiddeld vochttekort van meer dan ca. 20 mm (!) beregend worden. Berekening volgens het tussen-scenario wordt als het meest realistische beschouwd voor de nabije toekomst. De percentages cultuurgrond die bij de verschillende scenario's kunnen worden beregend uit het grond- en uit het oppervlaktewater zijn gegeven in tabel I.

Hydrologische effecten

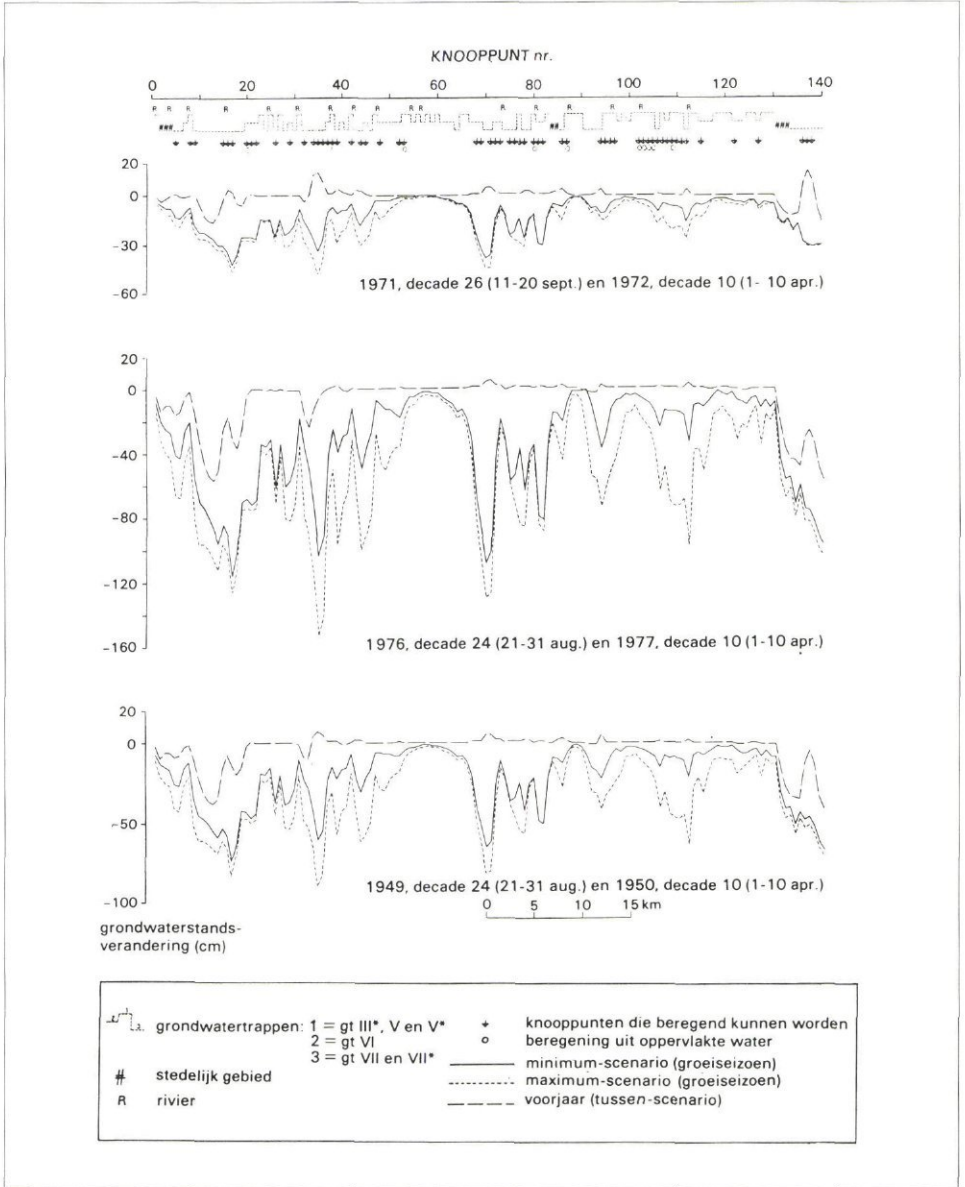
Bij de berekeningen van de hydrologische effecten, die het gevolg zijn van grondwateronttrekking ten behoeve van beregning is uitgegaan van het superpositiebeginsel [Thunnissen en Arnold, 1989]. Een voorwaarde voor het toepassen van het superpositiebeginsel is dat de oppervlaktewaterpeilen niet worden beïnvloed door de onttrekkingen voor beregening. Als gevolg hiervan zijn de berekende veranderingen in de afvoer naar of infiltratie vanuit het oppervlaktewater, welke zeer gevoelig zijn voor variaties in de oppervlaktewaterpeilen, minder betrouwbaar. Daarom wordt verder alleen aandacht geschonken aan de veranderingen in grondwaterstandsverloop, kwel- of wegzijgingsintensiteiten en verdamping. De berekeningsresultaten zullen, tenzij anders vermeld, worden gepresenteerd voor knooppunten die in het midden van het modelgebied liggen. Deze knooppunten, die een onderlinge afstand hebben van 500 m, zijn genummerd van 1 tot 140. De nummers lopen op van west naar oost. Uit praktische overwegingen moet een keuze worden gemaakt uit de enorme hoeveelheid gegevens. Voor een uitgebreid overzicht van de berekeningsresultaten wordt verwezen naar Thunnissen en Siemonsma [1987].

Veranderingen in het grondwaterstandsverloop en onttrekkingshoeveelheden
In afb. 1 zijn voor drie decades de verlagingen van de grondwaterstand als gevolg van grondwateronttrekking voor beregening gegeven bij het minimum- en maximum-berekeningsscenario. Het betreffen de decades met de grootste grondwaterstandsverlagingen in 1949, 1971 en 1976. De groeiseizoenen in deze jaren hebben een droogtegraad van respectievelijk ca. 10, 50 en 1%. Vanwege de overzichtelijkheid zijn de verlagingen

bij het tussen-scenario gedurende deze decades niet weergegeven. Deze bevinden zich echter ergens tussen de verlagingen bij het minimum- en maximum-scenario. In afb. 1 zijn bovendien de grondwaterstandsverlagingen bij het tussen-scenario in de voorjaren (decade 1-10 april) van 1950, 1972 en 1977 gegeven. De berekende maximale verlagingen in 1971, 1949 en 1976 bedragen bij het minimum-scenario respectievelijk 42, 75 en 116 cm, bij het tussen-scenario respectievelijk 46, 84 en 138 cm en bij het maximum-scenario respectievelijk 48, 94 en 153 cm. Nabij rivieren en in gebieden met een relatief hoge slootdichtheid (grondwatertrappen III, III*, V en V*) worden de optredende verlagingen beperkt. Dit is het gevolg van afnemende drainage naar en

toenemende infiltratie vanuit het oppervlaktewater. In droge jaren treden in praktisch het gehele modelgebied, inclusief de beekdalen die grenzen aan hoge gronden waar wordt beregend uit het grondwater, grondwaterstandsverlagingen van enige betekenis op. Er is derhalve sprake van een groot uitstralingseffect. In het grootste deel van het modelgebied zijn in het voorjaar geen gevolgen meer merkbaar van de grondwateronttrekkingen in de voorafgaande groeiseizoenen. In enkele gebieden resteren echter na een droog groeiseizoen nog aanzienlijke verlagingen in het voorjaar (tot 57 cm in het voorjaar van 1977 bij het tussen-scenario). Deze gebieden worden gekenmerkt door een diepe ontwatering (grondwater-

Afb. 1 - Veranderingen in de grondwaterstand in het modelgebied als gevolg van grondwateronttrekking ten behoeve van beregning in drie decades in 1949, 1971 en 1976 bij het minimum en maximum beregningsscenario. Tevens zijn de grondwaterstandsveranderingen in de voorjaren van 1950, 1972 en 1977 bij het tussen-scenario gegeven.



trappen VII en VII*) en het (nagenoeg) ontbreken van oppervlaktewater. Hierdoor heeft compensatie van de grondwaterstandsverlaging uitsluitend plaats door extra toestroming van grondwater uit aangrenzende gebieden, toegenomen kwel uit het tweede watervoerende pakket en extra grondwateraanvulling op de beregende gronden. Deze compensatie is met name na droge groeiseizoenen onvoldoende.

In enkele gebieden wordt in het voorjaar een verhoogde grondwaterstand aangetroffen ten opzichte van de situatie zonder beregening. Deze verhogingen worden alleen aangetroffen in gebieden waar wordt beregend en oppervlaktewater (nagenoeg) ontbreekt. Op de beregende gronden is aan het eind van het groeiseizoen meer vocht in de onverzadigde zone aanwezig dan op de niet beregende gronden, waardoor op de beregende gronden een extra grondwateraanvulling optreedt. Dit kan resulteren in een verhoging van de grondwaterstand ten opzichte van de situatie zonder beregening.

Men dient zich goed te realiseren dat de in afb. 1 gegeven verlagingen in de groeiseizoenen van 1949, 1971 en 1976 maximale verlagingen zijn. Deze verlagingen treden slechts op gedurende een korte periode. Voor de volledigheid wordt in afb. 2 voor drie knooppunten het verloop van de grondwaterstandsverlagingen gedurende een aantal groeiseizoenen gegeven. Duidelijk is te zien dat de verlagingen geleidelijk toenemen gedurende het groeiseizoen en dat in bepaalde knooppunten en groeiseizoenen in het voorjaar verhoogde of verlaagde grondwaterstanden aanwezig zijn ten opzichte van de situatie zonder beregening.

De hoeveelheden grondwater die gedurende de groeiseizoenen van 1949, 1971 en 1976 bij de drie beregenings-scenario's in het modelgebied (3.500 ha) worden onttrokken, zijn gegeven in tabel II. In droge jaren komen deze hoeveelheden op jaarbasis overeen met een redelijk grote drinkwateronttrekking. In tabel II zijn tevens de gemiddelde hoeveelheden onttrokken grondwater over de periode 1971-1980 gegeven.

Deze laatste hoeveelheden, die nagenoeg overeenkomen met de langjarig gemiddelde hoeveelheden, blijken weinig te verschillen van die in een 50% droog jaar. Ook het verloop van de langjarig gemiddelde maximale verlagingen (niet weergegeven in deze publikatie) verschillen weinig van die in een 50% droog jaar. De hoeveelheden grondwater die worden onttrokken ten behoeve van beregening

zijn groter dan de vochttekorten in de onberegende situatie. Zo wordt bij beregening volgens het tussen-scenario in 1971, 1949 en 1976, respectievelijk 61, 29 en 23% meer grondwater onttrokken dan noodzakelijk is om het oorspronkelijke vochttekort op te heffen. In het algemeen kan men stellen dat het gebruik van het toegediende beregeningswater effectiever is naarmate het jaar droger is en de capillaire opstijging en de hoeveelheid beschikbaar vocht in de onberegende situatie geringer zijn.

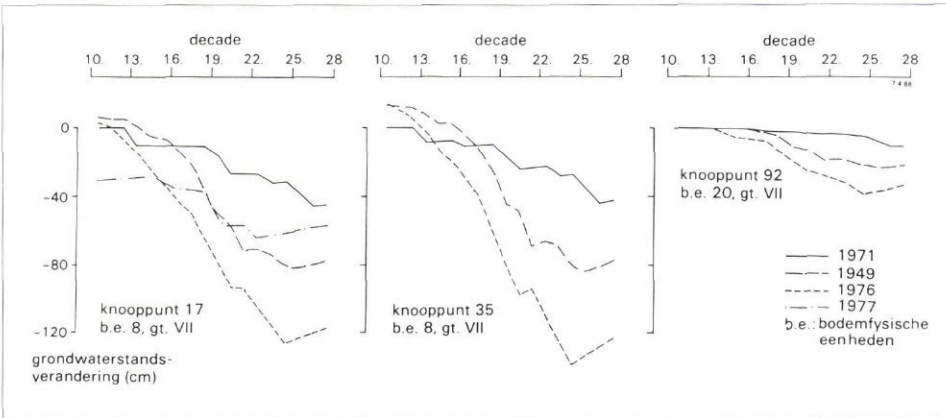
Veranderingen in de kwel- en wegzijgings-intensiteiten

Als gevolg van grondwateronttrekking voor beregening neemt over het algemeen in gebieden waar wegzijging optreedt deze

wegzijging verder toe, terwijl in kwelgebieden de kwel afneemt of verandert in wegzijging (negatieve waarden in afb. 3). De veranderingen in de flux tussen het tweede en eerste watervoerende pakket nemen niet geleidelijk toe, zoals de veranderingen in de grondwaterstand, maar treden onregelmatig of zelfs schoksgewijs op (zie afb. 3). De grootte van de verandering in de genoemde flux is een functie van de onttrekkingsgrootte en de afstand tot de onttrekkingspunten. Naarmate een knooppunt verder van onttrekkingspunten verwijderd ligt, is de verandering in de genoemde flux minder groot en verloopt de verandering geleidelijker (zie bijv. knooppunt 92 in afb. 3). Bij een tweemaal zo hoge onttrekkingsintensiteit is de verandering in

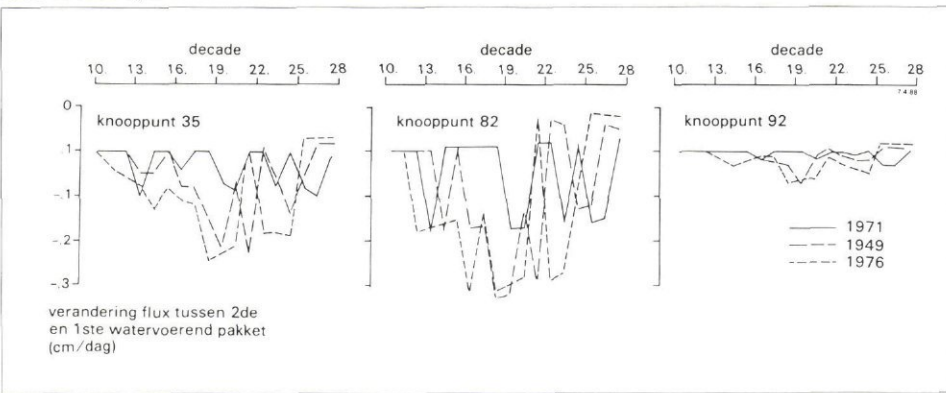
TABEL II – De in het modelgebied onttrokken hoeveelheden grondwater ten behoeve van beregening gedurende de groeiseizoenen van 1971, 1949 en 1976 en gemiddeld over de groeiseizoenen in de periode 1971-'80 bij het minimum-, tussen- en maximum beregeningscenario.

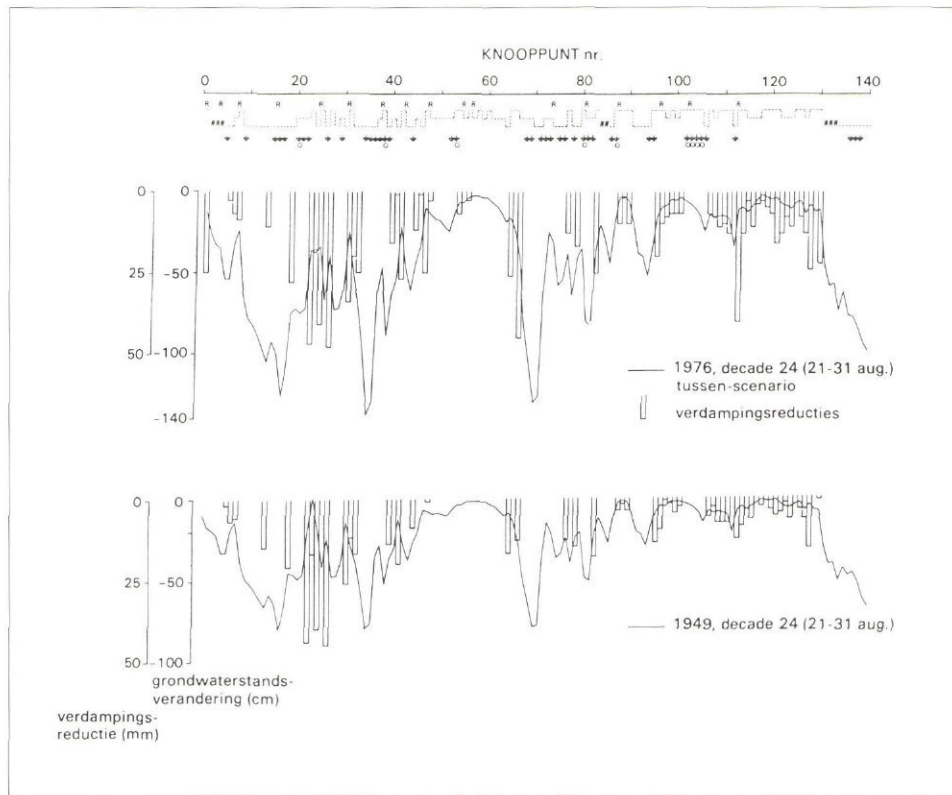
Scenario	Hoeveelheden onttrokken grondwater (x 1.000 m ³ /mm waterschijf)			
	1971	1949	1976	1971-'80
minimum	882/25,2	1.677/47,9	2.558/ 73,1	863/24,7
tussen	1.004/28,7	1.939/55,4	2.984/ 85,3	987/28,2
maximum	1.161/33,2	2.584/73,8	4.074/116,4	1.201/34,3



Afb. 2 - Verloop van de grondwaterstandsveranderingen als gevolg van grondwateronttrekking ten behoeve van beregening gedurende een aantal groeiseizoenen in 4 knooppunten bij het tussen-scenario (b.e. = bodemfysische eenheid).

Afb. 3 - Verloop van de verandering in de flux tussen het tweede en eerste watervoerende pakket als gevolg van grondwateronttrekking ten behoeve van beregening voor drie knooppunten gedurende de groeiseizoenen van 1949, 1971 en 1976 bij het tussen-scenario.





Afb. 4 - Verdampingsreducties in 1949 en 1976 en grondwaterstandsveranderingen in decade 21-31 augustus in 1949 en 1976 als gevolg van grondwateronttrekking ten behoeve van beregning bij het tussen-scenario.

de genoemde flux ook ca. tweemaal zo groot. Zodra geen grondwater meer wordt onttrokken is de verandering in de flux nagenoeg gelijk aan nul of heeft zelfs een geringe positieve waarde. Uit de berekeningen is gebleken dat, wanneer in een groot aantal knooppunten beregeningsgiften plaatsvinden van 40 mm per 10 dagen, praktisch in het gehele modelgebied veranderingen in de flux tussen het tweede en eerste watervoerende pakket optreden. Wanneer de meeste giften 20 mm per 10 dagen bedragen is het uitstralingseffect veel geringer.

Veranderingen in de verdamping

De gevoeligheid van de optredende verdamping voor variatie in de grondwaterstand is afhankelijk van de bodemfysische eigenschappen, de aanwezige grondwaterstandsdiepte, het gewas en de heersende meteorologische omstandigheden. Er bestaat derhalve geen eenduidige relatie tussen de grondwaterstandsverlaging en de daardoor veroorzaakte verdampingsreductie. In afb. 4 zijn voor de groeiseizoenen van 1949 en 1976 de verdampingsreducties die het gevolg zijn van grondwateronttrekking volgens het tussen-scenario weergegeven. In deze afbeelding zijn tevens de grootste grondwaterstandsverlagingen gedurende de desbetreffende

groeiseizoenen gegeven. Een aantal niet beregende gronden waar grote grondwaterstandsverlagingen optreden, vertonen geen of slechts een geringe verdampingsreductie. Hier is sprake van een hangwaterprofiel. Op gronden die ver verwijderd liggen van onttrekkingspunten worden vooral in droge jaren vaak verdampingsreducties van enige betekenis aangetroffen. Dit geldt met name voor veel middelhoge en lage zandgronden (zie bijv. het gebied tussen de knooppunten 102 en 130). De verdamping op deze gronden is vaak erg gevoelig voor verlaging van de grondwaterstand. De berekende maximale verdampingsreducties als gevolg van beregning uit het grondwater bedragen in 1971, 1949 en 1976 bij het minimum-scenario respectievelijk 13, 9 en 9 mm, bij het tussen-scenario respectievelijk 44, 45 en 46 mm en bij het maximum-scenario respectievelijk 57, 48 en 80 mm.

Discussie en conclusies

– Uit de gevoerde berekeningen blijkt dat de hydrologische effecten van beregning uit het grondwater in het zandgebied van west en midden Noord-Brabant met name in jaren met een droogtegraad van 10% of meer aanzienlijk kunnen zijn en zich in het gehele modelgebied doen gelden, inclusief de lage gronden in de beekdalen die vaak ver van onttrekkingspunten zijn

verwijderd. Het uitstralingseffect van grondwateronttrekking ten behoeve van beregning is dus groot.

– Vaak wordt aangenomen dat grondwaterwinningen ten behoeve van beregning een diffuus verlagingseffect tot gevolg hebben [Ernst en Feddes, 1979; Van der Giessen, 1983 en Van Lanen, 1985]. Uit deze studie blijkt echter dat dat niet het geval hoeft te zijn. De grondwaterstandsverlagingen vertonen een sterke variatie over het modelgebied.

– In sommige gebieden waar intensief uit het grondwater wordt beregend en waar weinig of geen oppervlaktewater aanwezig is, resteren in het volgende voorjaar nog verlagingen. Soms hebben deze verlagingen een permanent karakter. In het grootste deel van het modelgebied is in het voorjaar de grondwaterstandsverlaging ten gevolge van beregning uit het grondwater echter praktisch verdwenen, zelfs na een 1% droog jaar.

– De hoeveelheid grondwater die wordt onttrokken ten behoeve van beregning is groter dan de vochttekorten in de situatie zonder beregning. Het teveel onttrokken grondwater wordt tijdelijk in de onverzadigde zone geborgen en wordt pas in het najaar weer bij het grondwater gevoegd. Deze extra grondwateraanvulling blijkt in een aantal gebieden waar oppervlaktewater nagenoeg ontbreekt tot een verhoging van de grondwaterstand te leiden.

– De langjarig gemiddelde veranderingen in de grondwaterstand zijn nagenoeg gelijk aan die in een 50% droog jaar.

– De grootte van de veranderingen in de kwel- en wegzijgingsintensiteiten op een bepaald tijdstip is een functie van de afstand tot de onttrekkingspunten en de onttrekkingsintensiteit en is onafhankelijk van de droogtegraad van het desbetreffende groeiseizoen. Wel zullen naarmate het groeiseizoen droger is de veranderingen in de kwel- en wegzijgingsintensiteiten gedurende langere perioden optreden. De veranderingen in de kwel- en wegzijgingsintensiteiten verdwijnen nagenoeg zodra de grondwateronttrekkingen worden beëindigd, in tegenstelling tot de grondwaterstandsverlagingen die nog lang na beëindiging van de onttrekkingen aanwezig blijven.

– Het is van belang op te merken dat de gepresenteerde berekeningsresultaten van toepassing zijn op het zandgebied in west en midden Noord-Brabant. Overdraagbaarheid van de resultaten naar andere zandgebieden in Nederland is afhankelijk van de (geo)hydrologische en bodemkundige situatie. De berekeningsresultaten

Ter vergelijking:

a. in het district Mark wordt voor 1990 de benodigde hoeveelheid grondwater voor de drink- en industriewatervoorziening geschat op 31,8 miljoen m³/j [WL-Delft, 1985];

b. de in bovengenoemde studie geraamde vraag door de landbouw in dit district (Mark) voor een 50%- , 10%- , respectievelijk 1%-droog groeiseizoen bedraagt: 11,1, 20,1, respectievelijk 35,1 miljoen m³ (het betreffen de jaren 1967, 1943, respectievelijk 1976). Hieruit blijkt dat de voor berekening benodigde hoeveelheid grondwater zeker niet meer te verwaarlozen is ten opzichte van de voor drink- en industriewatervoorziening benodigde hoeveelheid.

Conclusies

1. Uit deze studie blijkt dat de berekening over het algemeen effectiever is naarmate het jaar droger is en de capillaire eigenschappen van de ondergrond slechter zijn.
2. De beregeningsgift is groter naarmate het jaar droger is en het bodemprofiel minder goede capillaire eigenschappen heeft; dit heeft een sterkere daling van de grondwaterstand als gevolg.
3. De resterende daling van de voorjaarsgrondwaterstand ten gevolge van beregning uit grondwater is alleen nog aanzienlijk na droge groeiseizoenen, te meer wanneer het erg droogtegevoelige plots betreft. Dan zijn er zelfs na 50%-droge groeiseizoenen nog duidelijk merkbare dalingen in het voorjaar te bespeuren.
4. De gevolgen van de grondwaterstands-daling ten gevolge van beregning uit grondwater in een extreem droog groeiseizoen zijn nog één tot enkele jaren merkbaar in de voorjaarsgrondwaterstand.
5. De resultaten van DEMGEN en die van TRINS-MUST komen, zeker voor wat betreft vochttekorten en beregeningsgiften, gemiddeld redelijk tot goed met elkaar overeen.
6. Gezien de bij deze studie gemaakte veronderstellingen en schematisaties geven de berekende resultaten slechts een orde van grootte weer.
7. De hoeveelheid grondwater nodig om in een (PAWN-)district aan de beregeningsvraag te voldoen is zeker niet meer te verwaarlozen ten opzichte van de benodigde hoeveelheid voor drink- en industriewatervoorziening (ook niet voor een gemiddeld droog groeiseizoen) en kan deze zelfs overtreffen gedurende een extreem droog groeiseizoen.

Discussie

Uit het onderzoek blijkt dat beregning uit het grondwater een niet te verwaarlozen daling van de grondwaterstand kan

bewerkstelligen die gezien het diffuse karakter van dit type winning vrij uitgestrekt kan zijn. Deze daling kan zich voor bepaalde bodemfysische eenheden over meer jaren voortzetten en daardoor nadelige invloeden hebben op de natuur. Aangezien beregning uitgebreid op landelijke schaal wordt toegepast dient verder onderzoek plaats te vinden, op zowel regionale als op landelijke schaal. Uit deze studie is gebleken dat het gebruik van een model als MUST en TRINS voor een gebied van vrij beperkte schaal (lengte 70 km) al veel invoergegevens en rekentijd vergt. Voor de berekeningen moest het gebied nog eens in tweeën gedeeld worden in verband met de rekentijd (hanteerbaarheid). Genoemd model heeft echter als voordeel (1) de mate van detail waarmee gerekend kan worden, (2) de interactie tussen gebieden waar wel en waar niet beregend wordt kan worden berekend en (3) de mogelijkheid veranderingen in kwel als gevolg van beregning uit het grondwater te berekenen. Het model DEMGEN daarentegen is opgezet om op regionale en landelijke schaal berekeningen te doen en is daarom veel globaler van opzet en werkt met sterke vereenvoudigingen. Het heeft als voordeel dat het veel minder invoergegevens vergt en relatief weinig rekentijd; daardoor is het aantrekkelijker in verband met een landelijke aanpak. Het model kan op een aantal punten nog worden verbeterd, zoals ten aanzien van de bodemfysische schematisatie, de basisdrainage-functie en de kwel. Momenteel wordt in DEMGEN de kwel constant over de tijd verondersteld. Aangezien de stijghoogte van het freatisch grondwater echter duidelijk meer varieert dan de stijghoogte van het grondwater in de diepere ondergrond, zal de kwelstroom variëren. Een koppeling met (een model voor) het diepere grondwater lijkt met deze kwel- of wegzijgingsterm tot de mogelijkheden te behoren. Daarmee ontstaat ook de mogelijkheid de effecten van grondwateronttrekking ten behoeve van de drink- en industriewatervoorziening te vergelijken met die ten behoeve van de landbouw. De aanpak van integraal grondwaterbeheer vraagt een regionale, supra-regionale en nationale aanpak. De ontwikkeling van daarvoor geschikte model-instrumenten, inclusief grondwaterkwaliteitsaspecten, zal worden voortgezet, mede ten behoeve van de regionale en nationale beleidsanalyses.

Literatuur

- Abrahamse, A. H., e.a. (1982). *Model for regional hydrology, agricultural water demands and damages from drought and salinity*. PAWN, vol.XII. Thunnissen, H. A. M. en Arnold, G. E. (1989).

Hydrologische effecten van beregning uit het grondwater. Deel 1: Probleemstelling en werkwijze. H₂O, dit nummer.

Thunnissen, H. A. M. en Siemonsma, M. P. (1989). *Hydrologische effecten van beregning uit het grondwater. Deel 2: Hydrologische effecten van beregning in Noord-Brabant berekend met modellen voor onverzadigde en verzadigde grondwaterstroming*. H₂O, dit nummer.

Vergroesen, A. J. J. (1987). *Hydrologische effecten van beregning uit het grondwater*. Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, nota 87.058. WL-Delft, (1985). *AOW-PAWN, het aspect openbare watervoorziening in PAWN, deel 2*.



Hydrologische effecten deel II

• Slot van pagina 487

hebben een indicatieve waarde en mogen niet worden gebruikt voor studies of maatregelen met een lokaal karakter. – De berekeningsresultaten zijn onderbouwd met een uitgebreide gevoeligheidsanalyse. Voor de resultaten hiervan wordt verwezen naar Thunnissen en Siemonsma [1987].

Literatuur

- Arnold, G. E. en Vergroesen, A. J. J. (1989). *Hydrologische effecten van beregning uit het grondwater. Deel III: De hydrologische effecten van beregning in de provincie Noord-Brabant berekend met het model DEMGEN*. Dit nummer van H₂O.
- Ernst, L. F. en Feddes, R. A. (1979). *Invloed van grondwateronttrekking voor beregning en drinkwater op de grondwaterstand*. Nota 1116, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Giessen, A. van der (1983). *Hydrologische effecten van verschillende typen grondwateronttrekkingen in relatie tot de winbare hoeveelheid grondwater*. H₂O (16) 1983, nr. 23.
- Lanen, H. A. J. van (1985). *Zijn er verschillen in de effecten van grondwaterwinning voor beregning en voor drinkwatervoorziening?* H₂O (18) 1985, nr. 2.
- Mülschlegel, J. en Thunnissen, H. A. M. (1986). *Hydrologische effecten van beregning uit het grondwater in een studiegebied in west en midden Noord-Brabant; model verzadigde grondwaterstroming*. Rapport nr. 840358002 RIVM, Bilthoven.
- Studiecommissie Waterbehoefte Land- en Tuinbouw (1980). *Aanvullende watervoorziening van de land- en tuinbouw*.
- Thunnissen, H. A. M. en Siemonsma, M. P. (1987). *Hydrologische effecten van beregning uit het grondwater in een studiegebied in west en midden Noord-Brabant*. Rapport nr. 840358001 RIVM, Bilthoven.
- Thunnissen, H. A. M. en Arnold, G. E. (1989). *Hydrologische effecten van beregning uit het grondwater. Deel I: Probleemstelling en werkwijze*. Dit nummer van H₂O.

