

Daling van de grondwaterstand door de winning in vrij afwaterende gebieden

Cees van den Akker (emeritus hoogleraar Hydrologie TU Delft)

Om opbrengstderving door winning van grondwater in vrij afwaterende gebieden te bepalen, is een analyse uitgevoerd naar de relatie tussen de daling van de grondwaterstand en grondwaterstijghoogte en de vermindering van de oppervlaktewaterafvoer. De drainageweerstand blijkt toe te nemen met de daling van de grondwaterstand onder maaiveld. Dit heeft tot gevolg dat de daling van de gemiddeld hoogste grondwaterstand als gevolg van een winning, kleiner is dan die van de gemiddeld laagste grondwaterstand. Ook het invloedgebied voor de daling van de GHG is kleiner dan dat van de GLG. Voor het pompstation Terwisscha is een oriënterende berekening uitgevoerd.

Ruim duizend boeren zijn van mening dat er in de afgelopen tientallen jaren te weinig schadevergoeding is betaald ter compensatie van geleden opbrengstderving als gevolg van grondwateronttrekkingen. Samen met een procesfinancier proberen zij alsnog deze schade te verhalen op de drinkwaterbedrijven die grondwater onttrekken. Op basis van geohydrologische berekeningen menen de boeren dat de schade zes of zeven maal groter is dan er in werkelijkheid is uitgekeerd. De drinkwaterbedrijven zijn daarentegen van mening, eveneens op basis van berekening van verlagingen als gevolg van hun onttrekkingen, dat de uitkeringen recht doen aan de geleden schade.

De door de provincies ingestelde Adviescommissie Schade Grondwater (ACSG) is de instantie die uiteindelijk op basis van onderzoek de werkelijk geleden schade moet vaststellen. De problematiek speelt voornamelijk in het oosten en zuiden van Nederland, in vrij afwaterende gebieden waar grondwater wordt onttrokken uit watervoerende pakketten met relatief grote doorlatende vermogens. Deze pakketten worden afgedekt door minder goed doorlatende lagen met daarin het drainagesysteem van greppels, sloten en beken.

De verlagingen van de grondwaterstanden en stijghoogten in gebieden met vrije afwatering die in de afgelopen halve eeuw zijn vastgesteld, kennen verschillende oorzaken. Tot de belangrijkste kunnen worden gerekend:

- onttrekkingen ten behoeve van de industrie en drinkwatervoorziening
- aanpassing van het drainagesysteem door de landbouw
- gewasproductieverhoging en verlenging van het groeiseizoen
- veranderingen in de klimatologische omstandigheden

Het is lastig de effecten van de verschillende oorzaken, die veelal tegelijkertijd optreden, apart te berekenen. Alleen de onttrekkingen ten behoeve van de industrie en watervoorziening zijn goed gedocumenteerd en kunnen dan ook worden geanalyseerd op de effecten in termen van verlagingen.

Analyse van het hydrologische systeem

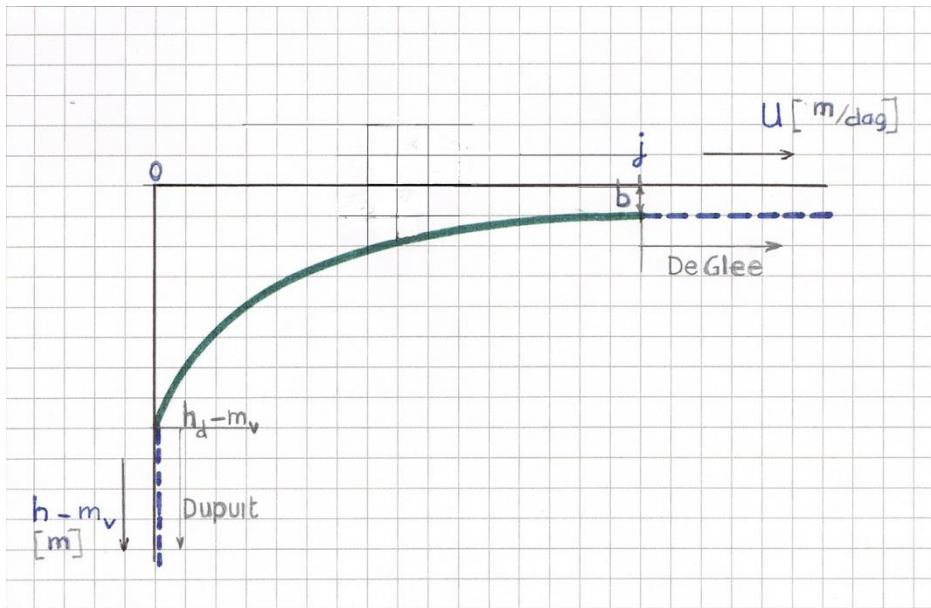
Nu doet zich de bijzondere situatie voor dat de resultaten van de geohydrologische verlagingsberekeningen, over een periode van enkele tientallen jaren uitgevoerd, onwaarschijnlijk grote verschillen laten zien. Daarom is nog eens een analyse uitgevoerd op basis van de grondwatermechanica ten aanzien van de berekening van de gevolgen van onttrekkingen. Hierbij wordt de aandacht gericht op de berekening van de gevolgen van permanente onttrekkingen in vrij afwaterende gebieden. In deze analyse wordt ervan uitgegaan dat er sinds het begin van de onttrekking geen andere oorzaken een rol hebben gespeeld in het ontstaan van verlagingen van grondwaterstanden en stijghoogten. Daarom is alleen het effect van de winning berekend, uitgaande van een goed gedefinieerde uitgangssituatie die ergens in de jaren zestig van de vorige eeuw ligt. Hiervoor kunnen bodemkaarten worden gebruikt met daarop de grondwatertrappen. Ook het onderzoek van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland (COLN) uit de jaren vijftig van de vorige eeuw kan nuttig zijn. Dit onderzoek is vastgelegd in kaarten met de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG).

Om landbouwschade als gevolg van winningen vast te stellen zijn de volgende zaken van belang:

- de verlaging van de jaargemiddelde grondwaterstand onder maaiveld
- de verlaging van de GHG
- de verlaging van de GLG
- de omvang van het invloedgebied rond de onttrekking voor wat betreft de verlaging van de grondwaterstand onder maaiveld en de grondwaterstijghoogte

Ter compensatie van de volumestroom van de onttrekking zal de afvoer van het drainagesysteem in het invloedgebied verminderen. Ook de werkelijke verdamping kan minder worden. Er kan immers sprake zijn van een opbrengstreductie van het gewas. In het algemeen zal de verdampingsreductie veel minder zijn dan de vermindering van de drainageafvoer. De compensatie van de onttrekking komt daarmee voor het overgrote deel voor rekening van de afvoervermindering van het drainagesysteem. In het rekenproces voor de bepaling van verlagingen en de omvang van het invloedgebied is het daarom verstandig om de relatie tussen de drainageafvoer en de verlaging van de stijghoogte in het watervoerende pakket goed te analyseren. De aanzet daartoe wordt geboden door het onderzoek dat L.F Ernst van het vroegere Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW) te Wageningen heeft uitgevoerd naar de relatie tussen de gebiedsgemiddelde grondwaterstand onder maaiveld en de drainageafvoer per oppervlakte-eenheid [1]. Door de afnemende slootdichtheid dieper onder maaiveld heeft deze relatie een niet-lineair verloop. In publicaties samen met R.A Feddes [2] heeft Ernst een aantal relaties voor verschillende vrij afwaterende gebieden beschreven.

In afbeelding 1 is het verloop van de relatie tussen de grondwaterstand onder maaiveld en de drainageafvoer gegeven. Als de grondwaterstand onder maaiveld daalt tot onder de drainagebasis is er geen sprake meer van drainageafvoer. De daling van de grondwaterstand is in dat geval gelijk aan die van de stijghoogte. Deze situatie staat bekend als de Dupuit-situatie. Als de relatie horizontaal verloopt is er geen verlaging van de grondwaterstand onder maaiveld, ook al is er sprake van een verlaging van de stijghoogte. Deze situatie wordt de De Glee-situatie genoemd.



Afbeelding 1. De niet-lineaire relatie tussen drainageafvoer en grondwaterstand onder maaiveld

m_v = hoogte maaiveld [m]

$h - m_v$ = grondwaterstand onder maaiveld [m]

$h_d - m_v$ = drainagebasis onder maaiveld [m]

U = afvoer drainagesysteem per eenheidsoppervlak [m/dag]

j = afvoer drainagesysteem waarbij voor $U \geq j$ De Glee – situatie geldt

De relatie kan goed worden benaderd door een logaritmische vergelijking [3]. De drainageweerstand wordt weergegeven door de raaklijn aan de relatie. Als de raaklijn vlak verloopt is de drainageweerstand laag, bij een steiler verloop neemt de drainageweerstand toe. De drainageweerstand neemt dus toe met de diepte van de grondwaterstand onder maaiveld. Tevens is de drainageweerstand lineair afhankelijk van de hydraulische weerstand van de afdekkende laag. De afleiding van de formule voor de bepaling van de drainageweerstand staat vermeld in [3].

De stromingsvergelijkingen

Voor een radiaal symmetrische verlagingberekening wordt de bijbehorende gewone tweede-orde-differentiaalvergelijking opgesteld, met als enige variabele de verlaging van de grondwaterstijghoogte in het watervoerende pakket. Tevens wordt een additionele vergelijking opgesteld voor de relatie tussen de verlaging van de grondwaterstijghoogte en de verlaging van de grondwaterstand. In [3] wordt met Matlab voor de uitgangssituatie (grondwatertrap GT6) met de bodemgegevens en onttrekking van het pompstation Terwisscha (Friesland) de verlaging van de GHG, GLG en de jaargemiddelde verlaging berekend.

Wat onmiddellijk opvalt in de vergelijking van de resultaten is het feit dat het invloedgebied voor de verlaging van de GLG substantieel groter is dan dat van de verlaging van de GHG. Het invloedgebied voor de verlaging van de jaargemiddelde situatie ligt daar tussenin. Hetzelfde geldt voor verlagingen van de GLG, GHG en jaargemiddelde situatie. De GLG daalt het meest en de GHG beduidend minder, met de jaargemiddelde verlaging daar tussenin. Dit was uiteraard, gezien het niet-lineaire verloop van de relatie in afbeelding 1, voorspelbaar. Zou de relatie lineair zijn geweest, zoals het geval is als de

drainageweerstand voor elke diepte van de grondwaterstand gelijk wordt genomen, dan waren de invloedgebieden voor de verlaging van de GHG, GLG en de jaargemiddelde toestand gelijk.

Een vergelijking met de berekeningswijze die de ACSG hanteert [4] levert een groot verschil op met betrekking tot het invloedgebied. De ACSG gaat er vanuit dat voor de verlaging van de GHG, GLG en jaargemiddelde verlaging, de grootte van het invloedgebied gelijk blijft. Hier is enig nader onderzoek wenselijk, aangezien de schadebepaling uiteraard sterk wordt beïnvloed door de omvang van het invloedgebied. Ook de vaststelling door de ACSG van de verlaging van de GHG en GLG, door de verlaging van de jaargemiddelde situatie met 25 % te verlagen c.q. te verhogen [4], vraagt om een nadere onderbouwing.

Regionale verlagingsberekening

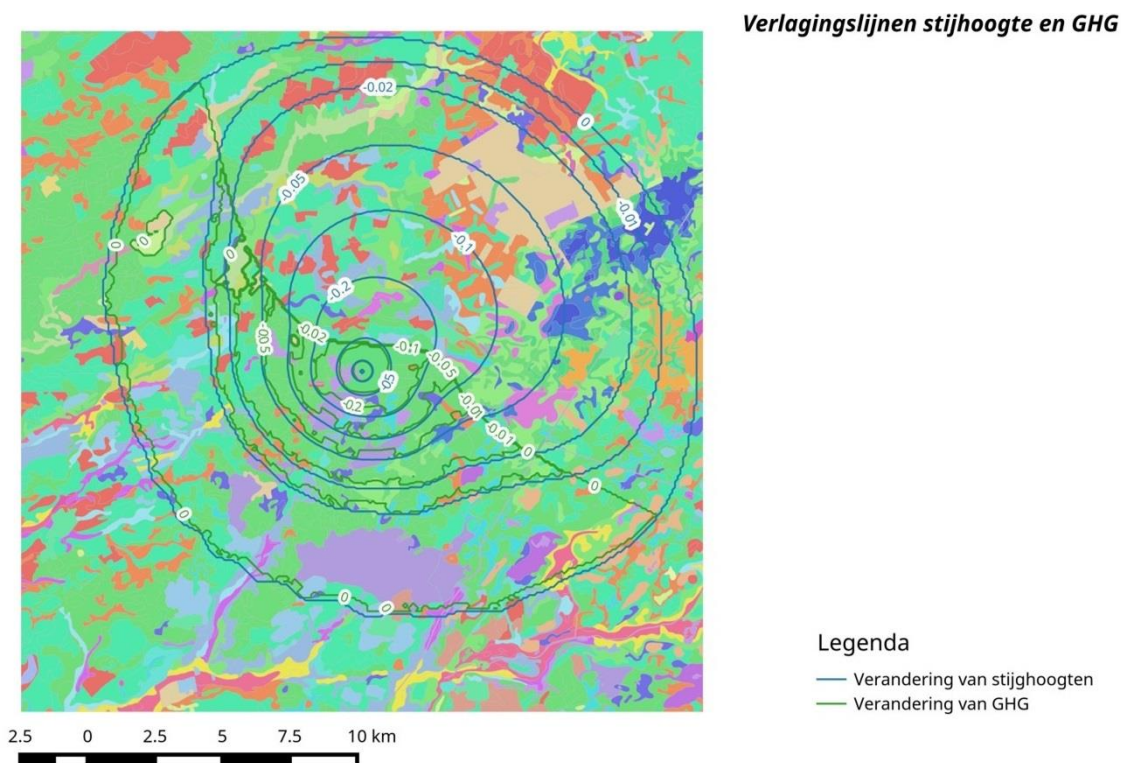
Voor de berekening van verlagingen en omvang van het invloedgebied in niet-homogene situaties, waarbij de bodemconstanten regionaal variëren en ook in de uitgangssituatie sprake is van regionaal verschillende grondwatertrappen, kan niet worden volstaan met een radiaal symmetrische berekening. Daarom wordt overgegaan op cartesische coördinaten en wordt voor de verlaging van de stijghoogte in het watervoerende pakket de partiële tweede-orde-differentiaalvergelijking opgesteld [5]. Met numerieke rekenmethoden, zoals de eindige elementen- of eindige differentiemethode, kan de verlaging van de stijghoogte in het gebied rond de winning worden berekend. Aangezien de differentiaalvergelijking niet-lineair is mag het principe van superpositie niet worden toegepast. Eenvoudig gezegd betekent dit bijvoorbeeld dat een tweemaal zo grote onttrekking een verlaging tot stand brengt die groter is dan tweemaal de verlaging van de enkele onttrekking. Dit betekent dus dat er sprake is van een onevenredige toename van de verlagingen bij een in de loop van de tijd toenemende onttrekking. Dit is het logische gevolg van de toename in de drainageweerstand bij dalende grondwaterstanden.

Er is daarnaast nog een fenomeen dat veelal over het hoofd wordt gezien. Dit fenomeen heeft te maken met de omvang van het invloedgebied van een winning. Zolang het invloedgebied niet overlapt met dat van een andere winning is er niets aan de hand, maar zodra er sprake is van een overlap zal in dat gebied de verlaging van de stijghoogte meer zijn dan de som van de verlaging van de twee aparte winningen. Naar schatting is de gemiddelde afstand tussen de winningen in vrij afwaterend gebied in de orde van tien kilometer. Dus bij de berekening van invloedgebieden, waarbij het invloedgebied voor de GLG-situatie maatgevend is, met een straal van meer dan vijf kilometer, dient in de berekening het effect van aangrenzende winningen meegenomen te worden. Dit betekent dat zodra in een groot gebied met meerdere onttrekkingen sprake is van overlap van invloedgebieden, de numerieke berekening tegelijkertijd voor alle winningen moet worden uitgevoerd.

Oriënterende berekening als voorbeeld

Op basis van de afgeleide differentiaalvergelijkingen is voor het pompstation Terwisscha (provincie Groningen) een oriënterende berekening gemaakt van de verlagingen en afmeting van het invloedgebied ten gevolge van een winning van 6,5 miljoen m³ per jaar. Een rekengebied van 25 bij 25 kilometer wordt daartoe opgedeeld in vierkante elementen. Per element van 1 hectare is de uitgangssituatie bepaald. Deze wordt afgeleid uit de bodemkaarten uit de jaren zestig tot tachtig van de vorige eeuw [6].

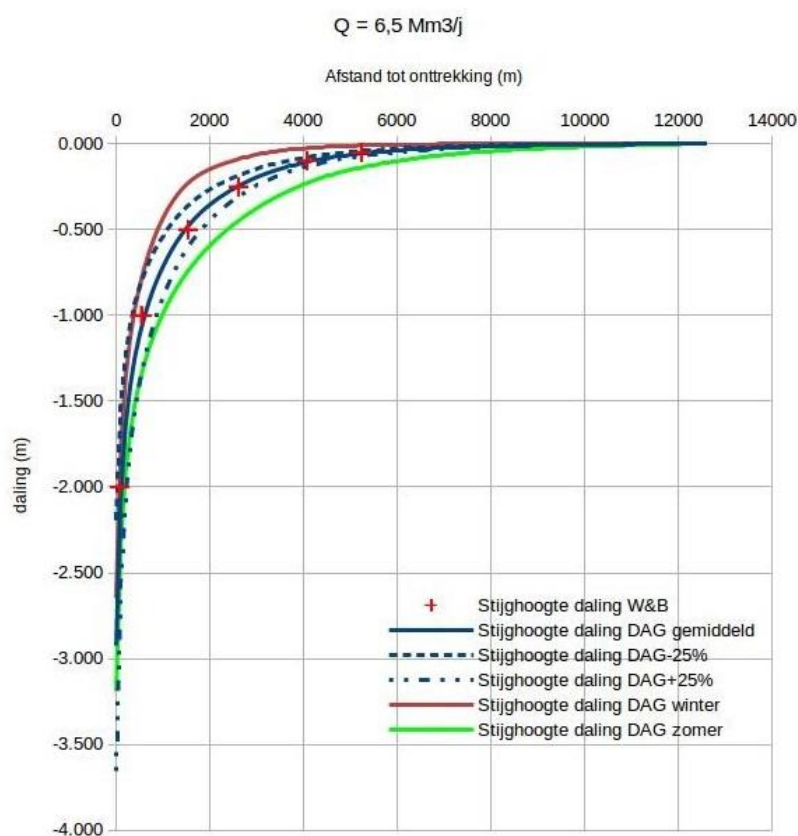
In afbeelding 2 staat de berekende verlaging van de grondwaterstijghoogte en grondwaterstand aangegeven met betrekking tot de GHG. De achtergrond op de afbeelding is een weergave van de gebruikte bodemkaart. In deze berekening is geen rekening gehouden met eventuele winningen met een gedeeltelijke overlap van het invloedgebied. In het gebied loopt van noordwest naar zuidoost een overgang in de hydraulische weerstand van de afdekkende laag. Aan de zuidkant is deze weerstand relatief laag maar aan de noordkant is de waarde zeer hoog. Dit levert een verwaarloosbaar kleine verlaging van de grondwaterstand onder maaiveld op aan de noordkant.



Afbeelding 2. De verlagingen in de zomersituatie als gevolg van de waterwinning

In afbeelding 3 staan de verlagingen van de stijghoogte aangegeven in een raai. Dit is in een lijn die begint ter plaatse van de winning en in zuidelijke richting loopt. Ter vergelijking zijn ook de door Witteveen + Bos berekende verlagingen voor de jaargemiddelde toestand aangegeven. Ook de berekening op basis van de door de ACSG gehanteerde methode staat aangegeven. Het is opvallend dat de verlaging van de stijghoogte in de GHG-situatie op basis van de logaritmische relatie, aangegeven als DAG-winterberekening, beduidend kleiner is dan de berekening van de ACSG. Dit geldt eveneens voor de grootte van het invloedgebied. Daarentegen is de verlaging in de GLG situatie aanzienlijk groter dan berekend door de ACSG. Dit geldt ook voor het invloedgebied in de zomersituatie.

Daling stijghoogte jaargemiddelde situatie in N-Z raai



Afbeelding 3. De verlagingen van de stijghoogte in de Noord-Zuidraai

De verschillen in verlagingen tussen de zomer- en wintersituatie zijn een direct gevolg van een toename in de drainageweerstand bij lagere grondwaterstanden onder maaiveld. Dit betekent ook dat de bepaling van verlagingen op basis van een verschilberekening niet correct kan worden uitgevoerd als geen rekening wordt gehouden met de veranderende drainageweerstand. Het constant houden van de drainageweerstand in zowel de berekening mét als zonder de onttrekking introduceert een fout in het resultaat van de berekening. Bij ondiepe grondwaterstanden onder maaiveld, bijvoorbeeld bij GT 2 en 3, kan de fout wellicht acceptabel zijn, maar bij droogtegevoelige gronden, bijvoorbeeld GT 5 en 6, is de fout aanzienlijk als deze droogtegevoelige gronden qua voorkomen een substantieel deel uitmaken van het totale invloedgebied. Een gebruikelijke indeling in grondwatertrappen met bijbehorende GHG en GLG is opgenomen in [5].

Conclusies

De resultaten van verlagingsberekeningen die nodig zijn voor een acceptabele vaststelling van landbouwschade lopen voor onttrekkingen in vrij afwaterende gebieden te veel uiteen. Bovendien is er geen duidelijk kader voor toetsing van de berekeningsresultaten die door of voor de diverse belanghebbende partijen worden uitgevoerd.

Bij het berekenen van verlagingen in vrij afwaterende gebieden mag geen gebruik worden gemaakt van het principe van superpositie.

Bij winningen met overlappende invloedgebieden neemt de verlaging van de grondwaterstijghoogte onevenredig toe. Hetzelfde geldt voor de verlaging van de GHG en GLG en de jaargemiddelde verlaging van de grondwaterstand onder maaiveld.

Aanbevelingen

De kwaliteitsborging van geohydrologische verlagingsberekeningen verdient wellicht meer aandacht bij instituten, consultants en onderzoekers. De beroepsgroep van geohydrologen zou gezamenlijk kunnen streven naar een structuur om dit mogelijk te maken.

De kwaliteit van rapportage van de verlagingsberekeningen in vrij afwaterende gebieden zou sterk verbeteren als wordt aangegeven hoe de relatie tussen de grondwaterstand onder maaiveld, de afvoer door het drainagesysteem en de grondwaterstijghoogte is vormgegeven. Met name de waarden van de drainageweerstand in het rekengebied en de toenemende drainageweerstand bij een diepere grondwaterstand verdienen de nodige aandacht in de rapportage.

De onevenredige verlaging van de grondwaterstijghoogte bij overlappende invloedgebieden is wellicht een onderwerp dat nader bestudeerd zou kunnen worden als mogelijke verklaring voor het ontstaan van een deel van de achtergrondverlaging die wel wordt gemeten maar waarvoor tot op heden geen sluitende verklaring is gevonden.

Referenties

1. Ernst, L.F. (1971). 'Analysis of groundwater flow to deep wells in areas with a non-linear function for the subsurface drainage'. *Journal of Hydrology* 14
2. Ernst, L.F. en Feddes, R.A. (1983). *Invloed van grondwateronttrekking voor beregening en drinkwater op de grondwaterstand*; Nota 1116 van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding Wageningen
3. Akker, C. van den (2016 en 2020). *Analyse van de stationaire grondwaterstroming naar permanente putten in vrij afwaterende gebieden*. Opdrachtgever LTO Nederland
4. Adviescommissie Schade Grondwater (2015). *Schadeonderzoek grondwateronttrekking Terwisscha* ACSG02.003
5. Akker, C. van den (2018). *Implementatie nota*. Opdrachtgever LTO Nederland
6. Akker, C. van den (2018). *De numerieke berekening van de verlaging van de GHG door een permanente grondwateronttrekking*. Opdrachtgever LTO Nederland